LEHRBUCH DER PHYSIK

SECHSTES SCHULJAHR

VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

6034

LEHRBUCH DER PHYSIK

für das sechste Schuljahr

Die wichtigsten Grundeigenschaften der Körper.
Einführung in die Meßkunde. Wärmelehre. Akustik

Mit 127 Abbildungen

VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN
1951

Herausgegeben von Georg Sprockhoff

Bestell-Nr. 6034 1.– DM (—.80 DM bei Lieferung über die Schulen) · 431.–730. Tausend

Lizenz Nr. 203 · 1000/51-I-168/51

Satz: VEB Leipziger Druckhaus, Leipzig (III/18/203)

Rotationskupfertiefdruck: VEB Deutsche Graphische Werkstätten, Leipzig (III/18/97)

Inhaltsverzeichnis

Warum lernen wir Physik? 5

I. Von den Grundeigenschaften der Körper und vom Messen 7

§ 1. Was ist ein physikalischer Körper? 8
1. Vom Stoff. — 2. Vom Raum.

§ 2. Die gegenseitige Verdrängung der Körper 10
1. Die Undurchdringlichkeit fester Körper. — 2. Die Verdrängung von Flüssigkeiten und Gasen. — 3. Versuche und Fragen.

§ 3. Die drei Aggregatzustände 13
1. Flüssigkeiten und Gase sind Körper. — 2. Die Aggregatzustände. — 3. Die Unterscheidung der Aggregatzustände. — 4. Fragen.

§ 4. Längenmessungen 15
1. Maßstab, Meterstab, Gliedermaßstab. — 2. Das Bandmaß. — 3. Über Ablesegenauigkeit und Meßfehler. — 4. Die Schieblehre.

§ 5. Raummessungen 21
1. Raummessungen an Flüssigkeiten. — 2. Bestimmung des Rauminhaltes fester Körper durch Rechnung. — 3. Bestimmung des Rauminhaltes fester Körper durch Wasserverdrängung.

§ 6. Das Messen von Stoffmengen durch Bestimmen des Rauminhaltes und durch Wägung 24
1. Der Rauminhalt als Maß für die Stoffmenge. — 2. Wir benutzen eine Waage.

§ 7. Zeitmessungen 28
1. Sanduhr und Pendel. — 2. Pendel- und Taschenuhren. — 3. Versuche und Fragen.

§ 8. Von der Verformbarkeit der festen Körper 31
1. Elastische Körper. — 2. Unelastische Körper. — 3. Festigkeit. — 4. Versuche und Fragen.

§ 9. Einiges über Flüssigkeiten 36
1. Die freie Oberfläche von Flüssigkeiten. — 2. Verbundene Gefäße. — 3. Die Wasserleitung. — 4. Die Kanalwaage, die Wasserwaage. — 5. Versuche und Fragen.

§ 10. Einiges über Gase 46
1. Luft läßt sich verdichten. — 2. Die Fahrradpumpe. — 3. Fragen.

II. Von der Wärme 49

§ 11. Das Thermometer 50
1. Ist es im Hausflur kalt oder warm? — 2. Die Thermometerskala, die Messung der Temperatur. — 3. Einige im Haushalt verwendete Thermometerformen. — 4. Versuche, Fragen, Aufgaben.

§ 12. Wärmequellen 54
1. Natürliche Wärmequellen. — 2. Künstliche Erzeugung der Wärme — Wir besuchen eine Schmiede. — 3. Versuche und Fragen.

§ 13. Vom Ofen und vom Kochherd 57
1. Unsere Zimmeröfen. — 2. Wir kochen mit Gas. — 3. Das richtige Herdfeuer. — 4. Fragen.

§ 14. Ausdehnung der Körper bei Erwärmung 61
1. Ausdehnung der Flüssigkeiten. — 2. Ausdehnung der luftförmigen Körper. — 3. Ausdehnung der festen Körper. — 4. Versuche, Fragen, Aufgaben.

§ 15. Ausbreitung der Wärme 68
1. Wärmeleitung. — 2. Die Warmwasserheizung, Wärmeströmung in Flüssigkeiten. — 3. Wärmeströmung in der Luft. — 4. Wärmestrahlung. 5. Versuche und Fragen.

§ 16. Die Wärmeeinheit 75
1. Wärmemenge und Gasverbrauch. — 2. Vergleich von Wärmemengen. — 3. Brennstoffe im Haushalt und in der Technik. — 4. Versuche, Fragen, Aufgaben.

§ 17. Schmelzen und Erstarren 80
1. Das Schmelzen, Zustandsformen der Körper. — 2. Raumveränderung beim Schmelzen bzw. beim Erstarren. — 3. Die Schmelzwärme. — 4. Versuche, Fragen, Aufgaben.

§ 18. Verdampfen und Kondensieren 84
1. Der Siedevorgang. — 2. Siedepunkte einiger Stoffe. — 3. Die Verdampfungswärme. — 4. Verdunsten. — 5. Versuche und Fragen.

III. Vom Schall (Akustik) 91

§ 19. Entstehung und Ausbreitung des Schalles 92
1. Schallausbreitung. — 2. Wie schnell breitet sich der Schall aus? — 3. Schallstärke. — 4. Das Echo. — 5. Versuche und Fragen.

§ 20. Von den Tönen — Unsere Musikinstrumente 97
1. Schwingungszahl und Tonhöhe. — 2. Von den Saiteninstrumenten. — 3. Von den Pfeifen. — 4. Wie wir sprechen und hören. — 5. Vom Grammophon. — 6. Versuche und Fragen.

Sachverzeichnis 108

Warum lernen wir Physik?

Wohin wir schauen, sehen wir uns von Dingen umgeben, die von Natur aus vorhanden sind. Außerdem begegnen wir auf Schritt und Tritt Gegenständen, die durch menschliche Arbeit erzeugt wurden. All diese Dinge bilden die Umwelt, in der wir leben.

Unserer aufmerksamen Beobachtung entgeht es nicht, daß sich an diesen Dingen ständig Veränderungen vollziehen. Zum Teil geschieht dies ohne unser Zutun. Wir betrachten die Wolken, die über uns hinziehen, und stellen fest, daß der Regen aus ihnen auf die Erde herabfällt. Die Pfützen, die sich dabei auf der Erde bilden, trocknen wieder, sobald die Sonne scheint. Wir sehen beim Gewitter den Blitz aufleuchten und hören es donnern; wir nehmen wahr, daß an manchen Tagen über Gewässern und feuchten Wiesen der Nebel emporsteigt, und beobachten, daß im kalten Winter in Seen und Teichen das Wasser zu Eis erstarrt. All diese Erscheinungen und unzählige andere sind Naturvorgänge. Sie spielen sich ab, ohne daß wir etwas dazu beitragen.

Andere Vorgänge wieder laufen erst ab, wenn sie durch den Menschen herbeigeführt werden. Auf dem Bahnhof sehen wir, wie die Räder der Lokomotive anfangen, sich zu drehen, sobald der Lokomotivführer Dampf in die Dampfzylinder strömen läßt. An der elektrischen Straßenbahn fällt uns auf, daß der Wagen sich in Bewegung setzt, wenn der Fahrer die Schaltkurbel aus ihrer Ruhestellung dreht. Wir werden später erfahren, daß er dadurch den elektrischen Strom einschaltet, der den Motor des Wagens antreibt. Soll ein Kraftwagen anfahren, so muß der Fahrer den Motor anwerfen und Gas geben. Er tut dies, indem er auf den Gashebel tritt. Dadurch erreicht er, daß dem Motor Treibstoff zuströmt. Drehen wir einen Wasserleitungshahn auf, so fließt das Wasser aus der Leitung in die darunter gehaltene Kanne. Drücken wir auf den Klingelknopf unserer Hausklingel, so hören wir die Glocke der elektrischen Klingel schrillen. Schalten wir den Rundfunkempfänger ein, so tönen uns Sprache und Musik entgegen.

Die Reihe dieser Beispiele ließe sich noch weit fortsetzen. Mögen die einzelnen Vorgänge sich von Natur aus abspielen oder erst durch uns selbst veranlaßt werden, immer wieder fragen wir nach dem Warum, nach den Ursachen, die die beobachteten Vorgänge auslösen. Wir möchten Näheres über die gesetzmäßigen Zusammenhänge der einzelnen Erscheinungen erfahren. Die Antwort auf unsere Fragen gibt uns in den meisten Fällen die **Physik.**

Das Wort Physik kommt vom griechischen Wort „physis" her. Dieses Wort bedeutet an sich so viel wie „Natur". *Physik* heißt also eigentlich Natur-

lehre oder besser *Naturwissenschaft*. Wir wollen aber bedenken, daß es neben der Physik noch andere Naturwissenschaften gibt, die *Chemie*, die *Biologie*, die *Geologie*, die *Geographie* und die *Astronomie*. All diese Wissenschaften sind aufs engste miteinander verbunden und ergänzen sich gegenseitig.

Besonders große Bedeutung haben die Entdeckungen der Physik für die Technik. Mit Hilfe der Technik ist der Mensch imstande, die Natur zu verändern und die Naturkräfte für die menschliche Gesellschaft nutzbar zu machen. Andererseits wird auch die Physik durch die Technik gefördert; denn bei technischen Arbeiten werden oft naturwissenschaftliche Entdeckungen gemacht, die für die Physik wichtig sind. Ferner schafft die Technik immer vollkommenere Hilfsmittel und Geräte, mit denen wieder die Physiker ihre Forschungen durchführen.

Wegen ihrer Bedeutung werden wir den technischen Anwendungen der Physik in diesem Buche besondere Beachtung schenken.

I. Von den Grundeigenschaften der Körper und vom Messen

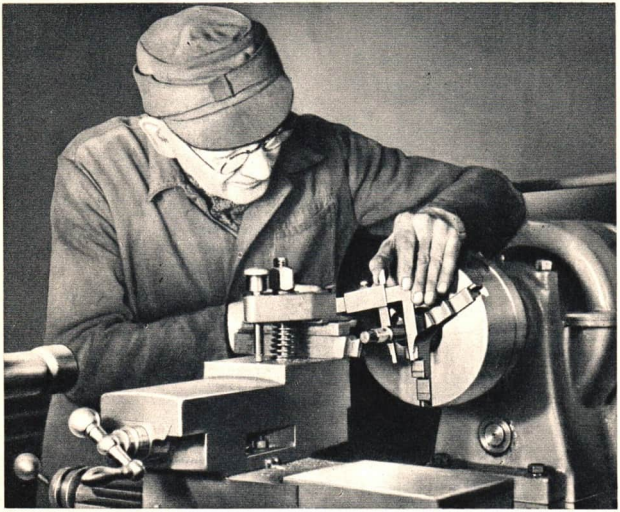


Abb. 1. Die Schieblehre, ein unentbehrliches Meßgerät bei der Metallbearbeitung

Abb. 1 zeigt uns einen Dreher bei seiner Arbeit. Er prüft gerade mit einer Schieblehre den Durchmesser des Werkstückes. Die *Schieblehre* ist ein Feinmeßgerät zum genauen Messen von Längen und Dicken. Sie ermöglicht ein schnelles und sicheres Ablesen auch noch der Zehntelmillimeter. Wir werden sie in § 4, 4 kennenlernen. Jeder Metallfacharbeiter muß mit ihr vertraut sein. Werden z. B. beim Abdrehen des in Abb. 1 wiedergegebenen Bolzens die vorgeschriebenen Maße nicht genau eingehalten, so paßt der Bolzen nicht in die Bohrung und ist nicht zu verwenden. Auch in der Physik spielt sorgfältiges und zuverlässiges Messen eine entscheidende Rolle. Viele physikalische Gesetze werden nur auf Grund genauester Messungen gefunden.

§ 1. Was ist ein physikalischer Körper?

1. Vom Stoff. Vor uns auf dem Tisch liegen eine Reihe von Gegenständen, die uns aus unserer Umwelt bekannt sind. Es handelt sich etwa um einen Ball, einen Holzwürfel aus einem Baukasten, eine Pappschachtel, einen Stein, ein kleines Brett, eine Konservenbüchse, einen Hammer. Viele andere Beispiele könnten wir noch nennen. So unterschiedlich all diese Dinge auch sein mögen und so verschiedenen Zwecken sie dienen, so können wir sie doch alle unter dem Namen **Körper** zusammenfassen.

Mit Körpern der verschiedensten Art und Herkunft werden wir es in der Physik zu tun haben. Wir nehmen an ihnen unsere Beobachtungen vor und benutzen sie zu unseren Versuchen. Immer wieder sind es ausschließlich physikalische Fragen, die uns dabei interessieren. Mögen uns die verwendeten Körper auch noch so einfach und vertraut erscheinen und mögen sie uns vom täglichen Gebrauch her bekannt sein, hier stellen sie etwas Neues für uns dar. Denn wir fragen jetzt nach ihren *physikalischen Eigenschaften* und wollen *physikalische Vorgänge* an ihnen kennenlernen. Wir geben ihnen deswegen auch einen besonderen Namen und bezeichnen alle in der Physik verwendeten Körper als *physikalische Körper*.

Physikalische Körper sind beispielsweise ein Stück Eisen, das an einem Faden als Lot herabhängt, oder eine Holzkugel, die wir über den Tisch rollen lassen, um daran die Gesetze der Bewegung kennen zu lernen. Ein physikalischer Körper ist jedes Gewichtsstück, das wir auf eine Waagschale legen, oder ein Magnet, mit dessen Hilfe wir Nägel oder andere Eisenstücke anziehen. Auch die leuchtende Kerze oder die Heizspirale einer elektrischen Kochplatte, die uns Wärme spendet, sind physikalische Körper. Kurzum, die Zahl der zu nennenden Beispiele ist unerschöpflich. Jeder Körper, der uns in physikalischer Hinsicht interessiert, ist ein physikalischer Körper.

Dabei taucht sofort die Frage auf, ob es Eigenschaften gibt, die allen Körpern in gleicher Weise zukommen. Wir brauchen nur einen der genannten Körper in die Hand zu nehmen und daran zu drücken. Wir brauchen ihn nur auf dem Tisch vor uns her zu schieben, um eine solche allen Körpern gemeinsame Eigenschaft zu erkennen. Der Widerstand, den unsere Hand dabei verspürt, verrät sie uns. Wir schließen daraus, daß ein Körper aus einem **Stoff** besteht.

Dabei fragen wir zunächst nicht so sehr nach der Art des Stoffes. Wichtig ist für uns vielmehr die Tatsache, daß es überhaupt ein Stoff ist, aus dem ein Körper sich aufbaut.

> **Jeder Körper besteht aus einem Stoff. Einen nicht aus Stoff gebildeten Körper gibt es nicht.**

Eigenschaften, die allen Körpern gemeinsam sind, nennen wir *Grundeigenschaften*. Die Tatsache, daß alle Körper aus Stoff bestehen, ist eine Grundeigenschaft.

Welche Stoffe sind dir bekannt? Nenne Gegenstände, die aus ihnen hergestellt sind!

2. Vom Raum. Mit der *ersten* Grundeigenschaft, die wir eben kennenlernten, hängt unmittelbar eine *zweite* zusammen. Wir wissen aus Erfahrung, daß jeder Körper einen **Raum** einnimmt. Diese Feststellung überrascht uns nicht weiter; denn jeder Körper besteht aus einem Stoff und jeder Stoff füllt einen bestimmten Raum aus.

Jeder Körper ist von Flächen begrenzt. Sie können eben oder gewölbt sein, sie können dem Körper eine bestimmte mathematische Form geben oder ganz unregelmäßig an ihm verteilt sein. Als bekannte Beispiele zweier mathematisch einfacher Körperformen zeigt uns Abb. 2 einen *Zylinder* oder, wie man auch sagt, eine Walze und einen *Quader*. Der von den Flächen des Körpers umschlossene Raum heißt der *Rauminhalt* des Körpers.

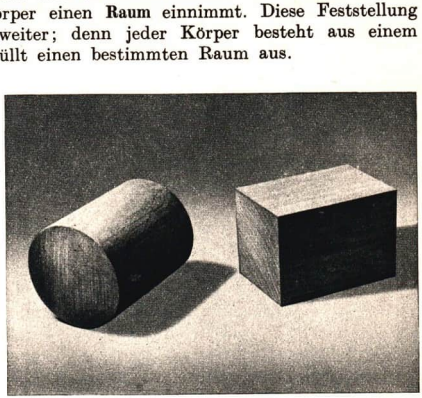


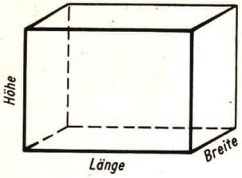
Abb. 2. Links ein Zylinder (Walze), begrenzt von zwei parallelen Ebenen als Grund- und Deckfläche und einer gewölbten, in sich geschlossenen Mantelfläche. Rechts ein Quader, begrenzt von drei Paaren paralleler Ebenen

Nenne Körper von einfacher mathematischer Gestalt, die nur von ebenen, und solche, die nur von krummen Flächen begrenzt sind! Nenne Körper, an denen ebene und gekrümmte Flächen nebeneinander auftreten! Gib unregelmäßig begrenzte Körper an!

Wie wir schon feststellten, besteht jeder Körper aus einem Stoff. Damit ist aber nicht gesagt, daß dieser Stoff den Körper immer lückenlos erfüllt. Der den Körper aufbauende Stoff kann durchaus Hohlräume einschließen. Diese sind ihrerseits wieder von einem andern Stoff ausgefüllt. Wir brauchen nur an eine Tasse, eine Flasche oder an einen gewöhnlichen Gummiball zu denken. Man nennt solche Körper *Hohlkörper*.

Nenne andere Hohlkörper! Gib an, was für ein Stoff sich in ihren Hohlräumen befindet!

Der Würfel bzw. der Quader sind zwei von ebenen Flächen begrenzte Körper. An ihnen erkennen wir, daß ein Körper *drei räumliche Ausdehnungen* besitzt (Abb. 3). Wir bezeichnen sie als die **Länge,** die **Breite** und die **Höhe** des Körpers.



Wir sprechen aber auch bei unregelmäßig begrenzten Körpern von ihrer Länge, Breite und Höhe.

Jeder Körper ist ausgedehnt. Er besitzt drei Ausdehnungen.

Abb. 3. Quader. Die drei räumlichen Ausdehnungen des Quaders sind festgelegt durch drei in einer Ecke zusammenstoßende Kanten.

§ 2. Die gegenseitige Verdrängung der Körper

1. Die Undurchdringlichkeit fester Körper. Wir legen auf den Tisch einen Holzklotz und einen Schlüssel und verschieben den Klotz so, daß er gegen den Schlüssel stößt. Beim Weiterbewegen schiebt der Klotz den Schlüssel vor sich her. Dasselbe können wir beobachten, wenn wir den Versuch mit einer Pappschachtel und einem Kieselstein oder mit irgend zwei anderen Körpern ausführen. Es erscheint uns dies selbstverständlich, sollte uns aber doch zum Nachdenken veranlassen. Wäre es nicht vorstellbar, daß der eine Körper beim Verschieben in den andern eindringt, gewissermaßen von ihm aufgenommen wird? Die Erfahrung lehrt das Gegenteil; sie zeigt, daß dort, wo sich ein Körper befindet, nicht gleichzeitig ein zweiter Körper sein kann. Auch in diesem Verhalten erkennen wir wieder die *stoffliche Natur der Körper*. Bei den bisher von uns betrachteten Körpern überrascht uns diese Tatsache nicht weiter, da es sich durchweg um sogenannte *feste Körper* handelt. Widersprechen dem aber nicht viele Beobachtungen, die wir in unserer Umwelt anstellen können? Einen Nagel können wir in ein Brett einschlagen, einen Pfosten durch Hammerschläge in den Erdboden treiben; mit einem Messer zerschneiden wir mühelos das Brot. Dringen nicht dabei der Nagel in das Holz, der Pfosten in den Erdboden, das Messer in das Brot ein? Sie tun dies wohl, aber in der Weise, daß der eindringende Körper die Teilchen zur Seite drängt, aus denen der andere Körper besteht. So schiebt der Nagel beim Eindringen in das Holz die Holzteilchen beiseite; dort wo Eisen ist, kann nicht gleichzeitig Holz sein. Der in den Erdboden eindringende Pfosten verdrängt die einzelnen Erdteilchen. Und ebenso ist es beim Brotschneiden. Dort, wo das Messer sich befindet, kann kein Brot vorhanden sein.

Ein einfacher Versuch läßt uns diese Zusammenhänge noch besser erkennen. Wir schütten in ein Becherglas feinen, trockenen Sand und drücken von oben einen zugespitzten Holzstab oder eine schmale, angeschärfte Leiste hinein. Der Stab, die Leiste, dringen in den Sand ein und schieben die Sandkörnchen fort. Noch deutlicher wird dies, wenn man mit dem Stab im Sand rührt oder die Leiste im Sand dreht. Dort, wo sich der Holzstab befindet, ist bestimmt kein Sandkorn anzutreffen und umgekehrt. Ganz ähnliche Veränderungen spielen sich bei den oben erwähnten Vorgängen ab.

Feste Körper verdrängen sich gegenseitig; an der gleichen Stelle, an der sich ein fester Körper befindet, kann nicht gleichzeitig ein zweiter vorhanden sein.

Wir haben damit eine *dritte Grundeigenschaft* der Körper kennengelernt.

2. Die Verdrängung von Flüssigkeiten und Gasen. Wir hatten es bisher bei unseren Beispielen ausschließlich mit festen Körpern zu tun. Es gibt aber auch Stoffe, die nicht fest sind. Wir brauchen nur an das Wasser und an die Luft zu denken. Mühelos können wir die Hand in das Wasser eintauchen und sie in ihm fast ungehindert bewegen. Ohne einen nennenswerten Widerstand zu verspüren, bewegen wir uns in der Luft beim Gehen vorwärts. Zeigen damit nicht das *Wasser* und die *Luft* ganz andere Eigenschaften als die festen Körper? Einige Versuche beantworten uns unsere Frage.

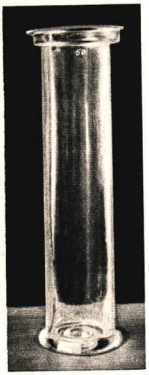


Abb. 4. Standzylinder. Ein zylindrisches, schlankes Gefäß zur Aufnahme von Flüssigkeiten.

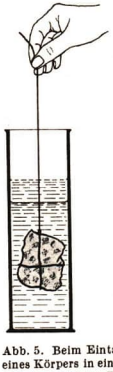


Abb. 5. Beim Eintauchen eines Körpers in eine Flüssigkeit steigt der Flüssigkeitsspiegel.

Wir binden einen Stein an einen Faden oder einen dünnen Draht und senken ihn in einen halb mit Wasser gefüllten Standzylinder ein (Abb. 4). Von dem Augenblick an, in dem der Körper die Wasseroberfläche durchstößt, ist beim weiteren Einsenken ein Ansteigen des Wassers zu beobachten (Abb. 5). Das Wasser bleibt auf der erreichten Höhe stehen, sobald der Körper ganz eintaucht, mag man ihn dann auch noch tiefer einsenken. Ziehen wir den Stein heraus, so sinkt der Wasserspiegel wieder auf die ursprüngliche Höhe ab. Wir erkennen aus dem Versuch, daß auch das Wasser ebenso wie der eintauchende feste Körper undurchdringlich ist und von diesem verdrängt wird.

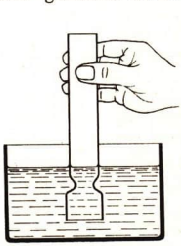
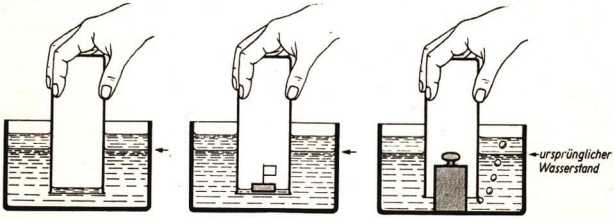


Abb. 6. In einem in Wasser getauchten, an beiden Enden geöffneten Glasrohr steht das Wasser ebenso hoch wie außerhalb des Rohres.

Abb. 6 zeigt, wie man das Verhalten von Luft gegenüber Flüssigkeiten und festen Körpern nachprüfen kann. Wir füllen ein größeres Gefäß, am zweck-

mäßigsten einen Glastrog, mit Wasser und tauchen einen an beiden Enden offenen Zylinder, etwa einen Lampenzylinder, in das Wasser. Man kann nichts Auffälliges beobachten. Wie wir uns leicht überzeugen können, steht das Wasser innerhalb und außerhalb des Zylinders gleich hoch. Führen wir aber den Versuch mit einem Becherglas aus, das wir mit der Öffnung nach unten in das Wasser eintauchen, so können wir ein merkliches Ansteigen des äußeren Wasserspiegels beobachten (Abb. 7a). Wir schließen daraus, daß das Wasser nicht in das Glas eingedrungen ist; die Luft erweist sich demnach dem Wasser gegenüber als *undurchdringlich*. Noch deutlicher ist dies zu erkennen, wenn wir auf dem Wasserspiegel unter dem Glas ein Stück Kork mit einer kleinen Papierfahne schwimmen lassen (Abb. 7b).

Stellen wir einen festen Körper, beispielsweise ein Gewichtsstück, auf den Boden des Gefäßes und stülpen das Becherglas darüber, so entweichen aus der unter Wasser befindlichen Öffnung Luftblasen, sobald der feste Körper den Wasserspiegel im Glas von unten her durchstößt (Abb. 7c).



a) Das Wasser dringt in das mit der Öffnung nach unten eingetauchte Glas nicht ein.

b) Das die Papierfahne tragende Stück Kork schwimmt auf der Wasseroberfläche unter dem Glas.

c) Das Gewichtsstück verdrängt die unter dem Glas befindliche Luft.

Abb. 7. Das Becherglas als Taucherglocke

Wir können feststellen:

Flüssigkeiten und Gase werden von festen Körpern verdrängt.
Feste Körper sind im allgemeinen für Flüssigkeiten und Gase undurchlässig.
Flüssigkeiten und Gase verdrängen sich gegenseitig.

3. Versuche und Fragen

1. Tauche einen Stein in andere Flüssigkeiten als Wasser, z. B. in Petroleum, Spiritus, Öl!
2. Versuche, Wasser durch einen eng am Flaschenhals anliegenden Trichter in eine Flasche zu gießen! Warum ist es zweckmäßig, den Trichter ein wenig anzuheben?
3. Verschließe eine Flasche mit einem doppelt durchbohrten Kork, durch dessen eine Öffnung ein Glastrichter gesteckt ist, während durch die andere eine gewinkelte Glasröhre führt! Verschließe das äußere Ende

dieser Röhre zunächst mit einem Papierstopfen (Abb. 8) oder wähle statt dessen einen Glashahn! Warum gelingt es erst dann, Wasser durch den Trichter zu gießen, wenn du den Stopfen herausziehst oder den Hahn öffnest?

4. Halte einen Glastrichter mit der weiten Öffnung nach unten und verschließe die nach oben gerichtete Röhrenöffnung mit dem Daumen! Tauche die Trichteröffnung in eine mit Wasser gefüllte Schüssel! Warum dringt das Wasser zunächst nicht in den Trichter, sondern erst, wenn du den Daumen von der Öffnung hebst?

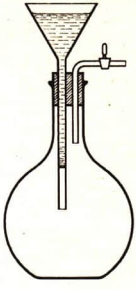


Abb. 8. Wasser wird mittels eines Trichters in eine Flasche gefüllt. Die in der Flasche befindliche Luft muß durch eine Öffnung entweichen können.

§ 3. Die drei Aggregatzustände

1. Flüssigkeiten und Gase sind Körper. Zu den Versuchen des letzten Abschnittes verwendeten wir neben festen Körpern auch Wasser und Luft. Beide sind uns als Stoffe längst vertraut.

Wasser können wir aus einem Glas in das andere gießen. Es ist ein *flüssiger Stoff*, eine *Flüssigkeit*. Von den Stoffen, aus denen die festen Körper bestehen, unterscheidet es sich dadurch, daß es nicht starr ist. Seine Teilchen sind leicht gegeneinander beweglich und geben daher dem geringsten Druck nach.

In dieser Hinsicht wird Wasser noch von der *Luft* übertroffen. Mühelos können wir mit der ausgeatmeten Luft Papierstückchen, Federn und andere leichte Körper fortblasen. Luft ist ein *gasförmiger Stoff*, ein *Gas*.

Wir sahen aus den Versuchen des vorigen Abschnittes, daß Wasser und Luft von festen Körpern genau so verdrängt werden wie diese selbst und daß sie sich gegenseitig verdrängen. Ebenso ist uns bekannt, daß Wasser und Luft einen Raum einnehmen. Wir sehen daraus, daß Wasser und Luft und mit ihnen alle anderen Flüssigkeiten und Gase dieselben Grundeigenschaften haben wie die festen Körper. Es ergibt sich für uns die Frage, ob Wasser und Luft auch als Körper anzusehen sind. Man könnte fast glauben, daß es nicht der Fall sei, denn Wasser und Luft haben ja keine Ecken und Kanten, an denen man sich stoßen kann wie an festen Körpern. Doch sind Wasser und Luft deswegen nicht weniger körperlich. Man kann sich z. B. auch beim Baden, wenn man ungeschickt ins Wasser springt, beim Aufprall erheblich „schlagen". Ebenso empfinden wir deutlich beim Rennen und beim Radfahren den Widerstand, den uns die Luft entgegensetzt, denn wir müssen sie beiseite drängen. Bei Sturm können wir uns gegen die Luft wie gegen

einen festen Körper lehnen. Aus alledem folgt, daß auch Flüssigkeiten und Gase die Eigenschaften von Körpern haben.

Alle Flüssigkeiten und Gase sind Körper.

2. Die Aggregatzustände. Wie wir aus Erfahrung wissen, kann das Wasser im Winter zu Eis erstarren. Taut das Eis wieder auf, so haben wir wieder Wasser wie vorher. Wir folgern daraus, daß das Wasser beim Erstarren und ebenso das Eis beim Schmelzen sich als Stoff nicht geändert haben. Das Wasser ist beim Erstarren lediglich in einen anderen *Zustand* übergegangen. Nicht anders ist es, wenn Wasser sich beim Sieden in Dampf verwandelt. Halten wir in den Dampf einen kalten Topfdeckel, so schlägt sich der Dampf an ihm als Wasser in kleinen Tröpfchen nieder. Auch hieraus sehen wir wieder, daß der Übergang des Wassers in Dampf bzw. des Dampfes in Wasser nur eine Änderung des Zustandes bedeutet.

Wie uns unsere Beispiele lehren, kann ein und derselbe Stoff in drei verschiedenen *Zustandsformen* auftreten. Man spricht auch von drei **Aggregatzuständen.**

Es gibt drei Aggregatzustände, den festen, den flüssigen und den gasförmigen.

3. Die Unterscheidung der Aggregatzustände. Aus folgenden Überlegungen und Versuchen ersehen wir, wie man die Aggregatzustände rein äußerlich unterscheiden kann.

1. Wir legen einen Holzklotz in verschiedenen Stellungen auf den Tisch: auf die größte, auf die kleinste Fläche, in eine Wanne, schräg angelehnt, über die Tischkante ragend. Weder der Rauminhalt noch die Gestalt des Klotzes werden dadurch beeinflußt.

   Feste Körper haben einen bestimmten Rauminhalt und eine bestimmte Gestalt.

2. Wir füllen ein Litermaß mit Wasser und gießen das Wasser der Reihe nach in ein großes Glas, in eine Wanne, in einen Standzylinder, zuletzt wieder in das Litermaß. Der Rauminhalt der Flüssigkeit wird durch das Umgießen nicht geändert; die Form des vom Wasser eingenommenen Raumes aber paßt sich jeweils der Gestalt des Gefäßes an.

   Flüssigkeiten haben einen bestimmten Rauminhalt, aber eine veränderliche Gestalt, die sich nach der Gefäßform richtet.

3. Wir beschaffen uns ein etwa 15 mm weites und 300 mm langes Glasrohr. Ferner suchen wir uns zwei Korken, die in das Glasrohr gut hineinpassen und dicht schließen. Damit sie weich werden, kochen wir sie vorher aus. Wir verschließen nunmehr die Röhre von beiden Seiten fest mit je einem Korken und stoßen den einen mit einem dicken Holzstab in die Röhre hinein (Abb. 9). Wir können dabei die Luft erheblich zusammendrücken. Schließlich fliegt der andere Korken mit einem leichten Knall heraus.

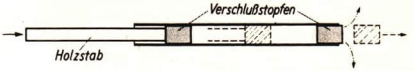


Abb. 9. Röhre mit Luftfüllung. Die in der Röhre befindliche Luft wird zusammengedrückt und treibt den Verschlußkorken heraus.

Wir ersehen daraus, daß die in der Röhre eingeschlossene Luft keinen bestimmten Rauminhalt hat. Denn die in der Röhre befindliche Luftsäule verkürzte sich bei unserem Versuch. Beim Herausfliegen des Korkens dehnt sich die zusammengepreßte Luft wieder aus, entweicht zum Teil und vermischt sich mit der Außenluft. Die Luft hat mithin auch keine bestimmte Gestalt.

Gase haben weder einen bestimmten Rauminhalt, noch eine bestimmte Gestalt. Rauminhalt und Gestalt eines Gases sind veränderlich; sie sind vom Gefäß abhängig, in dem sich das Gas befindet.

4. Fragen

1. Nenne Beispiele für feste, flüssige, gasförmige Körper!
2. Führe Beispiele an, bei denen ein Körper von einem Aggregatzustand in den andern übergeht! Gib die Ursache dafür an!
3. In welchem Aggregatzustand lassen sich Werkstoffe am leichtesten formen?
4. In welchem Aggregatzustand befinden sich Schmalz und Butter bei Zimmertemperatur?

§ 4. Längenmessungen

1. Maßstab, Meterstab, Gliedermaßstab. Längen messen wir mit einem *Maßstab* oder mit einem *Meterstab* aus Holz, seltener mit einem solchen aus Metall. Tischler und Zimmerleute benutzen meist den zusammenklappbaren *Gliedermaßstab* (Abb. 10), der auch noch vielfach *Zollstock* genannt wird.

Als *Längeneinheiten* verwenden wir das **Meter** (m), das **Dezimeter** (dm), das **Zentimeter** (cm), das **Millimeter** (mm). Sehr große Strecken werden in **Kilometern** (km) gemessen. Es ist

$$1\ \text{km} = 1000\ \text{m},\quad 1\ \text{m} = 10\ \text{dm} = 100\ \text{cm} = 1000\ \text{mm}.$$

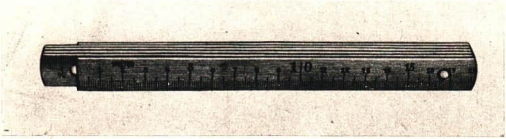


Abb. 10. Gliedermaßstab, das gebräuchlichste Gerät für Längenmessungen. Die einzelnen Teile, Glieder, können zu einem Stabe auseinandergeklappt werden.

Um Meßfehler möglichst auszuschalten, vermeiden wir grundsätzlich alle Maßstäbe mit hohlliegender Meßkante, ebenso federnde Stahllineale. Da bei solchen Maßstäben die Teilung nicht auf der zu vermessenden Fläche aufliegt, haben wir genaue Meßergebnisse nur bei senkrechter Blickrichtung zu erwarten. Bei Schrägsicht treten *Ablesefehler* auf, da sich in solchem Falle die Meßstrecke gegenüber der Teilung scheinbar verschiebt (Abb. 11). Wir bevorzugen deshalb Maßstäbe, bei denen sich die Teilung auf einer schräg nach unten abfallenden Fläche befindet (Abb. 12). Bei Verwendung des Meterstabes legen wir diesen hochkant auf die zu vermessende Fläche (Abb. 13).

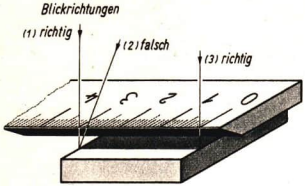


Abb. 11. Maßstab mit Hohlkante. Infolge von Schrägablesungen treten leicht Meßfehler auf.

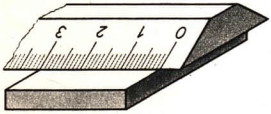


Abb. 12. Maßstab mit schräg liegender Teilung. Eine Schrägablesung ruft keinen Fehler hervor.

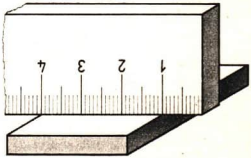


Abb. 13. Hochkantstellung eines Meterstabes zur Vermeidung von Meßfehlern

Jede Maßangabe — nicht nur bei Längenmessungen — besteht aus der *Maßzahl* und der *Maßeinheit.*

Bei der Ansage von Meßergebnissen wird die zu messende Größe zweckmäßigerweise immer wieder durch ein und dasselbe *Formelzeichen* wiedergegeben. So kennzeichnet man eine *Länge* durch den Buchstaben l, eine *Höhe* durch h, einen *Durchmesser* durch d, einen *Radius* durch r, eine Fläche (einen Querschnitt) durch F, einen *Rauminhalt* (Volumen) durch V.

Beispiel:

Die Länge des Tisches beträgt $l = 125$ cm.

Häufig ist es ausreichend, die Länge einer Strecke wenigstens schätzungsweise richtig anzugeben. Um Sicherheit hierin zu erreichen, wollen wir uns bemühen, vor jeder Messung die zu messende Länge *abzuschätzen.*

Übungen: (Die eingeklammerten Einheiten geben die geforderte Meßgenauigkeit an.)

1. Schätze und miß die Länge a und die Breite b deiner Schulbank (cm)!

2. Schätze und miß die Länge a und die Breite b eines Schulheftes ($\frac{1}{2}$ cm) — eines Schreibmaschinenblattes ($\frac{1}{2}$ cm)!
3. Schätze und miß die Länge l deines Federhalters ($\frac{1}{2}$ cm) — eines noch nicht angespitzten Bleistiftes ($\frac{1}{2}$ cm)!
4. Stelle die Länge a, die Breite b, die Höhe h eines Ziegelsteines fest ($\frac{1}{2}$ cm)!
5. Ermittle die Länge l, die Breite b, die Höhe h des Klassenraumes (dm)!

Abb. 14. Technisches Bandmaß. Das Bandmaß befindet sich bei Nichtgebrauch in einer Lederkapsel und wird mit Hilfe einer Kurbel aufgewickelt.

2. Das Bandmaß. Im Haushalt, in der Schneiderwerkstatt und bei anderen Arbeiten wird das sogenannte *Schneiderbandmaß* benutzt. Wir verwenden es im physikalischen Unterricht, um Strecken auf gekrümmten Flächen abzumessen. Große Strecken, wie sie etwa der Landmesser zu vermessen hat, werden mit dem *technischen Bandmaß* ermittelt (Abb. 14).

Übungen:

1. Miß die Umfänge u verschiedener Kochtöpfe, den Umfang eines Weckglases, einer Konservenbüchse, eines Litermaßes und anderer zylindrischer Gefäße (mm)!
2. Miß gleichzeitig auch die äußeren Durchmesser d der unter Ziffer 1 genannten Gefäße (mm) und dividiere jedesmal den Umfang u durch den Durchmesser d!

   Was stellst du für $\frac{u}{d}$ fest?
3. Miß den Umfang u eines Standzylinders mit einem Bandmaß! Wiederhole die Messung, indem du einen Papierstreifen herumlegst, auf dessen übereinandergreifenden Enden du zwei sich deckende Marken anbringst! Nach dem Strecken des Streifens gibt der Abstand zwischen den Marken den Umfang an (Abb. 15).

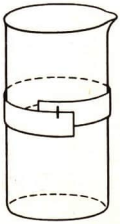


Abb. 15. Ermittlung des Umfanges eines Standzylinders mittels eines herumgelegten Papierstreifens.

3. Über Ablesegenauigkeit und Meßfehler. Wir haben den Auftrag, die Länge l einer in unserem Klassenraum verlaufenden elektrischen Leitung festzustellen. Der Forderung nach möglichst weitgehender Genauigkeit glauben wir dadurch zu genügen, daß wir die Leitung mit einem Meterstab bis auf Millimeter genau ausmessen. Wir finden beispielsweise die Länge $l = 5{,}374\,\mathrm{m}$. Trotz der drei Dezimalstellen der Meßzahl befriedigt uns aber das Meßergebnis bei näherem Zusehen doch nicht. Denn es täuscht eine *Meßgenauigkeit* vor, die in Wirklichkeit gar nicht vorhanden ist. Wir müssen bedenken, daß in unsere Messung *Fehler* eingehen, die im Meßergebnis nicht zu erkennen sind:

1. Die Leitung ist an den Knickstellen nicht scharf gewinkelt, sondern im Bogen geführt. Diese Bogen lassen sich mit dem Meterstab nicht genau ausmessen.
2. Auch die scheinbar geradlinigen Teile der Leitung sind nicht vollkommen gerade, sondern sie enthalten leichte Krümmungen, die beim Messen mit dem Meterstab nicht erfaßt werden.
3. Die zu messende Leitung ist länger als der Meterstab. Durch das mehrfache Anlegen des Maßstabes entstehen Meßungenauigkeiten.
4. Ein hölzerner Meterstab braucht mit der wahren Länge des Meters nicht genau übereinzustimmen. Nach dem Gesetz gilt er auch dann noch als verwendbar, wenn er in der Gesamtlänge der Teilung bis zu 2 mm von einem Meter abweicht.
5. Unbeachtet geblieben sind persönliche Ablesefehler, die erst bei längerer Übung allmählich geringer werden.

Bei dem oben angegebenen Meßergebnis sind also die Millimeter nicht mit Sicherheit zu bestimmen. Wir werden sie daher fortlassen. Darüber hinaus sind aber auch noch die Zentimeter in gewissen Grenzen unsicher. Um mit einiger Wahrscheinlichkeit einen zuverlässigen Meßwert zu erhalten, geben wir uns nicht mit einer Messung zufrieden, sondern führen mehrere Messungen unabhängig voneinander durch. Bei unserem Beispiel mögen wir etwa folgende Meßreihe erhalten:

5,37 5,36 5,35 5,37 5,38 5,36 5,35 5,38 5,36 5,34 m.

Wir bilden den *Mittelwert* dieser Maßzahlen, indem wir alle Zahlen addieren und durch die Anzahl der vorgenommenen Einzelmessungen dividieren. Der Einfachheit halber beschränken wir uns in diesem Falle beim Rechnen auf die letzte Ziffer. Wir erhalten als Mittelwert

$$l = 5{,}36\,\mathrm{m}.$$

Am stärksten weichen die Meßwerte 5,38 m und 5,34 m nach oben und unten vom Mittelwert ab, und zwar um je 0,02 m. Wir deuten dies dadurch an, daß wir schreiben

$$l = 5{,}36 \pm 0{,}02\,\mathrm{m}.$$

Das heißt: alle zwischen den Grenzen 5,34 und 5,38 m liegenden Meßergebnisse sind als brauchbar anzusehen. Wir erkennen noch einmal daraus mit voller Deutlichkeit, daß es bei unserem Beispiel zwecklos und übertrieben wäre, die Länge der Leitung bis auf Millimeter genau anzugeben.

Wir verallgemeinern unser Beispiel und entnehmen aus ihm, daß wir uns vor Beginn einer jeden Messung über die an die Meßgenauigkeit zu stellenden Forderungen klar werden müssen. Wir dürfen sie nicht höher spannen, als es durch den zu messenden Gegenstand und die verwendeten Meßgeräte gerechtfertigt ist. Ebenso müssen wir uns Rechenschaft über die zulässigen *Fehlergrenzen* geben.

Die gleichen Überlegungen gelten nicht nur für Längenmessungen, sondern grundsätzlich für alle Arten von Messungen.

4. Die Schieblehre. Für viele Zwecke reicht die Meßgenauigkeit eines einfachen Maßstabes nicht aus. So müssen etwa bei der Herstellung von Maschinenteilen und feinmechanischen Geräten die vorgeschriebenen Maße bis auf ein Zehntel-, ja Hundertstelmillimeter innegehalten werden. Wie können wir in zuverlässiger Weise prüfen, ob diese Genauigkeit erreicht ist?

Eins der am häufigsten verwendeten Feinmeßgeräte ist die *Schieblehre*, die uns Abb. 1 im Gebrauch beim Messen des Durchmessers eines auf einer Drehbank bearbeiteten Werkstückes zeigt. Abb. 16 läßt Einzelheiten ihrer Ausführung erkennen. Alle Facharbeiter der metallverarbeitenden, der feinmechanischen und der optischen Industrie sowie anderer Berufe müssen mit ihr umzugehen verstehen. Die Schieblehre besteht aus einer *Stahlschiene*, auf der ein kleiner *Rahmen* mit einem fensterartigen Ausschnitt gleitet. Fest mit der Schiene und dem Rahmen ist je eine Stahlbacke verbunden. Zwischen beide Backen wird das zu messende Werkstück geklemmt.

Abb. 16. Schieblehre. Auf der Meßschiene gleitet ein kleiner Rahmen, der in seinem Fenster einen Nonius trägt.

Die Schieblehre trägt außer der auf der Schiene befindlichen Hauptteilung auf dem Rahmen eine Nebenteilung, den sogenannten *Nonius*[1]. Schieben wir die beiden Backen fest zusammen, so sehen wir, daß die Anfangsstriche beider Teilungen einander genau gegenüberstehen. Wir erkennen, daß auf 9 mm der Hauptteilung 10 Skalenteile des Nonius entfallen. Ein Skalenteil des Nonius ist also 0,9 mm breit; der Unterschied zwischen einem Teil der Hauptskala und einem Teil des Nonius beträgt mithin 0,1 mm.

An einem Modell machen wir uns klar, wie man ablesen muß. Wir stellen es uns her, indem wir ein Stück Millimeterpapier auf ein Stück Pappe kleben

[1] Benannt nach seinem Erfinder, dem Portugiesen Petrus Nonius (Nuñez), geb. 1492.

und daraus ein 13 bis 14 cm langes, 4 cm breites Rechteck ausschneiden. Wir versehen es mit einer Haupt- und einer Noniusteilung wie in Abb. 17a. Ein Skalenteil der Hauptteilung ist dann gleich 1 cm, ein Skalenteil des Nonius 0,9 cm. Wir zerschneiden das Rechteck längs der starken Linien in zwei gegeneinander verschiebbare Teile. Legen wir einen Pfennig zwischen die beiden „Backen" (Abb. 17b), so liegt der Anfangspunkt des Nonius rechts vom Teilstrich 1 der Hauptskala. Der Durchmesser d des Pfennigs ist also etwas größer als 1 cm. Wir gehen auf der Hauptskala weiter, bis wir eine Stelle finden, an der sich beide Teilungen decken. Dies ist beim Teilstrich 7 des Nonius der Fall. Das über den Teilstrich 1 der Hauptskala hinausragende Stück des Durchmessers beträgt dann, entsprechend unseren vorangegangenen Überlegungen

$$\underset{\text{(Hauptteilung)}}{7 \cdot 1{,}0\ \text{cm}} - \underset{\text{(Nonius)}}{7 \cdot 0{,}9\ \text{cm}} = 7 \cdot 0{,}1\ \text{cm} = 0{,}7\ \text{cm}.$$

Der Pfennig hat den Durchmesser $d = 1{,}7$ cm.

Bei der gebräuchlichen Schieblehre umfaßt der zehnteilige Nonius nicht wie im Modell 9 cm, sondern 9 mm der Hauptskala. Es lassen sich also an ihm in der gleichen Weise, wie wir es soeben am Modell für die Zehntelzentimeter kennenlernten, noch die Zehntelmillimeter ablesen.

Für den Gebrauch der Schieblehre merken wir uns:

1. Wir klemmen das Werkstück fest zwischen die beiden Backen.
2. Wir lesen am letzten vor dem Nonius liegenden Teilstrich der Hauptskala die vollen Zentimeter und Millimeter der Länge des Werkstückes ab.
3. Wir lesen die Zehntelmillimeter am deckenden Teilstrich des Nonius ab.

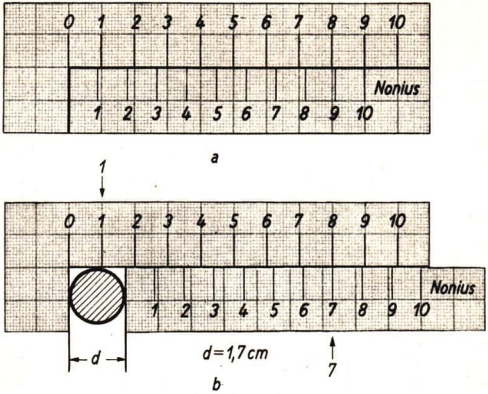
Übungen:

1. Miß die Länge deines Schultisches, indem du nacheinander verwendest a) ein Lineal, b) einen Meterstab, c) ein Schneiderbandmaß, d) einen Gliedermaßstab (Meßbereich bis 2 m)!
2. Miß die Länge des Klassenraumes an verschiedenen Stellen mit zwei Meterstäben durch mehrfaches Anlegen bis auf die Zentimeter aus (10 Einzelmessungen)! Ermittle den Durchschnittswert und die Fehlergrenzen!
3. Miß bei einer großen Zahl von Schreibheften an verschiedenen Stellen die Länge und Breite bis auf Millimeter! Bestimme den Durchschnittswert und die Fehlergrenzen!
4. Stelle dir das Modell einer Schieblehre her, indem du ein Stück Millimeterpapier auf ein Kartonblatt klebst und daraus ein 13 bis 14 cm langes und 4 cm breites Rechteck ausschneidest (vgl. Abb. 17)! Bringe darauf eine Teilung wie in Abb. 17 an und zerschneide das Rechteck längs der starken Linien in zwei gegeneinander verschiebbare Teile!

Abb. 17. Modell eines Nonius aus Millimeterpapier.

a) Nullstellung

b) Messung des Durchmessers eines Pfennigs



Miß mit Hilfe des Schieblehrenmodells die Durchmesser eines 5-Pf-Stückes, eines 10-Pf-Stückes, den Durchmesser eines Bleistiftes, die Breite und Höhe eines hölzernen Federkastens und andere Strecken!

5. Miß die Längen und Durchmesser verschiedener Nägel und Schrauben mit der Schieblehre bis auf 0,1 mm!
6. Ermittle die Durchmesser einiger Metallbolzen, einer Fahrradachse, einer Glasröhre mit der Schieblehre bis auf 0,1 mm!

§ 5. Raummessungen

1. Raummessungen an Flüssigkeiten. Am einfachsten und unmittelbarsten können wir Raummessungen von Flüssigkeiten vornehmen. In vielen Fällen genügt dazu schon ein Litermaß oder ein Halblitermaß. Für genauere Messungen benutzen wir einen mit einer Skala versehenen *Meßzylinder*, auch *Mensur*[1] genannt (Abb. 18). Die Skala ist in der Regel in Kubikzentimeter (cm^3) oder, wie man auch sagt, Milliliter (ml) geteilt.

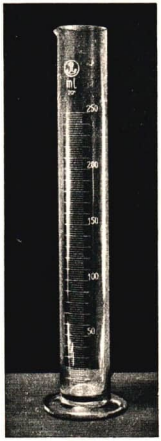


Abb. 18. Meßzylinder zum Ermitteln des Rauminhaltes von Flüssigkeiten

[1] mensura (lat.) = Maß.

Die in der Physik verwendeten Raumeinheiten sind:

Das **Kubikmeter** (m^3), das **Kubikdezimeter** (dm^3) oder **Liter** (l), das **Kubikzentimeter** (cm^3) oder **Milliliter** (ml), das **Kubikmillimeter** (mm^3).

Es ist $1\ m^3 = 1000\ dm^3 = 1000\ l$,
$1\ l = 1000\ cm^3 = 1000\ ml$,
$1\ cm^3 = 1000\ mm^3$.

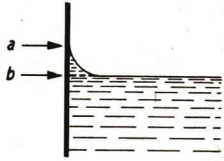


Abb. 19. Beim Ablesen des Wasserstandes einer benetzenden Flüssigkeit ist die Randkrümmung zu berücksichtigen. Nicht bei *a*, sondern bei *b* ablesen!

Füllen wir Wasser in den Meßzylinder, so steht die Flüssigkeitsoberfläche am Rande etwas höher als in der Mitte. Die Ursache dafür werden wir später erfahren. Für die Ablesung ist nicht die Randlinie, sondern die Mitte der Flüssigkeitsoberfläche maßgebend (Abb. 19).

Wie bei der Längenmessung genügt es häufig, einen Rauminhalt wenigstens schätzungsweise einigermaßen genau anzugeben. Wir wollen uns daher daran gewöhnen, stets den Rauminhalt eines Hohlraumes vor dem Ausmessen abzuschätzen.

Übungen:

1. Schätze den Inhalt eines Eimers und miß ihn, indem du das in ihm befindliche Wasser mit einem Litermaß ausschöpfst!
2. Stelle den Rauminhalt von Flaschen, Bechergläsern durch Abfüllen von Wasser in einen Meßzylinder fest! Schätze den Rauminhalt vorher!
3. Überlege, wie man den Rauminhalt eines Wassertropfens mittlerer Größe mit Hilfe einer Tropfflasche und eines feingeteilten Meßzylinders ermitteln kann, und führe die Messung aus!

2. Bestimmung des Rauminhaltes fester Körper durch Rechnung. Wir können den Rauminhalt mathematisch einfacher Körper durch Rechnung finden. Insbesondere gilt das für den *Quader* und den *Würfel*. Wir fertigen uns beispielsweise aus Plastilin oder aus Ton einen 5 cm langen, 3 cm breiten, 4 cm hohen Quader an (Abb. 20). Wir können ihn auch aus einer größeren Kartoffel herausschneiden. Der Quader läßt sich in vier je 1 cm dicke Platten zerschneiden. Da jede von ihnen 5 cm lang und 3 cm breit ist, ist sie in $5 \cdot 3 = 15$ Würfel von je 1 cm^3 Rauminhalt zerlegbar. Der Quader enthält demnach im Ganzen $5 \cdot 3 \cdot 4 = 60$ solcher Würfel, hat also einen Raum-

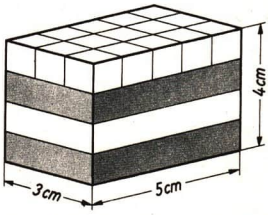


Abb. 20. Zerlegung eines Quaders in cm^3-Würfel

inhalt von $V = 60\ cm^3$. Entsprechendes gilt für alle anderen Werte von Länge, Breite und Höhe.

Wir finden den Rauminhalt eines Quaders, indem wir Länge, Breite und Höhe des Quaders miteinander multiplizieren.

In derselben Weise finden wir den Rauminhalt eines Würfels, der nichts anderes ist als ein Quader, bei dem Länge, Breite und Höhe gleich groß sind.

Übungen:

1. Berechne den Rauminhalt eures Klassenzimmers, eines Ziegelsteines! (Vgl. Übung 4 und 5 in § 4, 1.)
2. Miß Länge, Breite und Höhe eures Klassenschrankes und berechne seinen Rauminhalt!
3. Ermittle den Rauminhalt einer Streichholzschachtel!

3. Bestimmung des Rauminhaltes fester Körper durch Wasserverdrängung. Es ist durchaus möglich, daß wir im physikalischen Unterricht auch einmal den Rauminhalt eines Körpers bestimmen müssen, den wir mit Hilfe einer einfachen mathematischen Formel nicht berechnen können. Wie können wir uns da helfen? Wir nutzen die Verdrängung des Wassers durch feste Körper aus, von der wir in § 2, 2 gehört haben. Wir senken den an einen dünnen Draht gebundenen Stein in einen mit Wasser gefüllten Meßzylinder und lesen an der Skala unmittelbar die Wasserverdrängung und damit den Rauminhalt des Körpers ab. Noch genauer wird die Messung, wenn wir ein sogenanntes *Überlaufgefäß* verwenden, aus dem das vom Körper verdrängte Wasser seitlich abläuft. Es ist darauf zu achten, daß vor Beginn des Versuches das Gefäß bis zum Überlauf gefüllt ist. Wir können das Wasser in einem engen, feingeteilten Meßzylinder auffangen, in den der zu messende Körper selbst unter Umständen nicht hineinpaßt (Abb. 21).

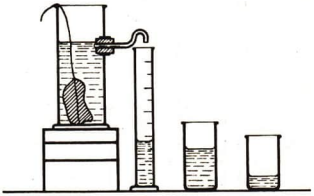


Abb. 21. Raummessung eines festen Körpers mit einem Überlaufgefäß. Das vom eingetauchten Körper verdrängte Wasser läuft in einen Meßzylinder über.

Übungen:

1. Bestimme den Rauminhalt eines 500-g-Gewichtsstückes, eines Vorhangringes aus Porzellan, eines Hausschlüssels! Gib die Genauigkeitsgrenzen an!
2. Ermittle den durchschnittlichen Rauminhalt einer Murmel, indem du zehn beliebige Murmeln in ein Überlaufgefäß fallen läßt und die verdrängte Wassermenge mißt! Wie findet man daraus den Rauminhalt einer Kugel?

§ 6. Das Messen von Stoffmengen durch Bestimmen des Rauminhaltes und durch Wägung

1. Der Rauminhalt als Maß für die Stoffmenge. Im Physik- wie im Chemieunterricht, in der Technik wie im Alltagsleben müssen wir oft die *Menge* eines verwendeten Stoffes genau angeben. Bei Flüssigkeiten bietet dies keine Schwierigkeiten. Mit Hilfe eines Meßzylinders bestimmen wir leicht den *Rauminhalt* einer Flüssigkeit und gewinnen auf diese Weise gleichzeitig eine Maßangabe der *Stoffmenge*.

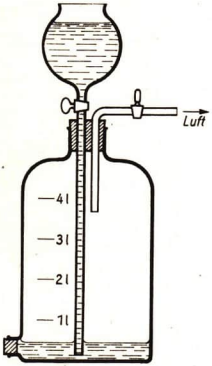


Abb. 22. Meßflasche für Gase. Das im Trichter befindliche Wasser drückt eine Gasmenge heraus, deren Rauminhalt man an der an der Flasche angebrachten Teilung ablesen kann.

Durch Messen des Rauminhaltes ermitteln wir auch die Stoffmenge von Luft und anderen Gasen. Nur können wir Gase nicht wie Flüssigkeiten in einen Meßzylinder gießen.

Wollen wir eine Luft- oder Gasmenge, die wir etwa bei einem Versuch verwenden, genau feststellen, so leistet uns dabei eine in Abb. 22 wiedergegebene Vorrichtung gute Dienste. Eine große Flasche ist mit Luft oder mit dem von uns benötigten Gase gefüllt. Mit Hilfe von Wasser, das wir durch einen großen Trichter zufließen lassen, drücken wir eine bestimmte Luftmenge heraus, die wir durch einen Schlauch dorthin leiten, wo wir sie brauchen. Die durch das zufließende Wasser verdrängte Luft hat genau den gleichen Rauminhalt wie das Wasser. Wir lesen die Menge des eingedrungenen Wassers entweder an einer an der Flasche angebrachten Teilung ab oder messen den Rauminhalt des Wassers vor dem Eingießen.

In jedem Hause, das an eine Wasserleitung angeschlossen ist, findet sich ein *Wassermesser*, der die verbrauchte Wassermenge angibt. Denn nach dieser Menge errechnet sich der Betrag, der monatlich dafür zu entrichten ist. Im Wassermesser wird durch das hindurchströmende Wasser ein Flügelrad in Umdrehung versetzt, die sich auf ein Zeigerwerk überträgt (Abb. 23).

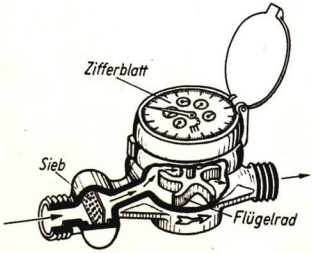


Abb. 23. Wassermesser (schematische Darstellung). Im Wasserstrom dreht sich ein Flügelrad. Aus der Zahl der Umdrehungen, die durch ein Zählwerk angezeigt wird, läßt sich ein Schluß auf die hindurchgeströmte Wassermenge ziehen.

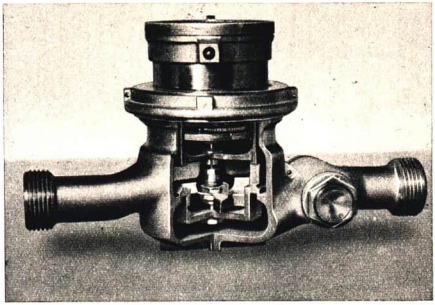


Abb. 24. Wassermesser (Schnittmodell). Im unteren Teil des Bildes erblickt man einige Flügel des Flügelrades. Das im oberen Teil sichtbare Gehäuse enthält das Meßwerk.

Abb. 24 zeigt einen Haus-Wassermesser, dessen Seitenwand aufgeschnitten wurde, so daß man in das Innere blicken kann. Man sieht mehrere Flügel des Flügelrades.

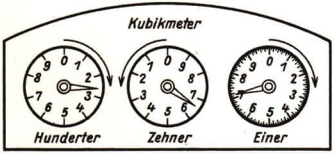


Abb. 25. Zeigerwerk eines Gasmessers. Die Achsen der Zeiger sind durch Zahnräder miteinander verbunden. Vollführt ein Zeiger eine volle Umdrehung, so dreht sich der links davon befindliche um einen Skalenteil weiter.

Ebenso ist jede mit Leuchtgas versorgte Wohnung mit einem Gasmesser ausgestattet. Gib den Stand des Gasmessers nach dem in Abb. 25 wiedergegebenen Beispiel an!

Im *Gasmesser* befinden sich zwei Paare von Kammern, deren Trennwände mit Hilfe von harmonikaartigen Lederbalgen verschiebbar konstruiert sind. Durch sogenannte Schieberventile wird in jedem Kammerpaar abwechselnd und selbsttätig die eine Kammer an die Gaszuführungsleitung, die andere an die Verbraucherleitung angeschlossen (Abb. 26). Dadurch wird erreicht,

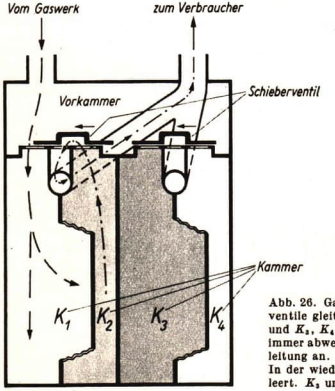


Abb. 26. Gasmesser (schematische Darstellung). Die Schieberventile gleiten über den Öffnungen der Kammerpaare K_1, K_2 und K_3, K_4 hin und her. Sie schließen die Kammern dadurch immer abwechselnd an die Vorkammer und an die Verbraucherleitung an.
In der wiedergegebenen Stellung wird K_1 gefüllt und K_2 entleert. K_3 und K_4 sind vorübergehend in Ruhe.

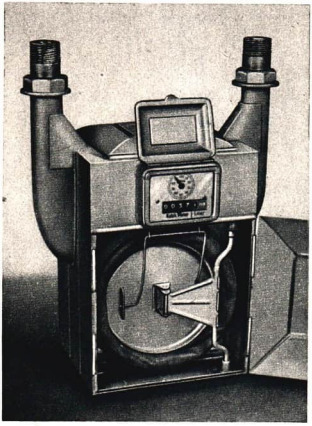


Abb. 27. Gasmesser (geöffnetes Modell). Die Vorderwand ist abgenommen. Man sieht eine der verschiebbaren Trennwände.

daß sich von jedem Kammerpaar immer die eine Kammer füllt, wobei sie die verschiebbare Trennwand vor sich herschiebt. Das in der anderen Kammer befindliche Gas wird dabei in die Verbraucherleitung gedrängt. Nach dem Umschalten des Ventils tritt der umgekehrte Vorgang ein; beim Umschalten kommen die Kammern vorübergehend in Ruhestellung. Damit dadurch nicht die Gasabgabe an die Verbraucherleitung unterbrochen wird, läßt man die beiden Schieberventile nicht gleichzeitig, sondern nacheinander umschalten, so daß der Verbraucherleitung ständig Gas zugeführt wird. Die Bewegung der beiden Trennwände wird auf ein Zählwerk übertragen. Das Zählwerk des in Abb. 27 abgebildeten Gasmessers arbeitet mit sogenannten *springenden Ziffern.*

Die genaue Bestimmung des Rauminhaltes von Flüssigkeiten und insbesondere von Gasen erfordert die Berücksichtigung des Einflusses von Temperatur- und Druckschwankungen. Wir werden später näher darauf eingehen.

Übungen:

1. Lies an jedem Tage zu einer bestimmten Stunde den Stand des Gasmessers in eurer Wohnung ab und kontrolliere so euren Gasverbrauch!
2. Tue dasselbe zu Monatsanfang und -ende und berechne aus dem Preis für 1 m^3 Leuchtgas den Preis für die gesamte im Monat verbrauchte Gasmenge!

2. Wir benutzen eine Waage. Wollen wir die Stoffmenge feststellen, aus der ein fester Körper besteht, so ist das bei Flüssigkeiten angewendete Verfahren dazu nicht geeignet. Denn man kann einen festen Körper nicht in einen Meßzylinder „gießen". Auch wenn der Körper pulverförmig oder körnig ist, wie z. B. Mehl, Grieß, Graupen, Erbsen, ist die Verwendung von Hohlmaßen zum Feststellen der Stoffmenge durchaus unzureichend. Denn erstens sind infolge der zwischen den Teilchen befindlichen Hohlräume Meßfehler unvermeidlich. Ferner ist die Oberfläche einer pulverisierten oder aus natürlichen Körnern bestehenden Menge, die man in ein Hohlmaß schüttet, nicht eindeutig festgelegt.

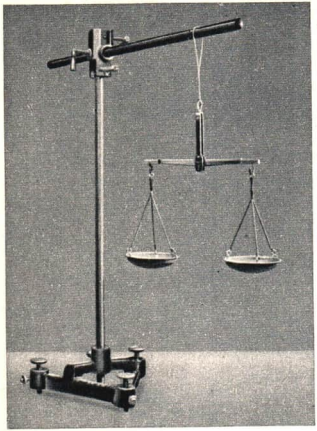


Abb. 28. Hornschalenwaage, an einem Stativ hängend. Im oberen Teil der Gabel, in der der Waagebalken gelagert ist, sieht man die Öffnung, durch die man das Einspielen des Zeigers auf die Nullmarke beobachten kann.

Wir ermitteln die Stoffmenge eines festen Körpers durch Wägen auf einer Balkenwaage und bezeichnen den so gefundenen Wert als die **Masse** des Körpers. Als *Masseneinheiten* verwenden wir das **Kilogramm** (kg) bzw. das **Gramm** (g). Eine noch kleinere Masseneinheit ist das **Milligramm** (mg), eine sehr große die **Tonne** (t). Es ist

$$1\ \mathrm{t} = 1000\ \mathrm{kg},$$
$$1\ \mathrm{kg} = 1000\ \mathrm{g},$$
$$1\ \mathrm{g} = 1000\ \mathrm{mg}.$$

Erforderlich zum Wägen ist eine *Waage*.

Meist genügt für unsere Zwecke im Physikunterricht eine einfache *Hornschalenwaage*, die wir an einem Stativ aufhängen (Abb. 28). Wir werden später noch empfindlichere Waagen kennenlernen. Zum Wägen größerer Massen oder zum Wägen von Körpern, die dabei sicher stehen müssen, werden wir häufig die sogenannte *oberschalige Tafelwaage* verwenden, die uns auch als *Küchenwaage* bekannt ist (Abb. 29).

Den zu wägenden Körper legen wir auf die eine Waagschale. Auf die andere Schale legen wir in Gramm geeichte Vergleichskörper, sogenannte *Gewichtsstücke*, und zwar so viel, daß der Waagebalken waagerecht einspielt. Das Eintreten dieses Zustandes erkennen wir bei der Hornschalen-

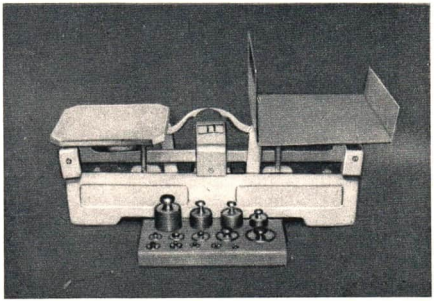


Abb. 29. Oberschalige Tafelwaage mit Gewichtssatz

waage an einem am Waagebalken befestigten Zeiger, der beim Erreichen des Gleichgewichtes auf eine Marke zeigt.

Zu jeder Waage gehört ein sogenannter *Gewichtssatz* (vgl. Abb. 29). Er ist so in genormte Gewichtsstücke gegliedert, daß sich innerhalb seines Meßbereiches jede in vollen Gramm angebbare Stoffmenge damit messen läßt. Der in Abb. 29 wiedergegebene Gewichtssatz hat einen Meßbereich von 1200 g.

Beispiele:

1. Beispiel für die Gliederung eines Gewichtssatzes:

   1 g, 2 g, 2 g, 5 g, 10 g, 20 g, 20 g, 50 g, 100 g, 200 g, 200 g, 500 g — Meßbereich 1 g bis 1110 g.

2. Beispiel für eine Wägung:

   Es werden folgende Gewichtsstücke benutzt:

   500 g + 200 g + 100 g + 20 g + 20 g + 2 g + 1 g = 843 g.

   Drücke 756 g, 487 g, 349 g in ähnlicher Weise aus!

Durch Wägen können wir Stoffmengen weit zuverlässiger angeben als durch Messen des Rauminhaltes. Bei feineren Waagen, wie wir sie später kennenlernen werden, treten zu den vollen Grammen noch sogenannte *Bruchgramme*, das sind Zehntel-, Hundertstel-, ja Tausendstelgramme. Wegen der größeren zu erzielenden Genauigkeit werden wir Stoffmengen auch bei flüssigen und gasförmigen Körpern vielfach durch Wägen bestimmen.

Übungen:

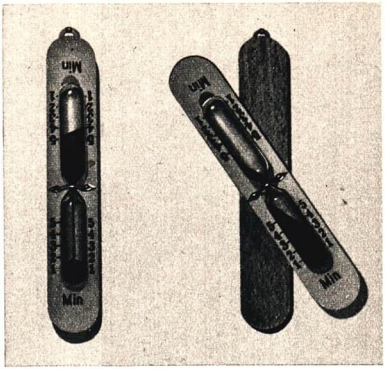
1. Wäge 10 mittelgroße Kartoffeln und bestimme, wieviel eine Kartoffel im Durchschnitt wiegt!
2. Ermittle durch Wägen von 20 Murmeln, wieviel eine Murmel durchschnittlich wiegt!
3. Wieviel wiegt ein Normal-Ziegelstein? (Benutze eine Tafelwaage!)
4. Wäge einen Meßzylinder auf einer oberschaligen Tafelwaage (Küchenwaage) und gieße 100 cm^3 Öl, Sirup, Spiritus hinein! Bestimme die Stoffmenge der Flüssigkeiten in g!

   Bemerkung: Bei 1 sollen die Kartoffeln einzeln gewogen werden, bei 2 die 20 Murmeln zusammen.

§ 7. Zeitmessungen

1. Sanduhr und Pendel. Mitunter bedient man sich einer *Sanduhr* (Abb. 30), um die zum Kochen von Eiern erforderliche Zeit zu messen. Man nennt eine Sanduhr deswegen häufig auch *Eieruhr*. Die abgebildete Sanduhr läßt sich an die Wand hängen und besteht im wesentlichen aus zwei an einer drehbaren Leiste angebrachten kleinen, zylindrischen Behältern. Sie sind so zusammengeschmolzen, daß sie durch ein enges Röhrchen mit-

einander verbunden sind. Der untere dieser Behälter ist mit feinkörnigem Sand gefüllt. Beim Gebrauch drehen wir die vordere Leiste der Sanduhr so herum, daß sich der gefüllte Behälter oben befindet. Der Sand läuft in feinem Strahle in den unteren Behälter. Dabei verfließt eine ganz bestimmte Zeitspanne, die beispielsweise auf 5 Minuten abgeglichen wird.



a) senkrechte Stellung b) schräge Stellung der drehbaren Leiste

Abb. 30. Eieruhr. Die Eieruhr hängt an der Wand und trägt vorn eine drehbare Leiste, auf der der Sandbehälter befestigt ist.

Mag die Sanduhr als Eieruhr auch durchaus ihren Zweck erfüllen, so reicht ihre Genauigkeit für feinere Messungen nicht aus.

Außerdem empfinden wir es als Nachteil, daß sich der Vorgang des Sandablaufs nicht selbsttätig wiederholt. Beide Mängel vermeiden wir, wenn wir uns eines *Pendels* als Zeitmessers bedienen. Wir stellen uns ein Fadenpendel her, indem wir eine kleine Metallkugel an einem dünnen Faden aufhängen und schwingen lassen. Die Aufhängung selbst muß möglichst reibungsfrei erfolgen.

Wie wir durch einfaches Mitzählen feststellen können, schwingen Pendel von gleicher Länge immer im gleichen Takt. Die Gesamtschwingungsweite muß dabei klein gegenüber der Pendellänge sein, d. h. sie darf über ein Drittel der Pendellänge nicht hinausgehen.

Wir bezeichnen dabei einen vollen Hin- und Hergang als eine *Schwingung*. Die Schwingungen werden allmählich schwächer, ohne daß sich dabei die Zeitdauer einer Schwingung ändert. Wir ersehen daraus, daß ein Fadenpendel zum Einteilen der Zeit in gleiche Abschnitte und damit zum Messen der Zeit durchaus geeignet ist.

Durch Versuche stellen wir fest, daß bei einer Verlängerung des Fadens das Pendel langsamer, bei einer Verkürzung schneller schwingt. Durch Probieren und durch Rechnung hat man gefunden, daß die Länge eines Pendels, gemessen vom Aufhängepunkt bis zum Mittelpunkt der Kugel, in unserer geographischen Breite gleich 99,4 cm sein muß, wenn ein Hingang bzw. ein Hergang, mithin eine halbe Schwingung, genau 1 Sekunde dauern

soll. Wir nennen ein solches Pendel *Sekundenpendel.* Die volle Schwingungszeit beträgt bei ihm 2 Sekunden.

2. Pendel- und Taschenuhren. Zur genauen Zeitmessung verwenden wir *Uhren.* In allen Uhren finden wir Räderwerke, die die Zeiger in Umlauf halten. Sie werden durch absinkende Gewichtsstücke oder durch gespannte Federn angetrieben. So wichtig diese Räderwerke zum Antrieb der Zeiger sind, so dürfen wir in ihnen doch nicht das eigentliche Meßwerk der Uhr erblicken. Bei der *Pendeluhr* wird die Zeit durch das Pendel in gleiche Abschnitte geteilt und dadurch gemessen. Ein in Abb. 31 wiedergegebenes Modell zeigt uns die Einrichtung einer Pendeluhr in vereinfachter Form. Ein Pendel schwingt in einem bestimmten Takt hin und her. An seinem oberen Ende ist es durch eine Mitnehmergabel mit dem *Anker* verbunden, dessen beide *Klauen* abwechselnd rechts und links in die Zähne des sogenannten *Steigrades* eingreifen. Dabei rückt das Steigrad jedesmal um eine halbe Zahnteilung weiter und regelt so den Lauf der Uhr. In Wirklichkeit greift das Zuggewicht nicht wie im Modell unmittelbar an der Welle des Steigrades an. Es treibt vielmehr das Uhrwerk an, das mit der Welle des Steigrades durch Zahnräder verbunden ist.

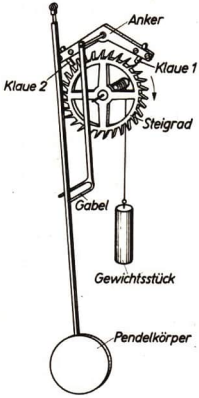


Abb. 31. Modell einer Pendeluhr. Durch das Eingreifen der Klauen des Ankers in die Zähne des Steigrades wird dieses rhythmisch in seinem Lauf gehemmt.

So wirkt das Pendel regelnd auf das Steigrad und damit auf das ganze Uhrwerk ein. Umgekehrt findet aber auch eine Rückwirkung vom Steigrad auf das Pendel statt. Jedesmal, wenn der Anker mit einer Klaue aus dem Steigrad aushakt, gleitet der freigegebene Zahn an der schrägen Endfläche der Klaue entlang und stößt sie zur Seite. Dadurch wird das Pendel in Gang gehalten, das ohne diesen Antrieb bald zum Stillstand kommen würde.

Bei den *Taschenuhren* tritt an die Stelle des Pendels die sogenannte *Unruh;* sie ist ein kleines Schwungrad, das durch eine feine Spiralfeder in schwingender Bewegung gehalten wird. Die Unruh überträgt mittels eines Mitnehmerstiftes ihre Schwingungen auf einen Anker. Sie wirkt durch ihn regelnd auf ein Steigrad und damit wieder auf das ganze Uhrwerk ein (Abb. 32). Wie das Pendel bei der Pendeluhr, so erhält auch hier die Unruh durch Stöße des Steigrades gegen die Klauen des Ankers immer wieder einen neuen Antrieb.

3. Versuche und Fragen

1. Ermittle die Ablaufzeit einer Sanduhr in vollen Sekunden durch Vergleich mit dem Sekundenzeiger einer Taschenuhr!

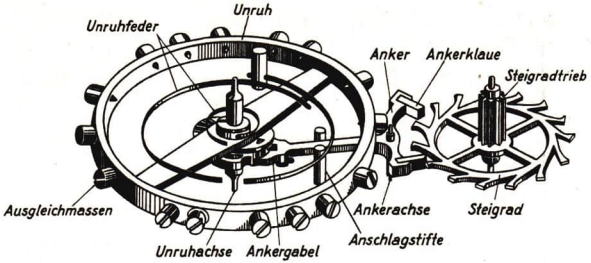


Abb. 32. Modell einer Unruh. Von der Unruhfeder sind nur wenige Windungen gezeichnet, um nicht den Blick auf die darunter liegenden Teile, den Mitnehmerstift der Unruh und die Ankergabel zu behindern. Der hin und her schwingende Anker greift mit seinen beiden Klauen abwechselnd in die Zähne des Steigrades ein.

2. Stelle ein Sekundenpendel her und miß mit seiner Hilfe die Laufzeit einer Sanduhr!
3. Fertige ein Fadenpendel an, das doppelt so schnell schwingt wie ein Sekundenpendel, so daß also ein voller Hin- und Hergang in 1 s erfolgt! Wie lang ist es?
4. Stelle zwei verschieden lange Fadenpendel her, von denen das kürzere zweimal, dreimal so schnell schwingt wie das lange! Stelle fest, der wievielte Teil der Pendellänge des langen Pendels auf das kurze entfällt!
5. Stelle nach dem Gehör die Zahl der Schwingungen des Ankers einer Taschenuhr in 1 s fest!

§ 8. Von der Verformbarkeit der festen Körper

1. Elastische Körper. Wir haben in § 3, 2 die drei Aggregatzustände zu unterscheiden gelernt und dabei festgestellt, daß feste Körper im Gegensatz zu den Flüssigkeiten und Gasen eine bestimmte Gestalt haben. Dies ist aber nicht so zu verstehen, als ob die Gestalt fester Körper unter allen Umständen unveränderlich sei. Die Erfahrung lehrt uns, daß dies nicht der Fall ist.

Wir brauchen nur eine Rasierklinge zur Hand zu nehmen: sie läßt sich leicht durch einen schwachen Fingerdruck biegen. Hört aber die Kraftwirkung von außen her auf, so nimmt die Rasierklinge wieder ihre ursprüngliche Gestalt an. Die gleiche Erscheinung können wir an einer Stricknadel oder an einem stählernen Lineal beobachten, die wir beide ebenfalls mit geringem Kraftaufwand biegen können, ohne daß die Verformung Bestand hat. Ein ähnliches Verhalten zeigen viele Gebrauchsgegenstände, die wie die drei genannten aus *Stahl* bestehen.

Stoffe, die nach einer vorangegangenen Verformung ihre alte Form wieder annehmen, sobald die äußere Einwirkung aufhört, heißen **elastische Stoffe.**

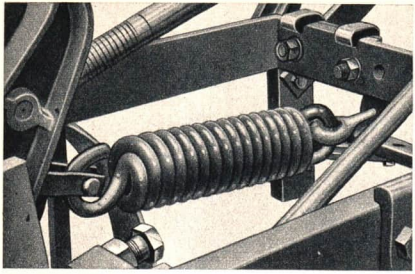


Abb. 33. Schraubenfeder (Zugfeder) an einer landwirtschaftlichen Maschine

Die Elastizität des Stahls ist technisch von großer Bedeutung. Sie wird zur Konstruktion von *Federn* aller Art benutzt. Nach ihrer Form unterscheiden wir *Schraubenfedern*, *Blattfedern*, *Spiralfedern*, nach der Art ihrer Beanspruchung *Zug-* und *Druckfedern* (Abb. 33 bis 36). Schraubenfedern, und zwar sowohl Zug- wie Druckfedern, finden wir vielfach an technischen Einrichtungen, z. B. an den Ventilen der Motoren und Dampfmaschinen. Das bekannteste Beispiel für Spiralfedern sind die Triebfeder und die Unruhfeder in der Taschenuhr. Blattfedern dienen als Federung für die Achsenlager von Fahrzeugen aller Art; doch finden sie auch bei anderen Vorrichtungen vielfach Verwendung, z. B. als „Zungen" bei der Mundharmonika und beim Akkordeon (vergl. S. 103).

Suche Federn verschiedener Art an Maschinen, Kraftwagen und anderen Fahrzeugen, ferner an Schlössern und Uhren! Gib in jedem Falle die Form und den Verwendungszweck der Feder und die Art der Beanspruchung an!

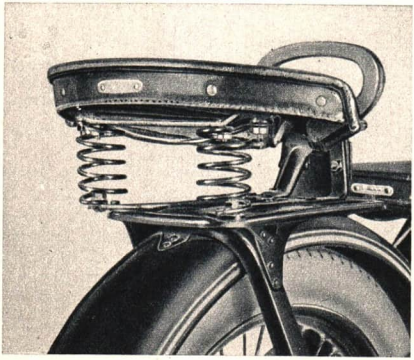


Abb. 34. Schraubenfeder (Druckfeder) am Soziussitz eines Motorrades

Stahl zeigt seine Elastizität nicht nur in der Ausführungsform als Feder. Wir brauchen nur eine aus einem Kugellager entnommene Stahlkugel auf eine Stahlplatte herabfallen zu lassen. Sie prallt an dieser Unterlage ab und erreicht fast wieder ihre alte Höhe. An dem Fleck, den sie nach dem Aufprall auf eine berußte Platte aufweist bzw. auf dieser hinterläßt, erkennen wir, daß sich die Kugel im Augenblick

des Aufprallens abplattete (Abb. 37). Nach dem Abspringen von der Unterlage nimmt sie wieder ihre Kugelgestalt an, ebenso wie sich auch Eindrücke in die elastische Unterlage wieder ausgleichen. Neben Stahl ist besonders *Gummi* wegen seiner Elastizität bekannt. Doch ist diese Eigenschaft auch bei vielen anderen Stoffen nachweisbar, wenn wir sie auch nicht immer ohne weiteres beobachten können. So wird man Glas kaum für elastisch halten. Versuchen wir beispielsweise eine gewöhnliche Glasscheibe zu biegen, so zerbricht sie. Benutzen wir dagegen zum Versuch ein ganz dünnes Glasscheibchen, wie man es als sogenanntes *Deckglas* bei mikroskopischen Präparaten verwendet, so können wir es bei vorsichtiger Behandlung leicht zwischen den Fingern biegen, ohne daß es zerbricht. Beim Nachlassen der Kraftwirkung streckt sich das Scheibchen wieder von selbst. Auch Glas erweist sich demnach als elastisch.

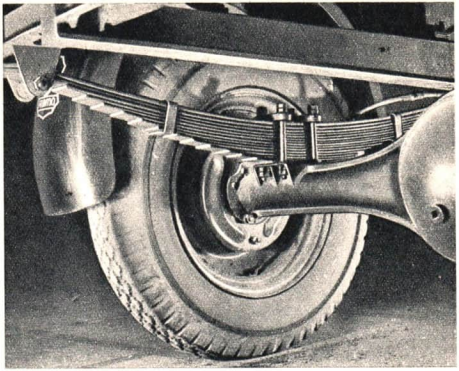


Abb. 35. Blattfeder an der Hinterradachse eines Lastkraftwagens

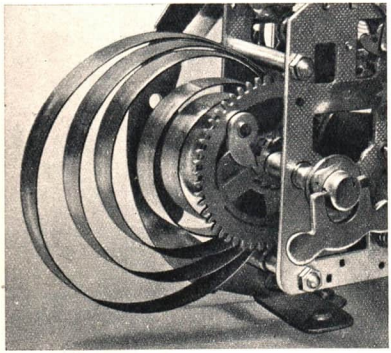


Abb. 36. Spiralfeder (Zugfeder) in einer Weckeruhr. Die Feder treibt das Gehwerk des Weckers. Sie wird durch Linksdrehung aufgezogen. Eine Sperrklinke greift dabei in die Zähne eines Zahnrades ein und verhindert ein Rückwärtsdrehen der Achse. Beim Entspannen nimmt die Feder das große Zahnrad mit und dreht es nach rechts.

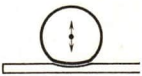


Abb. 37. Abplattung einer elastischen Kugel (Berührungsstelle übertrieben breit gezeichnet)

Stoffe sind elastisch, wenn bei ihnen eine durch äußere Einwirkungen hervorgerufene Verformung von selbst wieder zurückgeht, sobald die Ursache der Verformung aufhört.

Nenne noch andere elastische Stoffe! Untersuche in dieser Hinsicht z. B. Holz, Pappe, hartes Igelit!

2. Unelastische Körper. Wir versuchen, uns selbst eine Feder herzustellen, indem wir einen dünnen Eisendraht, sogenannten Bindedraht, etwa zwanzigmal um einen runden Holzstab wickeln. Wir erhalten eine Drahtwendel, die einer Schraubenfeder durchaus ähnlich sieht. Ziehen wir aber die Wendel auseinander, so behält sie nach Aufhören der Zugwirkung die beim Strecken gewonnene Länge im Gegensatz zu den aus Stahldraht hergestellten Schraubenfedern bei. Eisendraht ist *unelastisch.* Dasselbe gilt für Eisenblech. Biege ein Stück Konservenbüchsenblech! Es behält seine neue Form. Lassen wir eine Bleikugel auf eine Unterlage herabfallen, so springt sie nicht wie die Stahlkugel wieder empor. Sie behält die durch den Aufprall hervorgerufene Abplattung bei und nimmt ihre ursprüngliche Kugelgestalt nicht wieder an. Blei ist ebenfalls unelastisch. Legen wir ein Stück Blei auf eine harte Unterlage, so können wir es durch Hammerschläge verformen. Deswegen bezeichnen wir das Blei auch als *plastisch.*

Nenne andere plastische Stoffe! Denke dabei an den Stoff, den die Bildhauer zum Modellieren ihrer Bildwerke verwenden! — Forme eine Kugel aus Knetmasse (Plastilin) und laß sie fallen! Versuche, mit ihr Ball zu spielen, wobei du sie gegen die Wand wirfst! Wie beurteilst du das Verhalten der Kugel?

3. Festigkeit. Wie wir in den beiden vorangehenden Abschnitten erfuhren, können feste Körper unter dem Einfluß äußerer Einwirkungen ihre Form ändern. Diese Verformungen sind zum Teil elastischer, zum Teil unelastischer Natur; auf keinen Fall aber können sie, wie uns die Erfahrung lehrt, beliebig weit fortgesetzt werden.

Wir klemmen eine Stricknadel mit einem Ende fest in einen Schraubstock und ziehen das freie Ende etwas zur Seite. Lassen wir es los, so schwingt es einige Zeit schnell hin und her. Die Schwingungen werden allmählich schwächer und hören schließlich ganz auf. Dabei kehrt die Nadel wieder in die ursprüngliche Lage zurück. Biegen wir aber die Nadel genügend stark zur Seite, so behält sie die gekrümmte Form bei; sie hat eine *unelastische Verformung* erlitten. Bei oft wiederholtem Biegen zerbricht sie schließlich.

Wir befestigen einen dünnen Eisen- oder Kupferdraht mittels eines Hakens an einem Türbalken und belasten den Draht mit Gewichtsstücken. Der Draht dehnt sich, und zwar um so stärker, je mehr Gewichtsstücke wir anhängen. Bei einer bestimmten Belastung zerreißt er schließlich.

Aus beiden Versuchen ersehen wir deutlich, daß man einen Körper nicht beliebig verformen kann, wenn er nicht zerstört werden soll.

Jeder Körper hat eine bestimmte Zerreißfestigkeit.

Die Festigkeit der einzelnen Werk- und Baustoffe spielt bei der Herstellung von Maschinen und anderen technischen Erzeugnissen, ebenso auch bei Bauten eine außerordentlich wichtige Rolle. Sie ist daher durch sorgfältig durchgeführte Versuche für alle technisch wichtigen Stoffe genau ermittelt worden.

Stoffe, die sich stark verformen lassen, ehe sie zerreißen oder zerbrechen, nennen wir *zähe*. Dazu gehören u. a. Stahl, Schmiedeeisen, Kupfer, Messing, Bronze, Blei und noch andere Metalle. Wird ein Körper schon bei einer geringfügigen Verformung zerstört, so bezeichnen wir den Stoff, aus dem er besteht, als *spröde*. So können z. B. gußeiserne Gegenstände durch Hammerschläge zertrümmert werden. Noch spröder ist Glas; gläserne Gegenstände zerspringen meist schon beim Umfallen. Um so beachtlicher ist der in Abschnitt 1 erwähnte Versuch mit dem mikroskopischen Deckglas. Er lehrt uns, daß Elastizität und Sprödigkeit zwei durchaus miteinander vereinbare Eigenschaften sind.

4. Versuche und Fragen

1. Stelle fest, was für Federn am Sattel eines Fahrrades oder eines Motorrades Verwendung finden!
2. Vergleiche die Federung der Achsenlager verschiedener Fahrzeuge miteinander, z. B. bei einem Ackerwagen, einem Kutschwagen, einem Kraftwagen, einem Traktor, einem Straßenbahnwagen, einem Eisenbahnwagen!
3. Stelle die Arten der an landwirtschaftlichen Maschinen verwendeten Federn fest!
4. Lege auf eine möglichst glatte Tischplatte zwei Zehnpfennigstücke und schnelle mit dem Finger das eine gegen das andere! Was beobachtest du?
5. Greife einen Nagel mit zwei Flachzangen und versuche, ihn zu zerbrechen! Es gelingt dir erst, nachdem du das Eisen durch wiederholtes Hin- und Herbiegen „ermüdet“ hast.
6. Halte einen Glasstab etwa von der Länge und der Dicke eines Bleistiftes an beiden Enden fest und erhitze seine Mitte unter ständigem Drehen in einer Gas- oder Spiritusflamme bis zur Rotglut! Dann ziehe den Glasstab schnell zu einem Faden auseinander! Hältst du jetzt das eine Ende nach oben, so pendelt das andere am Glasfaden wie an einem wirklichen Faden hin und her. Beurteile das Verhalten des Glases!
7. Prüfe Igelit, Hartgummi, Siegellack, Schwefel, Radiergummi, Leder, Bindfaden, Kupferblech, Papier, Pappe hinsichtlich ihrer Elastizität, Zähigkeit, Festigkeit!
8. Schneide aus starkem Papier einen etwa 30 cm langen, 2 cm breiten Streifen! Wickle ihn um eine dicke Stricknadel spiralig so auf, daß die Windungen gegeneinander etwas verschoben sind! Drücke den Streifen mit der herausstehenden Spitze gegen die Tischplatte (Abb. 38), so daß sich die Windungen ineinander schieben und lasse ihn dann plötzlich los!

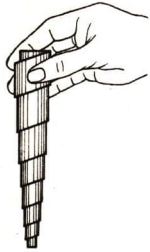


Abb. 38. Papierspringer als Modell einer Kegelfeder

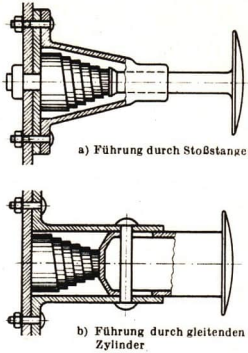


Abb. 39. Eisenbahnpuffer

Der Streifen entspannt sich und springt federnd in die Höhe. Man kann ihn als Modell einer Kegelfeder ansehen, die in der Technik neben den obengenannten Federarten hier und da verwendet wird.

9. Welche Federform ist bei den in Abb. 39 wiedergegebenen Eisenbahnpuffern verwendet (vgl. Übung 8)? Suche nach weiteren technischen Anwendungen der Kegelfeder und gib sie an!

§ 9. Einiges über Flüssigkeiten

1. Die freie Oberfläche von Flüssigkeiten. Wir stehen am Ufer eines Teiches oder eines Sees. Es herrscht Windstille; die Oberfläche des Gewässers ist spiegelglatt. Nur wenn wir einen Stein hineinwerfen, wenn sich ein Fisch emporschnellt, oder wenn einmal doch ein Windhauch über die Oberfläche hinwegstreicht, gerät sie in Bewegung; es kräuseln sich Wellen auf ihr. Sonst aber bildet die Wasseroberfläche eine *ebene, waagerechte Fläche.*

Dasselbe können wir bei jedem mit Wasser gefüllten Glasgefäß beobachten, das vor uns ruhig auf dem Tisch steht. Wir stellen ein Stativ hinter das Glas, visieren genau über die Wasseroberfläche hinweg und befestigen am Stativ in Augenhöhe eine Federklammer oder eine Papiermarke (Abb. 40). Wir schieben das Stativ um das Glas herum und erblicken immer wieder die Marke in derselben Höhe. Dabei ist die gleiche Erscheinung zu beachten, auf die schon auf S. 22 hingewiesen wurde, nämlich daß sich das Wasser am Rande ein wenig emporwölbt. Diese Erscheinung ist in Röhren, vor allem in engen Röhren, besonders auffallend. Wir werden darüber später Näheres

erfahren. Lassen wir den Flüssigkeitsrand außer Betracht, so können wir feststellen:

Die freie Oberfläche einer in einem weiten Gefäß ruhenden Flüssigkeit ist eine waagerechte Ebene.

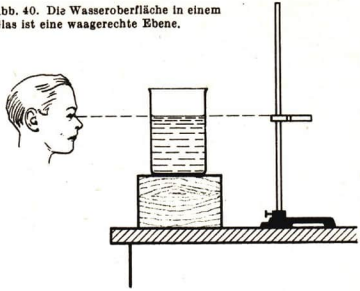


Abb. 40. Die Wasseroberfläche in einem Glas ist eine waagerechte Ebene.

Es ist dies leicht erklärlich. Denn wenn die waagerechte Oberfläche durch Erschütterungen auch nur im geringsten gestört wird und Unebenheiten auftreten, so gleiten die leichtbeweglichen Flüssigkeitsteilchen auf der geneigten Oberfläche wie auf einer schiefen Ebene herab und füllen alle Vertiefungen wieder aus, bis keine mehr vorhanden sind.

Anders als die Oberfläche eines Sees oder Teiches sieht die Oberfläche des Meeres aus. Wohl bietet die Meeresfläche dem Beschauer in seiner unmittelbaren Nähe bei Windstille den Anblick einer waagerechten Ebene. Blickt man dagegen weit über das Meer, so erkennt man, daß das Meer eine gewölbte Oberfläche hat. Sich nähernde wie sich entfernende Schiffe scheinen hinter einer Wölbung aufzutauchen bzw. zu verschwinden. Die *Oberfläche des Meeres* ist tatsächlich auch *gewölbt*; denn sie paßt sich der Krümmung der Erdoberfläche an. Es ist dies kein Widerspruch zu unseren früheren Feststellungen. Auch die Oberfläche des Wassers in einem See, in einem Teich, ja selbst in einem Gefäß ist der Oberflächenkrümmung der Erde angeglichen; nur ist bei der geringen Ausdehnung der Fläche die Abweichung von der Ebene so gering, daß sie mit den uns zur Verfügung stehenden Mitteln nicht nachgewiesen werden kann. Wir dürfen danach, ohne einen meßbaren Fehler zu begehen, die freie Oberfläche einer ruhenden Flüssigkeit bei nicht zu großer Ausdehnung als völlig eben und waagerecht ansehen.

2. Verbundene Gefäße. Auf einer neben einem Fluß gelegenen Wiese soll ein Graben ausgehoben werden. Kaum ist man einige Spatenstiche in das Erdreich eingedrungen, so füllt sich die Grube mit Wasser, obwohl eine sichtbare Verbindung zum Fluß nicht besteht. Fugen, Spalten, enge Hohlräume und Poren, die von Natur aus im Erdreich vorhanden sind, haben der Grube das Wasser unterirdisch zugeführt. Nach kurzer Zeit steht es in ihr ebenso hoch wie im Fluß. Man ist beim Ausheben des Grabens ins sogenannte *Grundwasser* geraten. — Häufig treffen wir neben Flußläufen an tiefen Stellen des Geländes offene Wasserstellen an, die in gleicher Weise wie unser Graben

mit dem Fluß in Verbindung stehen. Steigt bei Hochwasser das Wasser im Fluß, so nimmt auch das Wasser in dem benachbarten Tümpel daran teil. Umgekehrt sinkt das Wasser des Tümpels bei Niedrigwasser im Flußbett und trocknet unter Umständen ganz aus. Der Tümpel und das Flußbett sind zwei unterhalb des Wasserspiegels miteinander verbundene Wasserbehälter.

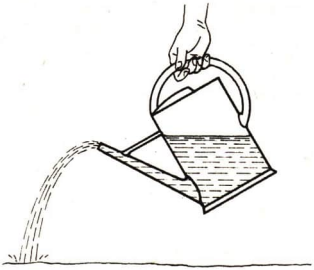


Abb. 41. Gießkanne. Das Wasser fließt nur aus, wenn die Öffnung tiefer liegt als der Wasserstand im Behälter.

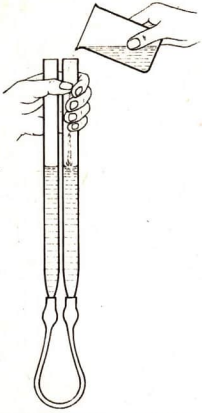
Nicht anders ist es bei der Gießkanne und beim Wasserkessel, wie man ihn im Haushalt für siedendes Wasser benutzt. Die Ausflußrohre dieser Gefäße sind unterhalb des Wasserspiegels mit den Behältern verbunden. Das Wasser steht in ihnen ebenso hoch, wie in den Behältern selbst, und zwar ganz unabhängig von der Neigung der Behälter (Abb. 41). Gefäße, die wie der oben erwähnte Tümpel mit dem Flußbett oder wie die Gießkanne mit ihrem Ausflußrohr unterhalb des Wasserspiegels miteinander verbunden sind, heißen *verbundene Gefäße*.

In verbundenen Gefäßen steht eine Flüssigkeit gleich hoch.

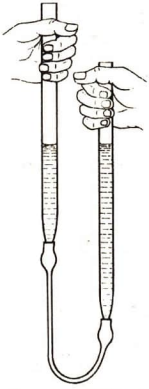
Wir können uns von dieser Tatsache durch einen einfachen Versuch überzeugen. Wir benutzen dazu zwei weite, an einem Ende verjüngte Glasröhren, die wir durch einen Schlauch verbinden. Beide Röhren halten wir dicht nebeneinander senkrecht mit der Öffnung nach oben und gießen Wasser in die eine Röhre. Das Wasser dringt durch den Schlauch auch in die andere Röhre und steht in beiden Röhren gleich hoch (Abb. 42a). Senken wir eine der Röhren, so steigt der Wasserspiegel in dieser, während er in der andern sinkt; das Wasser steht danach in beiden Röhren wieder gleich hoch (Abb. 42b). Dasselbe beobachten wir, wenn wir eine der Röhren neigen (Abb. 42c) und in dieser Stellung seitlich verschieben (Abb. 42d).

Das gleiche Verhalten wie Wasser zeigen auch alle anderen Flüssigkeiten.

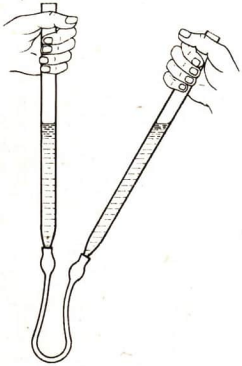
Die Ursache hierfür wird uns aus einem Versuch verständlich, bei dem wir aus einem größeren Gefäß zwei verbundene Gefäße modellartig herstellen. Wir benutzen dazu einen Glastrog mit senkrechten Wänden, wie man ihn für Aquarien verwendet, und füllen ihn etwa zu zwei Dritteln mit Wasser. Von oben her senken wir nicht ganz bis zum Boden ein Brett ein, das genau zwischen zwei gegenüberstehende Wände paßt (Abb. 43). Um einen einigermaßen dichten Abschluß des Brettes gegen die Glaswände zu erreichen, kleben wir vorher zwei Filzstreifen gegen seine Schmalseiten. Durch das Brett wird der Trog in zwei Kammern geteilt, die unten über einen schmalen



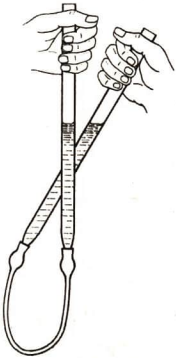
a) Das Wasser, das man in die eine Röhre gießt, steht auch in der andern gleich hoch.



b) Senkt man eine Röhre, so stellt sich das Wasser wieder in beiden Röhren gleich hoch ein.



c) Auch bei der Neigung einer Röhre bleibt der Gleichstand des Wassers erhalten.



d) Die gegenseitige Verschiebung der Röhren ändert daran nichts.

Abb. 42. Verbundene Röhren

Spalt zusammenhängen. Sie stellen zwei verbundene Gefäße dar. Die Wasseroberfläche, die vorher waagerecht und eben war, wird durch das Einführen des trennenden Brettes ein wenig gehoben, sonst aber wird an ihr nichts geändert. Die Oberflächen in beiden Kammern liegen auch nachher wieder in einer waagerechten Ebene. Ob die Kammern breit oder schmal sind, ob sie gleich oder verschieden groß sind, ob das Brett senkrecht oder schräg steht, spielt bei dem Versuch keine Rolle.

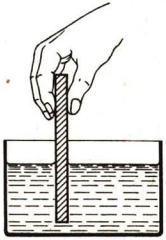
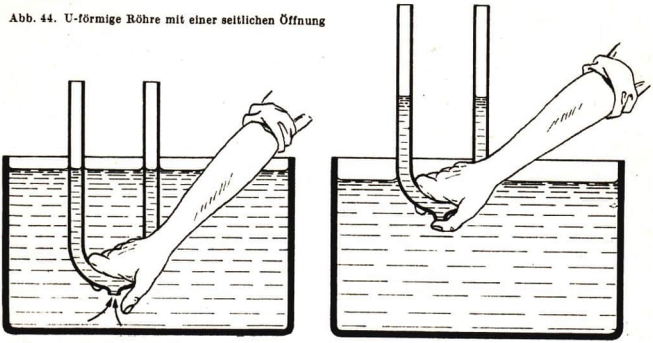


Abb. 43. Glastrog mit hölzerner Zwischenwand als Modell zweier verbundener Gefäße

Abb. 44. U-förmige Röhre mit einer seitlichen Öffnung



a) Das Wasser dringt in die Röhre ein und hat innen denselben Stand wie außen.

b) Die Wasserspiegel im U-Rohr bleiben unverändert, wenn man das U-Rohr mit verschlossener Bodenöffnung aus dem Wasser hebt.

Bei einem weiteren Versuch verwenden wir eine U-förmig gebogene Glasröhre, in deren gekrümmten Teil eine kleine Öffnung geblasen wurde. Wir tauchen das Rohr in einen mit Wasser gefüllten Glastrog ein, wobei die Öffnungen der Schenkel nach oben zeigen. Das Wasser dringt von unten her durch die kleine Öffnung in das Rohr und steigt in beiden Schenkeln bis zur Höhe des äußeren Wasserspiegels (Abb. 44a). Die beiden Schenkel des U-Rohres sind nichts anderes als zwei verbundene Gefäße und stellen einen Ausschnitt aus der gesamten sie umgebenden Wassermasse dar. Daran ändert sich nichts, wenn wir die Öffnung unter Wasser mit dem Finger verschließen. Auch wenn wir jetzt das U-Rohr mit verschlossener Bodenöffnung aus dem Wasser heben, bleibt der Gleichstand des Wassers in beiden Schenkeln erhalten (Abb. 44b).

Beide Versuche machen es ersichtlich, weshalb in verbundenen Gefäßen eine Flüssigkeit immer gleich hoch steht. Wir können uns die Flüssigkeit in verbundenen Gefäßen als Teil einer größeren Flüssigkeitsmenge vorstellen und denken uns die Flüssigkeitsoberflächen in verbundenen Gefäßen zu einer einzigen Oberfläche erweitert.

Um verbundene Gefäße handelt es sich bei vielen technischen Anlagen, in denen Flüssigkeiten verwendet werden. Auch viele technische Hilfseinrichtungen gehören dazu. Wir denken insbesondere an das *Wasserstandsglas*, mit dem alle Dampfkessel, Flüssigkeitstanks und ähnliche Behälter versehen sind (Abb. 45). Erläutere die Wirkungsweise des Wasserstandsglases an der schematischen Zeichnung Abb. 46!

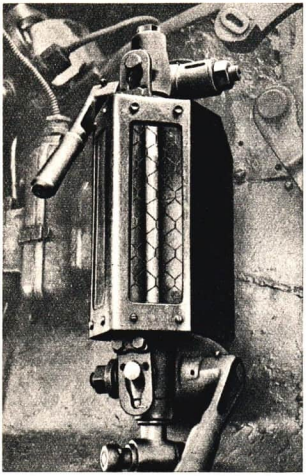


Abb. 45. Wasserstandsglas an einem Lokomotivkessel. Das Glasrohr ist mit einer Schutzhaube aus Drahtglas umgeben, damit bei einem Zerspringen des Rohres der Lokomotivführer und der Heizer nicht durch herumspritzendes heißes Wasser gefährdet werden. Vgl. auch Abb. 60, auf der das Wasserstandsglas über dem Heizer zu sehen ist.

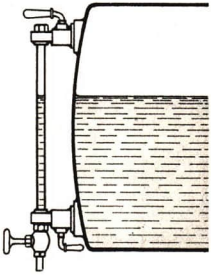


Abb. 46. Schnitt durch ein Wasserstandsglas (schematische Darstellung)

3. Die Wasserleitung. Ganze Systeme von zusammenhängenden verbundenen Gefäßen stellen unsere neuzeitlichen Wasserversorgungsanlagen, die *Wasserleitungen*, dar. Die ausreichende Versorgung menschlicher Siedlungen mit gutem Trink- und Gebrauchswasser durch Wasserleitungen bedeutet gegenüber früheren Zeiten einen großen technischen Fortschritt. Bei Einzelsiedlungen und in kleinen Dörfern mag die Wasserentnahme aus technisch und hygienisch einwandfreien Brunnen genügen. In größeren Orten, vor allem aber in den Städten ist heute das Vorhandensein einer Wasserleitung geradezu eine Lebensnotwendigkeit. Wir brauchen neben anderen Gründen nur an den Brandschutz und an die Seuchenverhütung zu denken. Auch in kleineren Orten findet man Wasserleitungen überall, wo die technischen Voraussetzungen dafür vorhanden sind.

In Gebirgsgegenden fängt man das klare Wasser hoch gelegener Quellen auf und sammelt es in großen Behältern, sogenannten *Hochbehältern*. Von dort wird es in Rohrleitungen den Gebäuden des Ortes zugeführt. Im Flachland ist man gezwungen, das Wasser aus *Tiefbrunnen* zu entnehmen, die bis in das *Grundwasser* hinabreichen. Ist hygienisch einwandfreies Grundwasser in genügender Menge nicht vorhanden, so verwendet man statt dessen das Wasser aus Flüssen und größeren Seen. Man pumpt es zur *künstlichen Grundwasserbereitung* in *Sickerteiche*, aus denen es gereinigt in tiefgelegene

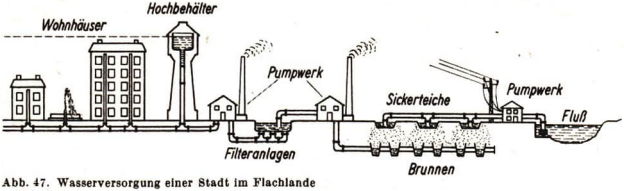


Abb. 47. Wasserversorgung einer Stadt im Flachlande

Brunnen gelangt. Von dort wird es weiteren Filteranlagen zugeführt. Da im Flachlande von Natur aus hochgelegene Behälter nicht vorhanden sind, pumpt man das so vorbereitete Wasser auf die Hochbehälter besonderer *Wassertürme*, von denen es durch das Rohrnetz den Gebäuden der Stadt zufließt. Bei den Wasserleitungsanlagen größerer Städte drückt man im allgemeinen das Wasser unmittelbar in das Rohrnetz, ohne es erst auf den Wasserturm zu pumpen. Der Hochbehälter des Wasserturms ist an das Netz nur als Ausgleichsbehälter angeschlossen. Er nimmt in verbrauchsarmen Zeiten überschüssiges Wasser auf und gibt es in Zeiten starken Verbrauchs zusätzlich an das Netz ab. Abb. 47 zeigt ein Schema einer solchen Wasserleitungsanlage. Man ersieht, daß es sich bei dem Rohrnetz der Wasserleitung tatsächlich um ein System verbundener Gefäße handelt.

Abb. 48. Wasserhahn (Ventilhahn)

Überall, wo man im Hause einen *Wasserhahn* öffnet, fließt das Wasser in einem kräftigen Strahle aus. Man müßte einen Wasserhahn seiner Bauart nach eigentlich als *Ventil* bezeichnen. Bei einem solchen wird der Verschluß dadurch bewirkt, daß ein Ventilkörper — beim Wasserhahn eine Lederscheibe — fest gegen den *Ventilsitz* gedrückt wird, der die Öffnung umschließt (Abb. 48). Durch Anheben des Ventilkörpers vom Sitz wird die Öffnung freigegeben. Im Gegensatz zu Abb. 48 zeigt Abb. 49 einen *Gashahn*, wie er in Gasleitungen verwendet wird. Er wird durch Drehen eines durchbohrten Rundkörpers, des sogenannten *Hahnkükens*, geschlossen bzw. geöffnet.

Abb. 49. Gashahn, geöffnet bei Längsstellung, geschlossen bei Querstellung des Hahnkükens

Wie hoch kann das Wasser in den Steigröhren der Häuser höchstens steigen?

Hier und da sieht man *Springbrunnen*, die an die Wasserleitung angeschlossen sind. Das Steigrohr endet aber in einer verhältnismäßig engen Düse dicht über dem Auffangbecken. Wir sehen den Strahl hoch emporsteigen. Das

gleiche können wir beim Spritzen mit einem senkrecht gehaltenen Gartenschlauch beobachten. Der frei heraustretende Wasserstrahl verhält sich wie Wasser in verbundenen Gefäßen, erreicht aber nicht dieselbe Höhe wie in einem Wasserleitungsrohr, da ihn der Luftwiderstand daran hindert.

4. Die Kanalwaage — Die Wasserwaage. Um bei einfachen Erdarbeiten eine waagerechte Linie abzustecken, bedient man sich vielfach bei kurzen Strecken einer sogenannten *Kanalwaage* (Abb. 50). Sie besteht im wesentlichen aus zwei weiten Glasröhren, die durch eine rechtwinklig angeschmolzene engere Röhre, einen Kanal, miteinander verbunden sind. Diese Glasteile werden auf einem Stativ befestigt, so daß die weiten Röhren mit ihren Öffnungen nach oben zeigen. Füllt man die Kanalwaage etwa zur Hälfte mit Wasser und visiert gerade über beide Oberflächen hinweg, so wird dadurch eine waagerechte Gerade festgelegt (Abb. 50). Eine Abart der Kanalwaage ist die *Schlauchwaage* (Abb. 51). Bei ihr sind die beiden Meßröhren mit je einer cm-Teilung versehen und durch einen langen Schlauch miteinander verbunden, so daß sie frei gegeneinander beweglich sind. Man verwendet Schlauchwaagen vorzugsweise zur schnellen Ermittlung des Höhenunterschiedes zwischen zwei benachbarten Aufstellungsorten der beiden Meßröhren.

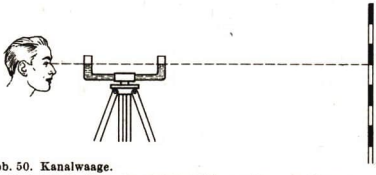


Abb. 50. Kanalwaage.
Sie dient zum Festlegen einer Waagerechten auf kurze Entfernungen.

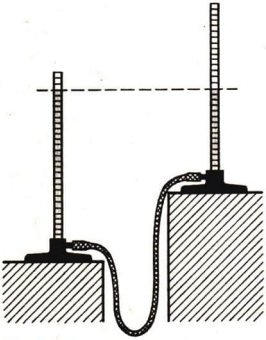


Abb. 51. Schlauchwaage. Sie dient zum Feststellen des Höhenunterschiedes zwischen zwei benachbarten Punkten.

Erläutere an Hand der beiden Abbildungen den Gebrauch der beiden Waagen!

Wollen wir die waagerechte Lage einer Tischplatte, der Grundplatte einer Waage oder eines beliebigen Meßgerätes und ähnlicher Vorrichtungen nachprüfen, so benutzen wir eine *Wasserwaage* oder *Röhrenlibelle* (Abb. 52).

Abb. 52. Wasserwaage

Ihr wesentlichster Bestandteil ist ein leicht gekrümmtes, einige Zentimeter

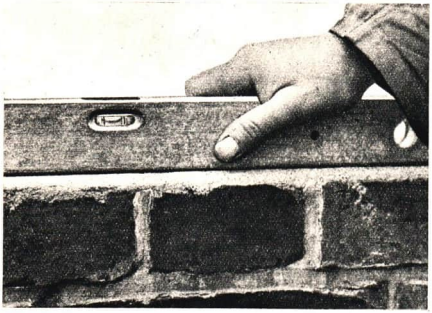


Abb. 53. Maurerwaage. Die oberste Schicht einer Mauer wird auf ihre waagerechte Lage geprüft.

langes, allseitig geschlossenes Glasröhrchen. Es ist bis auf eine kleine Luftblase vollständig mit Wasser oder Alkohol gefüllt und ist, in einen Schutzrahmen eingebettet, auf einer Metalleiste befestigt. Bei waagerechter Lage der Grundleiste spielt die Luftblase genau auf eine am Scheitelpunkt des Röhrchens sichtbare Marke ein.

Bei der *Maurerwaage*, einer besonderen Ausführungsform der Wasserwaage, ist das Röhrchen in eine Vertiefung eines langen quaderförmigen Holzklotzes eingelassen (Abb. 53). Die leichtbewegliche Luftblase folgt jeder Neigung des Holzklotzes und nimmt immer die höchste Stelle im Röhrchen ein.

In runder Form ist die Wasserwaage als sogenannte *Dosenlibelle* (Abb. 54) gebräuchlich. Bei ihr stellt sich die Luftblase bei waagerechter Lage des Bodens der Dose auf den Mittelpunkt des leicht gekrümmten Glasdeckels ein.

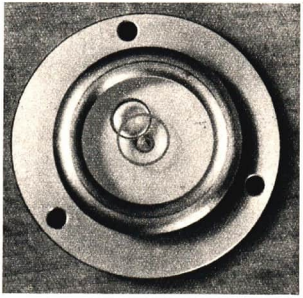


Abb. 54. Dosenlibelle. Bei waagerechter Stellung spielt die Luftblase auf den Kreis in der Mitte des Glasdeckels ein.

5. Versuche und Fragen

1. Schütte in ein Glas feinen, trockenen Sand und stelle es auf den Tisch! Neige es, richte es wieder auf und beobachte das Verhalten der Sandkörnchen bei vorsichtigem Klopfen gegen die Glaswand! Wie weit läßt sich durch derartige Versuche das Verhalten einer Flüssigkeit veranschaulichen?

2. Stelle aus zwei Lampenzylindern verbundene Gefäße her! Verschließe die Zylinder zu diesem Zweck je an einem Ende mit durchbohrten Korken, durch deren Bohrungen du zwei durch einen Schlauch verbundene Glasröhren steckst! Führe den Versuch nach Abb. 42a bis d damit durch!
3. Verbinde einen großen Trichter durch einen etwa 100 cm langen Schlauch mit einem zu einer Spitze ausgezogenen Glasröhrchen! Halte das Röhrchen mit der verjüngten Öffnung nach oben neben den an ein Stativ geklemmten Trichter und fülle Wasser ein, bis es zum Röhrchen herausfließt! Senke das Röhrchen rasch! Es entsteht ein Springbrunnen.
4. Fülle ein Tablettenröhrchen mit Wasser und verschließe es mit einem Korken, so daß eine etwa erbsengroße Luftblase darunter bleibt! Bringe es in eine waagerechte Lage, wobei die Luftblase auf die Mitte des Röhrchens einspielt!
5. Prüfe die waagerechte Lage einer Tischplatte mittels einer Wasserwaage!
6. Warum sieht man am Meer zuerst die Rauchfahne eines sich nahenden Schiffes, dann den Schornstein und schließlich den Rumpf?
7. Betrachte eine Schleuse als ein System verbundener Gefäße (vgl. Abb. 55)! Beschreibe die Vorgänge, die sich beim Durchschleusen eines Schiffes abspielen!

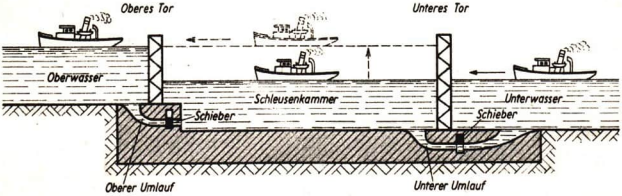


Abb. 55. Kammerschleuse. Soll ein Schiff die Schleuse passieren, so muß vor dem Einfahren wie vor dem Ausfahren Wassergleichstand durch Freigeben des betreffenden Umlaufs hergestellt werden. Erst dann darf das Einfahrts- bzw. Ausfahrtstor geöffnet werden.

Beispiel (Bergfahrt): Schiff im Unterwasser, Wasserausgleich zwischen Schleusenkammer und Unterwasser durch den unteren Umlauf, Öffnen des unteren Tores, Einfahrt des Schiffes in die Kammer, Schließen des unteren Tores, Wasserausgleich zwischen Schleusenkammer und Oberwasser durch den oberen Umlauf, Öffnen des oberen Tores. Ausfahrt des Schiffes ins Oberwasser.

Beschreibe die Vorgänge bei einer Talfahrt!

8. Erläutere die Aufgabe, die die Hähne an einem Wasserstandsglas zu erfüllen haben (vgl. Abb. 45 und 46)!
9. Wie prüft man mit einer Maurerwaage
   a) die waagerechte Lage einer Steinschicht,
   b) den senkrechten Stand einer Mauer?

§ 10. Einiges über Gase

1. Luft läßt sich verdichten. Bläst man eine Gummiblase mit dem Munde auf, so füllt sie sich mit Luft und wird prall wie ein kleiner Luftballon. Die Blase dehnt sich dabei aus. Wird sie zu stark beansprucht, so zerplatzt sie mit einem leichten Knall.

Gibt man die Öffnung einer aufgeblasenen Gummiblase ein wenig frei, so entweicht die zusammengepreßte Luft unter schwachem Zischen.

Man kann das gleiche Verhalten der Luft auch an einer Flasche zeigen, die man mit einem durch einen durchbohrten Korken gesteckten Glashahn verschließt. Durch Blasen mit dem Munde können wir die in der Flasche befindliche Luft erheblich verdichten. Schließen wir den Hahn, sobald wir mit Blasen aufhören, so können wir uns leicht von der Verdichtung der Luft überzeugen. Wir brauchen die Flaschen nur umzukehren und das freie Rohrende des Hahnes in Wasser zu tauchen. Öffnen wir nunmehr den Hahn, so dehnt sich die zusammengepreßte Luft wieder aus und entweicht in Blasen, die im Wasser aufsteigen (Abb. 56).

Wir ändern den Versuch dadurch ab, daß wir die Flasche etwa zu einem Viertel mit Wasser füllen. Das durch den Korken geführte Rohr des Glashahnes wählen wir so lang, daß es fast bis zum Boden der Flasche reicht;

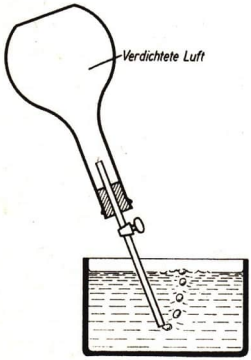


Abb. 56. Die in der Flasche verdichtete Luft entweicht in Blasen durch das Wasser.

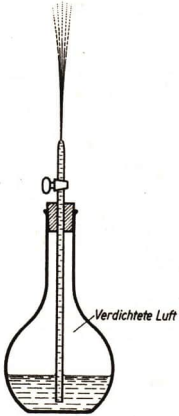


Abb. 57. Die sich entspannende Luft treibt das Wasser in einem Strahl aus der Flasche heraus (Heronsball).

das freie Ende des äußeren Rohres wird zu einer Spitze ausgezogen. Blasen wir jetzt kräftig durch den Hahn in die Flasche, so steigt die Luft in der Flasche durch das Wasser empor und verdichtet die bereits in der Flasche vorhandene Luft. Wie vorhin wird der Hahn unmittelbar nach dem Aufhören des Blasens geschlossen. Öffnet man ihn wieder, so wird das Wasser durch die sich wieder ausdehnende Luft in einem hohen Strahl aus dem Hahnrohr hinausgetrieben (Abb. 57).

Eine ähnliche Vorrichtung war schon im Altertum als *Heronsball*[1] bekannt. Der Versuch gelingt auch dann, wenn wir vorher ein anderes Gas als Luft, z. B. Kohlensäure, in die Flasche geleitet haben.

Luft und andere Gase lassen sich im Gegensatz zu Flüssigkeiten erheblich zusammendrücken.

2. Die Fahrradpumpe. Die Zusammendrückbarkeit der Luft nutzen wir beim Fahrrad zur Federung der Räder aus. Bekanntlich sind diese mit *Luftschläuchen* umgeben, die mit zusammengepreßter Luft gefüllt sind. Die Luftschläuche bilden gewissermaßen *Luftpolster*, die imstande sind, das Gewicht des Fahrrades und des Radfahrers zu tragen. Gegen äußere Verletzungen werden die Luftschläuche durch darüber gelegte *Mäntel* geschützt. Diese bestehen aus Kautschuk, dem durch eingefügte Gewebeschichten erhöhte Festigkeit gegeben wird, und verstärken die dünnen Wände der Schläuche.

Zum Verdichten der Luft bedienen wir uns einer *Fahrradpumpe* (Abb. 58). Die Fahrradpumpe enthält in einem *Pumpenzylinder* einen beweglichen *Kolben*, der durch eine mit einem Handgriff versehene Kolbenstange hin und her gestoßen werden kann. Auf seiner Vorderseite trägt der Kolben eine *Ledermanschette*, die sich beim Vorrücken des Kolbens eng an die Rohrwand anlegt und luftdicht abschließt. Beim Hineindrücken des Kolbens in das Rohr schiebt er daher die vor ihm befindliche Luft vor sich her und verdichtet dadurch die Luft im Fahrradschlauch. Bei der Rückbewegung des Kolbens hebt sich die Ledermanschette etwas von der Rohrwand ab, so daß erneut Luft unter den Kolben treten kann.

Damit die Luft nicht wieder aus dem Fahrradschlauch entweicht, ist in diesen ein Ventil eingesetzt. Dieses Ventil ist ein sogenanntes *Schlauchventil*. Es besteht in

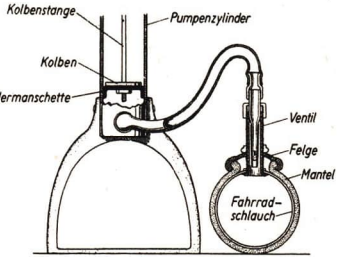


Abb. 58. Fahrradpumpe mit Fahrradventil

[1] Heron von Alexandrien (um 100 v. u. Ztr.), ein griechischer Naturforscher und Techniker.

der Hauptsache aus einem Röhrchen, das nach einem Ende zu verjüngt und dort geschlossen ist (Abb. 59). Dagegen hat es in der Nähe dieses Endes in der gewölbten Seitenfläche eine kleine Öffnung. Sie wird durch einen engen Schlauch, der über das Röhrchen gestreift ist, verschlossen. Die aus der Pumpe kommende Luft wird dem Fahrradschlauch durch das Ventilröhrchen zugeführt und hebt dabei den Ventilschlauch ein wenig vom Ventilröhrchen ab. Die Luft strömt durch den sich unter dem Ventilschlauch bildenden Zwischenraum in den Fahrradschlauch. Umgekehrt vermag die Luft nicht aus dem Schlauch zurückzuströmen, da der fest auf dem Ventilröhrchen aufliegende Ventilschlauch dies verhindert. Das Ventil öffnet sich demnach nur in Richtung auf den Fahrradschlauch hin.

Um der Pumpe beim Gebrauch Halt zu geben, versieht man sie häufig mit einem Fußbügel, mit dessen Hilfe man sie beim Pumpen fest gegen den Erdboden drücken kann.

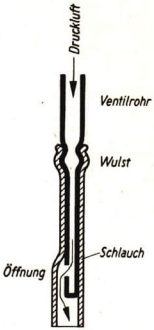


Abb. 59. Schlauchventil. Der über die Ventilröhre gestreifte Ventilschlauch legt sich im Ruhezustand fest an die Röhre und verhindert das Entweichen der Luft aus dem Fahrradschlauch.

3. Fragen

1. Wie wird eine Fahrradpumpe der eben beschriebenen Art an den Fahrradschlauch angeschlossen?
2. Welche andere Art der Ausführung ist außer der „Fußpumpe" in Gebrauch? Wie wird bei ihr der luftdichte Anschluß an das Ventil erreicht?
3. Nenne andere Transportmittel außer dem Fahrrad, bei denen zur Federung Luftreifen verwendet werden!
4. Wie ist die hohe Elastizität eines luftgefüllten Gummiballs zu erklären?

II. Von der Wärme

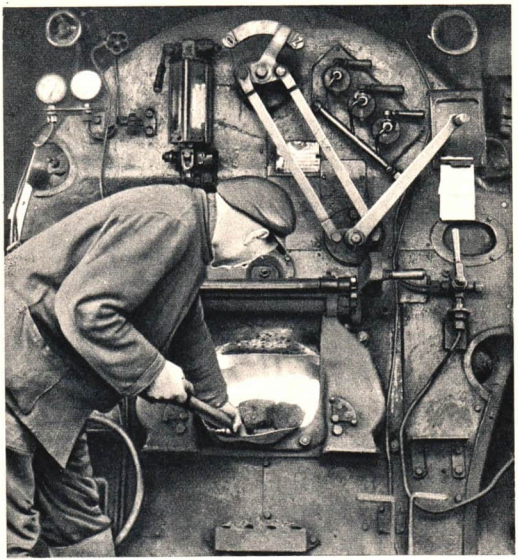


Abb. 60. Vor dem Kessel einer Schnellzuglokomotive

Jeder kennt eine Lokomotive. Wohl kaum einer von uns hat aber schon einmal im Lokführerhaus vor der geöffneten Feuertür gestanden. Abb. 60 zeigt uns, wie es dort aussieht. Der Heizer beschickt gerade den Feuerraum des Kessels mit Kohlen. Durch die geöffnete Feuertür schauen wir in die lohende Glut des Kohlenfeuers. Die Wärme, die uns entgegenstrahlt, verschlägt uns fast den Atem. Sie ist die Energiequelle der Lokomotive; denn sie erzeugt den Dampf, der die Maschine vorwärts treibt. Auf der Ausnutzung der Wärmeenergie beruht überhaupt zum wesentlichen Teil die geradezu stürmische Entwicklung, die die Technik seit etwa 150 Jahren erfahren hat. Die physikalischen Gesetze der Wärmevorgänge vermittelt uns dieses Kapitel.

§ 11. Das Thermometer

1. Ist es im Hausflur kalt oder warm? Treten wir an einem kalten Wintertag von der Straße in den Hausflur, so freuen wir uns, ins „Warme" zu kommen. Wenn wir jedoch aus dem geheizten Zimmer in den gleichen Flur gehen, so meinen wir, es sei in ihm recht kalt.

Wir empfinden es, ob die uns umgebende Luft kalt oder warm ist. Das eine Mal kann es geschehen, daß uns friert, ein andres Mal haben wir das Gefühl, daß die Luft warm sei. Bei festen und flüssigen Körpern stellen wir durch Anfassen oder durch Betasten fest, ob sie *kalt*, *kühl*, *lau*, *warm* oder *heiß* sind. Wir sprechen von verschiedenen *Wärmezuständen* der Körper und unterscheiden sie nach unserem Empfinden. Aber dabei kann man manchmal verschiedener Meinung sein; unser Urteil hinsichtlich des Wärmeempfindens ist nicht immer eindeutig. Ein Versuch überzeugt uns davon.

Wir stellen drei Schüsseln nebeneinander auf den Tisch. In die linke füllen wir kaltes, in die rechte warmes Wasser, so daß wir gerade noch mit der Hand hineinfassen können, ohne uns zu verbrühen. In der mittleren Schüssel mischen wir kaltes und warmes Wasser. Das Wasser in ihr ist dann lauwarm. Wir tauchen unsere Hände einzeln in die äußeren Schüsseln und dann beide gleichzeitig in die mittlere. Unsere Hände kommen dabei zu verschiedenen Feststellungen über den Wärmezustand des Wassers in der mittleren Schüssel, da die eine Hand (welche?) das Wasser als warm, die andere als kalt empfindet. Wiederhole selbst den Versuch und vertausche dabei auch die äußeren Schüsseln!

Es lassen sich noch viele andere Beispiele für die Unsicherheit des Urteils beim Feststellen des Wärmezustandes nach dem Gefühl angeben; es seien hier nur folgende genannt: Nach kaltem Abbrausen in der Badeanstalt empfinden wir auch im Winter das Wasser im Schwimmbecken als angenehm warm. Der Keller scheint im Winter warm und im Sommer kühl zu sein, obwohl er im ganzen Jahr fast den gleichen Wärmezustand hat.

Wir erkennen aus dem Vorangehenden, daß die Ausdrücke heiß, warm, lau, kühl und kalt zur einwandfreien Kennzeichnung des Wärmezustandes nicht ausreichen. Wegen seiner Unbestimmtheit ist das persönliche Wärmeempfinden zur eindeutigen Feststellung von Wärmezuständen ungeeignet. Zur sicheren Beurteilung eines Wärmezustandes bedarf es der Angabe eines zahlenmäßig feststellbaren *Wärmegrades*. Man bezeichnet ihn als **Temperatur.**

2. Die Thermometerskala — Die Messung der Temperatur. Um die Temperatur unserer Umgebung unabhängig von unserer Wärmeempfindung einwandfrei bestimmen und messen zu können, müssen wir uns nach einem zuverlässigen Meßgerät umsehen, das die Vieldeutigkeit der persönlichen Wärmeempfindung nicht besitzt. Ein solches Gerät ist das *Thermometer*[1].

Abb. 61 zeigt ein **Zimmerthermometer,** das mit *Quecksilber* gefüllt ist.

[1] thermós (griech.) = warm; métron (griech.) = Maß.

Abb. 61. Zimmerthermometer

Dieses Thermometer besteht aus einer sehr engen, überall gleich weiten Glasröhre, die an einem Ende zu einer Kugel oder einer anders geformten, meist länglichen Erweiterung aufgeblasen und am anderen Ende zugeschmolzen ist. Die Kugel und der untere Teil der Röhre enthalten Quecksilber, der obere Teil ist luftleer. Quecksilber ist eine silbergraue, schwere, aber leicht bewegliche Flüssigkeit. Sie muß als Metall angesehen werden, das auch bei Zimmertemperatur flüssig ist. Statt mit Quecksilber kann ein Thermometer auch mit gefärbtem *Weingeist* (Alkohol) oder mit einer anderen geeigneten Flüssigkeit gefüllt werden.

Bei einer Erwärmung der Umgebung des Thermometers beobachten wir ein Ansteigen des Quecksilberfadens, während eine Abkühlung der Umgebung ein Absinken herbeiführt. Dies ist dadurch zu erklären, daß sich das Quecksilber, wie wir später erfahren werden, beim Erwärmen ausdehnt, beim Abkühlen dagegen zusammenzieht. Dem wechselnden Stand des Quecksilberfadens wird jeweils eine bestimmte Temperatur zugeordnet. Man erreicht dies dadurch, daß man das Thermometer mit einer *Gradeinteilung*, einer *Skala*, versieht.

Wie die Skala eines Thermometers festgelegt wird, ersehen wir am einfachsten am Beispiele eines sogenannten **Stabthermometers,** das wir für physikalische Versuche häufig verwenden. Wir halten es einmal in einen Trichter mit schmelzenden Eisstückchen und dann in den aus siedendem Wasser aufsteigenden Dampf. In beiden Fällen kennzeichnen wir auf dem Thermometer genau die Stelle, an der der Quecksilberfaden endet (Abb. 62 und 63).

In schmelzendem Eis zeigt der Quecksilberfaden des Thermometers immer die gleiche Temperatur an. Ebenso ist die Temperatur im Dampf über siedendem Wasser bei gleichem Druck immer die gleiche.

Abb. 62. Schmelzpunkt des Eises

Abb. 63. Siedepunkt des Wassers

Während der ganzen Dauer des Schmelzens und des Siedens ändert sich der Thermometerstand nicht.

Den Punkt, auf den sich der Quecksilberfaden im schmelzenden Eis einstellt, den sogenannten **Schmelz-** oder **Gefrierpunkt,** bezeichnen wir mit 0°.

Der Stand, den das Quecksilber in den Dämpfen des siedenden Wassers bei normalem Luftdruck erreicht, der sogenannte **Siedepunkt,** wird mit 100° bezeichnet.

So oft die Versuche auch wiederholt werden, immer wieder stellt sich der Quecksilberfaden gleich hoch ein. Nach Festlegung dieser beiden Punkte

teilt man den Abstand zwischen dem Schmelzpunkt und dem Siedepunkt in 100 gleiche Teile oder *Grade*. So entsteht die heute in allen Ländern der Erde außer in den USA und Großbritannien übliche, von dem Schweden *Celsius* eingeführte hundertteilige Thermometerskala. Bei allen wissenschaftlichen Arbeiten hat sie internationale Geltung.

Den Schmelzpunkt des Eises und den Siedepunkt des Wassers nennt man die Fest- oder Fixpunkte des Thermometers. Die Skalenstrecke zwischen beiden, der sogenannte Fundamentalabstand, wird in hundert gleiche Teile oder Grade eingeteilt.

Um Temperaturen über 100° oder tiefere unter 0° zu messen, setzt man die durch den Versuch gewonnene Einteilung über die Festpunkte hinaus fort. Die Grade über Null werden mit dem Zeichen „+" (plus[1]), die Grade unter Null mit dem Zeichen „—" (minus[2]) versehen. Hinter die Gradzahl wird der Buchstabe „C" (Celsius) gesetzt. +4° C bedeutet also 4° über Null, —17° C bedeutet 17° unter Null. Ein Zimmerthermometer hat in der Regel einen Meßbereich von —10° C bis +50° C. Bei Angabe von Temperaturdifferenzen wird der Buchstabe C fortgelassen.

Beispiel: Die Temperatur stieg von +8° C um 6°.

Außer der heute weitverbreiteten Celsiusskala gibt es noch zwei andere Thermometerskalen. Der Franzose *Réaumur* teilte den Fundamentalabstand in 80 Grade ein; ältere Thermometer zeigen noch die nach ihm benannte Skala neben der Celsiusskala. Die erste Thermometerskala schuf *Fahrenheit*. Er teilte den Abstand zwischen den beiden Fixpunkten in 180 Grade ein und setzte den Nullpunkt um 32 Fahrenheitgrade tiefer an als den Celsiusnullpunkt. Die veraltete Fahrenheit-Einteilung wird zur Zeit noch in Großbritannien und den USA benutzt.

3. Einige im Haushalt verwendete Thermometerformen. Wie uns das Zimmerthermometer die Zimmertemperatur angibt, so lesen wir am **Fensterthermometer** (Abb. 64) die *Außentemperatur* ab. Es ist am Fensterrahmen mittels zweier Metallhalter so befestigt, daß es durch die Scheibe hindurch gut sichtbar ist. Statt auf einem Brettchen ist das Thermometerrohr auf einer schmalen Milchglasscheibe angebracht. Bei manchen Fensterthermometern ist die Thermometerröhre mit einer dahinter gelegten Skala in ein Schutzrohr aus Glas eingeschlossen.

Will man die Temperatur eines Bades kontrollieren, so benutzt man ein **Badethermometer.** Ein kaltes Bad soll eine Temperatur von etwa 26° C

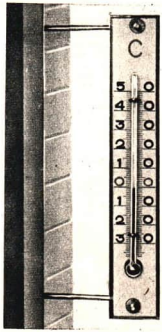


Abb. 64. Fensterthermometer

[1] plus (lat.) = mehr. [2] minus (lat.) = weniger, geringer.

und ein warmes Bad eine Temperatur von etwa 35° C haben. Überlege, was sich daraus für den Umfang des Meßbereiches ergibt! Das Badethermometer ist durch einen Holzmantel schwimmfähig gemacht; es muß beim Ablesen stets im Wasser verbleiben.

In der Küche wird in Verbindung mit dem Einkochapparat das **Einkochthermometer** benutzt. Zum Schutze gegen Beschädigungen ist es in eine Blechröhre eingebaut. Seine Skala reicht gewöhnlich von 30° C bis 110° C und ist mit besonderen Eintragungen versehen; es sind darauf die Temperaturen angegeben, die beim Einkochen verschiedener Speisen eingehalten werden müssen. Sieh dir eine solche Skala an und stelle fest, welche Temperatur z. B. zum Einkochen von Obstsäften, von Marmelade und von Fleisch innegehalten werden muß!

Ein bei der Krankenpflege unentbehrliches Thermometer ist das **Fieberthermometer** (Abb. 65). Seine Gradeinteilung reicht von 35° C bis 42° C. Zur Erhöhung der Genauigkeit der Ablesung sind bei ihm die einzelnen Grade noch in Zehntelgrade eingeteilt. Auf der Skala ist die normale Bluttemperatur des menschlichen Körpers, 37° C, in der Regel durch rote Ziffern kenntlich gemacht. Wie wird das Thermometer zur Messung der Körperwärme benutzt? — Der Quecksilberfaden darf vor und bei der Ablesung der Temperatur nicht zurückgehen. Deshalb weist die Steigröhre des Thermometers knapp über dem Quecksilberbehälter eine Verengung auf. Durch diese wird das Quecksilber beim Steigen wohl hindurchgetrieben, kann aber beim Sinken der Temperatur nicht wieder zurück. Vor einem neuen Gebrauch des Fieberthermometers muß man das Quecksilber stets mit einem kräftigen Ruck in das untere Gefäß zurückschleudern.

Im Gegensatz zu den bisher angeführten Thermometern, die vorzugsweise im Haushalt und in der Schule Verwendung finden, zeigt uns Abb. 66 ein **technisches Thermometer.** Thermometer dieser Art dienen zum Messen der Temperatur von Flüssigkeiten und Gasen in chemischen Werken und anderen Produktionsstätten. Sie werden mit Hilfe von *Überwurfmuttern* auf einen in die Rohr- bzw. Kesselwand eingeschweißten *Gewindestutzen* aufgeschraubt. Die Thermometerröhre ist zum Schutz gegen Beschädigungen in einem Metallrohr untergebracht. Dieses weist an seinem unteren Ende einen Durchbruch auf, damit das Gas oder die Flüssigkeit an den Quecksilber-

Abb. 65. Fieberthermometer

Abb. 66. Technisches Thermometer mit Überwurfmutter. Das Thermometerrohr ist von einer Schutzhülse umgeben.

behälter des Thermometers gelangen kann. Die sehr sorgfältig ausgeführte Skala befindet sich in einem flachen Gehäuse, das ein bequemes Ablesen gestattet. Der Meßbereich richtet sich nach der Höhe der zu messenden Temperatur. Technische Thermometer werden zum Messen von Temperaturen von —20° C bis zu 500° C hergestellt.

Einige Temperaturen:

Inneres der Sonne	mehrere Millionen ° C
Oberfläche der Sonne	etwa 6000° C
Elektrischer Lichtbogen	„ 4000° C
Flamme des Schweißbrenners	„ 2700° C
Gasflamme (Bunsenbrenner)	„ 1700° C
Kohlenfeuer im Zimmerofen	„ 1300° C
Kerzenflamme	„ 1300° C
Weißglut der Metalle	„ 1300° C
Helle Rotglut der Metalle	„ 800° C
Dunkle Rotglut der Metalle	„ 500° C
Menschlicher Körper	„ 37° C
Tiefste erzielte Temperatur	— 273° C

4. Versuche, Fragen, Aufgaben

1. Stecke ein röhrenförmiges Fensterthermometer in einen Trichter mit zerstoßenem Eis und prüfe nach, ob der Nullpunkt richtig angezeigt wird!
2. Hänge sämtliche im Haushalt vorhandenen Thermometer zusammen mit dem nach Versuch 1 überprüften in demselben Raum dicht nebeneinander (warum?) frei auf und vergleiche ihre Temperaturangaben bei verschiedenen Temperaturen!
3. Stelle bei sämtlichen dir zugänglichen Thermometern die Meßbereiche fest!
4. Warum muß der Raum in der Thermometerröhre über der Flüssigkeit luftleer sein? Welcher Stoff befindet sich in ihm?
5. Warum stellt man Thermometer aus Röhren her, deren innerer Durchmesser gegenüber dem der angeblasenen Kugel sehr klein ist?
6. Warum muß man beim Ablesen senkrecht auf das Thermometer schauen, wenn man Ablesefehler vermeiden will?
7. Gib weitere Beispiele dafür an, daß die Wärmeempfindung keinen zuverlässigen Maßstab für die Beurteilung der Temperatur darstellt!
8. Die Außentemperatur ändert sich an einem Wintertage a) von —7° C auf —2° C, b) von —2° C auf +4° C, c) von +3° C auf —3° C, d) von —8° C auf —11° C. Um wieviel Grad steigt bzw. fällt sie?

§ 12. Wärmequellen

1. Natürliche Wärmequellen. Unsere große natürliche Wärmequelle ist die Sonne. Wir sehen sie als gelblichweiße Scheibe am Himmel stehen. In Wirklichkeit ist sie eine glühende Kugel von gewaltiger Größe. Ihr Durch-

messer beträgt 1 390 000 km, er ist mithin etwas mehr als dreieinhalbmal so groß als die Entfernung des Mondes von der Erde.

Die Sonnenwärme ist notwendig für die Entstehung und Entwicklung des Lebens auf der Erde. Die Sonnenwärme hat entscheidenden Einfluß auf die Gestaltung des Klimas. Sie ist letzten Endes die Ursache für das Entstehen der Winde und für den Kreislauf des Wassers in der Natur. Auf die Wirkung der Sonnenwärme ist die Mehrzahl der Vorgänge und Veränderungen an der Erdoberfläche zurückzuführen.

Die Wärmeeinstrahlung von der Sonne her ist aber nur bis zu einer verhältnismäßig geringen Tiefe von Einfluß. Schon ein bis zwei Meter unter der Erdoberfläche sind tägliche Temperaturschwankungen kaum festzustellen, und steigen wir zwanzig und mehr Meter unter die Erdoberfläche hinab, so treffen wir auf Temperaturen, die das ganze Jahr gleich bleiben. Vom Wechsel der Jahreszeiten, von Sommer und Winter, ist in dieser Tiefe nichts mehr zu merken.

Dabei wollen wir nicht vergessen, daß auch die Erde in ihrem Innern warm ist. Man kann dies in Bergwerken feststellen, deren Stollen häufig mehrere Hundert Meter unter der Erde liegen. Wegen der dort unten herrschenden Hitze arbeiten die Häuer meist mit entblößtem Oberkörper. Durch ständige Ventilation wird für eine erträgliche Temperatur gesorgt. Diese Beobachtungen lehren, daß die Temperatur beim Eindringen in die Erde allmählich zunimmt. Beim Hinabsteigen um je etwa 30 m erhöht sich die Temperatur jeweils um 1°. Doch wird die Temperaturzunahme allmählich geringer. Man nimmt an, daß die Temperatur im Erdinnern etwa bei 5000° C liegt.

2. Künstliche Erzeugung der Wärme — Wir besuchen eine Schmiede. In der Werkstatt erblicken wir den Schmied am Schmiedefeuer. Er schüttet mit einer Schaufel Kohlen in die Glut. In der Hitze des Schmiedefeuers wird das Eisen weich und formbar. Kohle und andere **Brennstoffe** liefern bei der Verbrennung die Wärme. An festen Brennstoffen unterscheiden wir Steinkohle, Koks, Braunkohle, Braunkohlenbriketts, Torf, Holzkohle und Holz. Welche Kohlenart verwendet man in der Schmiede? Welche Kohlenarten bevorzugt man im Haushalt?

Welche anderen Brennstoffe als die genannten kennst du noch?

Wärme entsteht oft auch dort, wo man sie zu technischen Prozessen nicht ausnutzen kann, ja wo sie sich sogar als hinderlich erweist. An der *Bohrmaschine* sehen wir, wie der scharfe Stahlbohrer in das Eisen eindringt. Will man nach Abschalten der Maschine vom Bohrer ein paar Eisenspänchen abstreifen, so muß man vorsichtig sein. Man kann sich sonst leicht die Finger verbrennen, denn der Bohrer ist heiß.

Beim *Feilen* und *Sägen* werden Werkzeug und Werkstück warm. Im Winter reibt man die Hände aneinander, um sie zu erwärmen. Drücken wir eine

Münze auf ein rauhes Brett und reiben sie hin und her, so wird sie warm. Ebenso ist das Heißlaufen von Radachsen auf Reibung zurückzuführen. Durch Verwenden von Schmiermitteln wird es verhindert.

Beim Reiben entsteht Wärme.

Ähnliches kann man beobachten, wenn man ein Stück Metall längere Zeit mit dem Hammer bearbeitet. So kann man beispielsweise einen Nagel durch wiederholtes Schlagen mit dem Hammer heiß machen.

Abb. 67. Feuerquirlen der Indianer

Das Erzeugen von Wärme durch *Reibung* hat von jeher eine besondere Rolle gespielt. Beschreibe und erkläre das *Feuerbohren* bzw. *Feuerquirlen* der Indianer (Abb. 67) und versuche es selbst; überlege, ob sich jede Holzart dazu verwenden läßt!

Wir streichen mit einem Zündholz über die Reibfläche einer Streichholzschachtel. Dabei erwärmt sich der Streichholzkopf so stark, daß die an ihm haftende Zündmasse entflammt. Erkläre auch das Feuerschlagen mit Stahl, Feuerstein und Zunder, wie es früher allgemein im Gebrauch war, ehe die Zündhölzer aufkamen!

Ganz ähnliche Vorgänge wie beim Feuerschlagen spielen sich übrigens in unseren *Feuerzeugen* (Abb. 68) ab. Wir erkennen in ihnen als wichtigsten Bestandteil den Zünd- oder Feuerstein, der aus sogenanntem Cer-Eisen besteht. Beim Drehen des Rädchens werden durch Reibung wie bei einer Stahlfeile winzige Splitterchen vom Zündstein abgerissen, die infolge der Reibungswärme ins Glühen geraten. Sie entzünden den Benzindampf oberhalb des Dochtes. In gleicher Weise entzünden die Funken des Gasanzünders das aus den Düsen der Kochstelle austretende Leuchtgas.

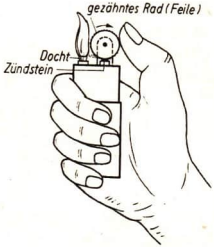


Abb. 68. Feuerzeug. Die Benzindämpfe werden durch glühende, vom Zündstein abgerissene Metallteilchen entzündet.

Ein sehr wichtiges Hilfsmittel zum Erzeugen von Wärme ist der *elektrische Strom*. Der elektrische Kocher, das elektrische Bügeleisen, die Glühlampen und das Heizkissen sind Beispiele für die mannigfachen Geräte, bei denen durch den elektrischen Strom Wärme frei wird. Wir werden später Näheres darüber erfahren.

Beim Gebrauch elektrischer Geräte ist größte Vorsicht geboten, da sonst schwere Personen- und Sachschäden entstehen können. Insbesondere ist folgendes zu beachten:

1. Leitende Metallteile dürfen nicht berührt werden.
2. Man lasse Schäden an den Geräten und an den Leitungen und Stromzuführungskabeln rechtzeitig durch einen Fachmann beseitigen, ehe es zu einem Kurzschluß kommt.
3. Durchgebrannte Sicherungen dürfen auf keinen Fall mit Draht überbrückt werden, da hierdurch die gefahrverhütende Wirkung bei etwa eintretenden Kurzschlüssen unmöglich gemacht wird.

Wärme kann durch Verbrennen, durch Reiben, durch Schlagen bzw. Drücken und durch den elektrischen Strom erzeugt werden.

Das Verbrennen ist ein chemischer Vorgang. Wir werden später lernen, daß Wärme auch bei vielen anderen chemischen Vorgängen frei wird.

3. Versuche und Fragen

1. Welche der in § 12,2 genannten Brennstoffe sind natürliche Brennstoffe? Welche der angeführten Brennstoffe sind Veredelungsprodukte der natürlichen Brennstoffe?
2. Schärfe ein Messer durch wiederholtes Streichen an dem unglasierten Boden eines irdenen Topfes und berühre es kurz danach! Was kannst du wahrnehmen?
3. Stahlbohrer und Drehstähle dürfen nicht zu heiß werden, wenn sie nicht unbrauchbar werden sollen. Wie verhütet man das Heißwerden an den Bohrmaschinen und Drehbänken?
4. Wie erklärst du das Funkensprühen beim Schleifen eines Messers oder einer Schere an einem schnell laufenden trockenen Schleifstein?
5. Warum darfst du beim schnellen Herablassen an der Kletterstange die Hände nicht an der Stange entlang gleiten lassen, sondern mußt mit den Händen nachgreifen?
6. Stecke eine Stricknadel durch einen Korken, halte sie an einem Ende fest und schiebe den Korken schnell hin und her! Berühre gleich danach die Stricknadel! Was kannst du feststellen?

§ 13. Vom Ofen und vom Kochherd

1. Unsere Zimmeröfen. Wenn wir im Winter einen Ofen heizen, gelingt es uns nie, die Kohlen unmittelbar mit einem brennenden Streichholz zu entflammen. Wir müssen vielmehr erst etwas zusammengeknülltes Papier und einige daraufgelegte Spaltholzstücke anbrennen, um die hohe Entzündungstemperatur der Kohlen zu erreichen. An Stelle von Holz verwenden wir oft auch sogenannte Kohlenanzünder, die aus Abfallstoffen der chemischen Industrie hergestellt werden.

Der gebräuchlichste Ofen ist der *Kachelofen*. Durch das Gitterwerk der Ofentür bzw. durch den Rost tritt die zum Verbrennen nötige Luft ein. Im Innern des Ofens befinden sich sogenannte *Züge*. Das sind vielfach

gewundene Gänge, durch die die heißen Rauchgase in den Schornstein (die Esse) gelangen. Auf diesem langen Wege geben die Verbrennungsgase ihre Wärme zum erheblichen Teil an die Kacheln des Ofens und an die inneren Bauteile ab, die die Wärme bis an die Außenfläche weiterleiten.

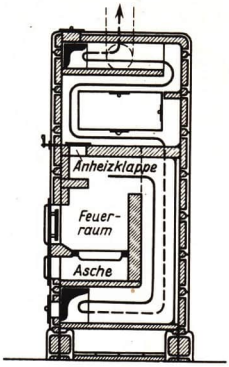


Abb. 69. Kachelofen (lotrechter Schnitt)

Man darf die Ofentür nicht zu zeitig schließen. Ohne Luftzufuhr ist eine Verbrennung unmöglich. Bei mangelhafter Luftzufuhr verbrennen die Kohlen unvollständig, sie schwelen, und mit den Rauchgasen gehen wertvolle, noch brennbare Stoffe verloren. Man soll die Luftzufuhr erst dann stark mindern, wenn die gasförmigen Bestandteile verbrannt sind und die Kohlen oder die Briketts nur noch glühen. Schon vorher wird man, sobald das Feuer lebhaft brennt, die vielfach vorgesehene Anheizklappe schließen. Besitzt der Kachelofen einen Rost, so muß die Tür zum Feuerraum kurz nach dem Anheizen geschlossen werden, damit die eintretende Luft durch die Tür zum Aschenraum und von dort durch den Rost dem Brennmaterial zugeführt wird (Abb. 69). Welcher Vorteil für die Verbrennung ergibt sich daraus?

Eiserne Öfen erwärmen sich zwar viel schneller als Kachelöfen, erkalten aber auch viel rascher, so daß kurze Zeit nach dem Erlöschen des Feuers ihre Heizwirkung aufhört. Leicht brennbare Stoffe (Holz, Kohlen, Papier) dürfen in der Nähe des Ofens nicht aufbewahrt werden. Kleider müssen in größerer Entfernung von ihm getrocknet werden, um Brandgefahr zu vermeiden. Wie gelangt die Wärme zu den Kleidungsstücken (vgl. § 15, 3)?

2. Wir kochen mit Gas. Leuchtgas verwendet man im Haushalt nur selten zum Heizen von Öfen, um so größer und wichtiger aber ist der Gasverbrauch in der Küche beim *Gasherd* und beim *Gaskocher*. In Orten, in denen sich eine Gasanstalt befindet, oder die an eine Ferngasleitung angeschlossen sind, steht das Leuchtgas jederzeit zur Verfügung. Es bietet den großen Vorteil, daß keinerlei Arbeit mit dem Heranschaffen von Brennmaterial verbunden ist. Feste Verbrennungsrückstände fallen nicht an, brauchen also nicht beseitigt zu werden. Ein anderer Vorzug liegt in der weitgehenden Regulierbarkeit der Flamme, so daß bei achtsamer Bedienung ein unnötiger Brennstoffverbrauch vermieden werden kann.

Jede Kochstelle ist mit einem *Gasbrenner* (Abb. 70) versehen. Das Gas reißt beim Ausströmen aus einer Düse Luft mit sich, so daß stets ein Luft-Gas-Gemisch die Flamme speist. Wird das Gas ohne Luftbeimischung verbrannt,

so findet keine vollständige Verbrennung statt; die Gasflamme rußt wie die Kerzenflamme, unverbrannter Kohlenstoff scheidet sich am Topfboden ab. Die Flamme wird durch einen Brenndeckel in viele kleine Flämmchen zerlegt.

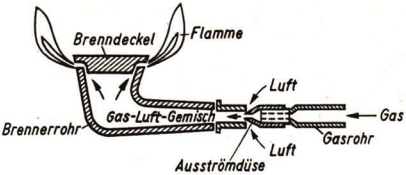


Abb. 70. Gasbrenner am Gasherd

Schiebe unter einen mit Wasser gefüllten Kochtopf für kurze Zeit einen Pappdeckel von der Größe des Topfbodens! Aus den angekohlten Stellen erkennen wir, daß die Temperatur rings um den Brenndeckel am höchsten ist.

Jeder Brenner kann auf „Klein" gestellt werden; die Sparflamme hat etwa den zehnten Teil des Gasverbrauchs der normalen Flamme. Diese kleine Flamme genügt meist, um Speisen, die einmal zum Kochen gebracht sind, am Kochen zu erhalten.

Die Verbrennungswärme wird am besten ausgenutzt, wenn der Gefäßboden von der Flamme ganz bedeckt wird. Ist der Boden viel größer, so wird der Luftzutritt und damit die Verbrennung behindert. Umgekehrt steigt viel warme Luft ungenützt an den Seiten empor, wenn die Bodenfläche zu klein ist.

3. Das richtige Herdfeuer. Beim *Kohlenherd* in der Küche (Abb. 71) ist darauf zu achten, daß die Feuerstelle nicht zu groß ist und nicht zu tief liegt. Ist sie zu groß, so tritt zuviel Luft ein, die den Verbrennungsgasen Wärme entzieht und sie ungenützt in den Schornstein entführt. Das ist bei zu großem Rost (Abb. 72) der Fall. Er muß abgemauert werden; undichte Stellen sind mit Lehm zu verschmieren; denn „falsche Luft", die durch Spalten in der

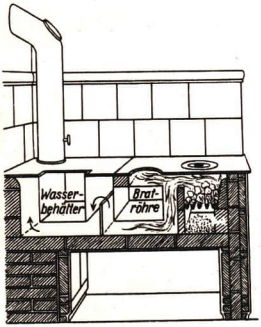


Abb. 71. Kohlenherd

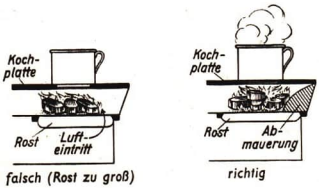


Abb. 72. Falschluft beim Kohlenherd
Der Rost darf nicht zu groß sein.

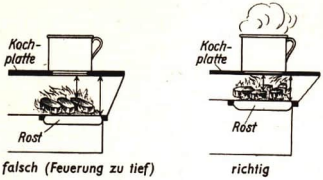


Abb. 73. Unvollständige Ausnutzung der Verbrennungswärme. Die Feuerstelle darf nicht zu tief liegen.

Herdsohle oder in der Herdplatte in den Feuerraum eintritt, führt in gleicher Weise zu Wärmeverlusten.

Liegt die Feuerstelle zu tief (Abb. 73), so schlägt die Flamme zu wenig an die Herdplatte. Die Töpfe sollen immer dicht über dem Feuer stehen, damit die Böden der Töpfe im Bereich der höchstmöglichen Temperatur liegen.

Im Ofen und im Herd ist stets auf guten Zug zu achten (Ausräumen der Asche vor dem Anfeuern, Entfernen der Flugasche und des im Ofenrohr angesetzten Rußes von Zeit zu Zeit).

Besonders ist zu beachten:

Neuer Brennstoff ist nie auf die Glut, sondern stets daneben zu legen, damit die Luft ungehindert hinzutreten kann!

Der Rost ist stets gleichmäßig mit Kohle zu bedecken!

Vor dem Garkochen soll man rechtzeitig mit dem Nachlegen von Brennstoff aufhören! Warum?

Beim Verbrennen von Kohle im Herd und Ofen wird nur ein Teil der freiwerdenden Wärme ausgenutzt, ein beträchtlicher Rest wird von den Rauchgasen ungenützt durch den Schornstein ins Freie abgeführt. So gelingt es selbst bei einem gut gebauten Ofen kaum, mehr als 50 bis 60% der Verbrennungswärme zu Heizzwecken nutzbar zu machen. Verstopfen sich durch unsachgemäßes Heizen (Verbrennen von größeren Mengen Papier oder Pappe, vorzeitiges Schließen des Ofens) die Züge, so sinkt die Wärmeausnutzung beträchtlich.

4. Fragen

1. Warum muß der Schornsteinfeger in gewissen Abständen eine Reinigung des Schornsteins vornehmen?
2. Warum ist vor dem Feuermachen der Rost gut von Schlacke und Asche zu reinigen?
3. Aus welchem Grunde sind offene Kamine zum Heizen eines Zimmers unvorteilhaft?
4. Welche Arten von Öfen sind dir bekannt? Unterscheide sie in ihrer Wirkung!
5. Wie kann man Heizmaterial im Ofen und im Herd sparen?
6. Welche Vorteile hat das Kochen mit Gas?
7. Was ist zu tun, wenn beim Gaskocher die Flamme „durchgeschlagen" ist? Wie kann man das Durchschlagen vermeiden?

§ 14. Ausdehnung der Körper bei Erwärmung

1. Ausdehnung der Flüssigkeiten. Beim Thermometer haben wir das Steigen und Fallen des Flüssigkeitsfadens im Thermometerrohr bei einer Temperaturänderung beobachtet.

Folgender Versuch gibt uns Aufschluß über die Vorgänge, die sich dabei abspielen: Ein Kochkolben wird bis obenhin mit gefärbtem Wasser gefüllt und durch einen Gummistopfen mit einer langen, engen Glasröhre fest verschlossen (Abb. 74). Eine Papiermarke zeigt den Wasserstand in der engen Röhre an. Erwärmen wir das Wasser vorsichtig, so können wir ein Steigen des Wasserstandes beobachten; das Wasser dehnt sich aus. Beim Abkühlen tritt der umgekehrte Vorgang ein.

Flüssigkeiten dehnen sich beim Erwärmen aus und ziehen sich beim Abkühlen zusammen.

Abb. 74. Ausdehnung von Wasser bei Erwärmung. Der Wasserspiegel im Steigrohr steigt beim Erwärmen des Kolbens.

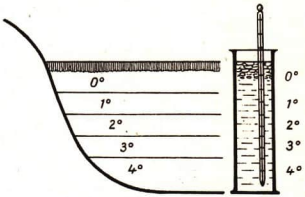


Abb. 75. Temperaturverteilung im Wasser beim Abkühlen.
Unmittelbar unter der Eisdecke herrscht die Temperatur von 0°C. Zum Boden hin nimmt die Temperatur allmählich bis zu 4° C zu.

Das besondere Verhalten des Wassers:

Wir verfolgen das Verhalten des Wassers beim Abkühlen auf 0° C und bringen zu diesem Zwecke in ein hohes Standglas eiskaltes Wasser und eine dicke Schicht Eisstücke. Sodann rühren wir gut um und lassen das Glas ruhig im Zimmer stehen. Nach einiger Zeit tauchen wir langsam ein Thermometer ein. Wir stellen fest, daß die Temperatur an der Oberfläche 0° C beträgt und gegen den Boden des Gefäßes allmählich bis 4° C zunimmt (Abb. 75). Das Wasser von 0° C ist offensichtlich leichter als das Wasser von 4° C, denn es befindet sich im Gefäß oberhalb des etwas wärmeren Wassers von 4° C.

Um die Ursache für diese Zusammenhänge zu erkennen, führen wir in den oben benutzten Kolben mit Hilfe eines doppelt durchbohrten Stopfens neben einer engen Glasröhre ein Thermometer ein und stellen den Kolben in eine Kühlmischung (Schnee oder Eisstückchen und Salz). Die gleichzeitige Be-

obachtung des Wasserstandes und des Thermometers zeigt, daß sich das Wasser während der Abkühlung bis zu 4° C zusammenzieht und sich bei weiterem Abkühlen bis auf 0° C wieder ausdehnt. Abb. 76 gibt dieses von anderen Flüssigkeiten abweichende Verhalten des Wassers wieder.

Beim Abkühlen auf 4° C zieht sich das Wasser zusammen, beim weiteren Abkühlen auf 0° C dehnt es sich wieder aus; es nimmt bei 4° C seinen kleinsten Raum ein.

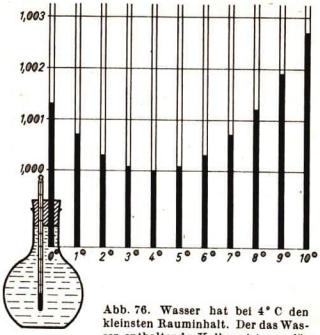


Abb. 76. Wasser hat bei 4° C den kleinsten Rauminhalt. Der das Wasser enthaltende Kolben ist nur für die Temperatur 0° C gezeichnet. Für die Temperaturen von 1° C bis 10° C ist nur die Steigröhre mit der in ihr befindlichen Wassersäule wiedergegeben. Die Zahlen am linken Rande der Abbildung dienen zum Vergleich der Rauminhalte des im Kolben befindlichen Wassers. Der Rauminhalt bei 4° C ist mit 1 bezeichnet.

Die gleiche Raummenge Wasser ist also bei 4° C vergleichsweise schwerer als bei höheren oder tieferen Temperaturen.

Diese auffallende Eigenschaft, durch die sich das Wasser von allen anderen Stoffen unterscheidet, spielt im Haushalt der Natur eine äußerst wichtige Rolle. In der kalten Jahreszeit werden Seen und Teiche von der Oberfläche her abgekühlt. Die abgekühlten Schichten sinken wegen ihrer größeren Schwere zunächst nach unten. Sobald jedoch an der Oberfläche die Temperatur von 4° C unterschritten wird, sinkt das Oberflächenwasser nicht mehr auf den Boden des Sees, weil es nun wieder leichter ist als das Wasser am Grunde (4° C). Deshalb kühlen sich stehende Gewässer von hinreichender Tiefe am Grunde nicht bis auf 0° C ab. Dieses Verhalten des Wassers ist die Ursache dafür, daß in genügend tiefen Gewässern das Leben von Tieren und Pflanzen im Wasser auch in strengster Winterzeit möglich ist.

2. Ausdehnung der luftförmigen Körper. An heißen Sommertagen stellt ein Radfahrer sein Rad niemals in die heiße, pralle Sonne. Stets sucht er zum Abstellen den Schatten eines Hauses oder Baumes auf. Beachtet er diese Vorsichtsmaßnahme nicht, so gibt es unter Umständen eine „kleine Explosion“: ein Schlauch des Rades platzt mit lautem Knall. Ein einfacher Versuch soll die Erklärung dafür bringen.

Abb. 77. Luft dehnt sich beim Erwärmen aus.

Tauche eine Kochflasche, durch deren durchbohrten Verschlußstopfen ein Glasrohr eingeführt ist (Abb. 77), mit dem Ende des Rohres in Wasser und umfasse die Flasche mit deinen warmen Händen! Die ent-

weichenden Luftblasen weisen deutlich auf eine Ausdehnung der in der Flasche befindlichen Luft hin.

Noch auffallender wird die Erscheinung, wenn man die Kochflasche vorsichtig mit einer schwachen Flamme bestreicht! Beobachte bei der Abkühlung das Emporsteigen des Wassers in der Glasröhre und gib die Ursache dafür an!

Die Luft und andere Gase dehnen sich beim Erwärmen sehr stark aus; beim Erkalten ziehen sie sich wieder zusammen.

3. Ausdehnung der festen Körper. Wir beobachten folgende Erscheinungen: Beim Feuermachen im Küchenherd erblickt man die Flamme durch die Ritzen und Fugen zwischen den Platten oder Ringen. Ist der Herd aber erst heiß, so sind alle Zwischenräume geschlossen. — Wenn man bei einer Chemikalienflasche den eingeschliffenen und fest im Flaschenhals sitzenden Glasstöpsel lockern will, hält man den Flaschenhals vorsichtig über eine Flamme, um ihn durch Erwärmen zu weiten. (Die Flasche darf keinen feuergefährlichen Stoff enthalten!) — Eine Messingkugel (Abb. 78), die mit einer Zange gehalten wird, gleitet durch das Loch eines Messingringes gerade noch hindurch. Erwärmt man die Kugel stark, so fällt sie nicht mehr durch die Öffnung, sondern bleibt in ihr stecken. Erst wenn sie sich wieder abkühlt, und wenn sich der Ring infolge Wärmeaufnahme ausdehnt, fällt die Kugel hindurch. — An einem Eisendraht, den man zwischen zwei auf den Tisch gestellten Stativen oder andern Haltern ausspannt (Abb. 79), hängt man in der Mitte ein Gewichtsstück auf, so daß der Draht gestrafft ist. Erwärmt man den Draht durch Bestreichen mit einer Gas- oder Spiritusflamme, so nimmt der Durchhang infolge der Ausdehnung des Drahtes zu; das Gewichtsstück senkt sich. Läßt man den Draht wieder abkühlen, so verkürzt er sich und hebt das Gewichtsstück an.

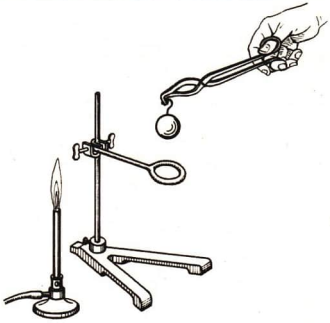


Abb. 78. Ausdehnung fester Körper beim Erwärmen. Die bei Zimmertemperatur gerade durch den Ring passende Kugel fällt durch diesen nach vorangegangener Erwärmung nicht mehr hindurch.

Die festen Körper dehnen sich beim Erwärmen aus und ziehen sich beim Abkühlen wieder zusammen.

Aus diesem Zusammenhange heraus wird die Ursache für viele Vorgänge verständlich, die wir an Gegenständen in unserer Umgebung und in der Technik beobachten können. Im folgenden sind einige Beispiele angeführt:

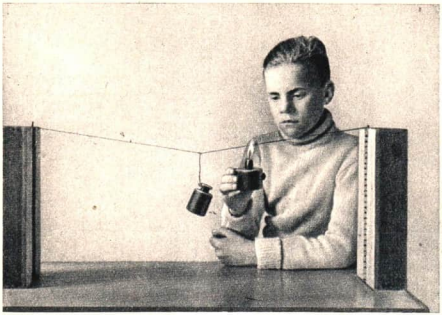


Abb. 79. Beim Erwärmen des Drahtes durch eine Flamme dehnt er sich aus; das Gewichtsstück senkt sich.

Dickwandige Einmachegläser und Flaschen zerspringen leicht, wenn man heiße Flüssigkeiten einfüllt. Die Ursache dafür ist darin zu sehen, daß sich die Glaswand infolge ihrer Dicke ungleichmäßig ausdehnt. Die Erwärmung erfolgt von innen nach außen, infolgedessen dehnt sich die Glaswand innen zunächst stärker als außen und zerspringt. Alle Glasbehälter, die starken, plötzlichen Temperaturschwankungen unterworfen sind, wie die im Physikunterricht häufig verwendeten *Bechergläser* und *Kochflaschen*, werden daher aus dünnem Glase hergestellt. — Eisenbahnschienen würden sich bei starken Temperaturschwankungen zwischen Sommer und Winter werfen und verziehen, wenn sie lückenlos verlegt würden. Man läßt daher zwischen je zwei aneinandergrenzenden Schienen kleine Zwischenräume, sogenannte *Schienenstöße* frei (Abb. 80). — Der Schmied nutzt die Wärmeausdehnung der festen Körper aus, wenn er einen Eisenreifen auf ein Rad aufziehen will. Der stark erhitzte Eisenreifen paßt gerade auf das Rad, so daß er das Rad beim Abkühlen stark zusammenpreßt, wodurch er ihm einen festen Halt gibt. — Ebenso muß der Brückenbauer an die Ausdehnung der Körper denken. Die Träger eiserner Brücken sind nur an einem Ende fest mit dem Widerlager verbunden, während sie

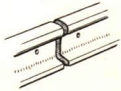


Abb. 80. Schienenstoß. Die Lücke zwischen den Schienenenden ermöglicht eine widerstandslose Ausdehnung der Schienen bei einer Erwärmung.

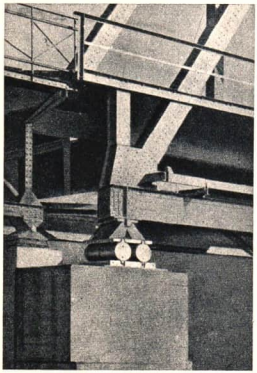


Abb. 81. Walzenlager auf dem Pfeiler einer Eisenbahnbrücke

mit dem anderen Ende auf Walzen liegen, um der Ausdehnung bei eintretender Erwärmung nachgeben zu können (Abb. 81). — In lange Rohrleitungen für heiße Gase oder Flüssigkeiten werden Rohrschleifen als sogenannte *Dehnungsausgleicher* eingebaut (Abb. 82). Bei einer Ausdehnung des Rohres krümmen sie sich verhältnismäßig leicht und bewahren so das Rohr vor Beschädigungen.

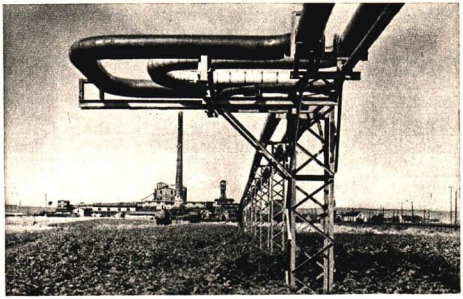


Abb. 82. Dehnungsausgleicher in einer Ferndampfleitung

Werden die Körper an der Ausdehnung bzw. Zusammenziehung bei Temperaturänderungen behindert, so treten erhebliche Kräfte auf.

Nenne weitere Beispiele!

Auf Straßen mit Asphaltpflaster kann man mitunter beobachten, daß sich dieses im Sommer wölbt und daß es im Winter reißt. Auch in einer Zementdecke kann man Risse und Sprünge nach Temperaturschwankungen feststellen.

Aus allen genannten Beobachtungen sehen wir, daß die Erscheinungen der Wärmeausdehnung in Industrie und Haushalt eine große Rolle spielen.

Wir legen uns noch die Frage vor, ob sich alle festen Körper gleich stark ausdehnen, und beantworten sie durch einen Versuch:

Ein Eisen- und ein Zinkblechstreifen (Abb. 83) werden aufeinandergenietet, so daß ein sogenannter *Bimetallstreifen*[1] entsteht. Dieser wird mit dem unteren Ende fest in ein Stativ geklemmt und erhitzt. Er biegt sich nach der Eisenseite zu. Welches Metall dehnt sich stärker aus? Ein Doppelstreifen aus Eisen zeigt dagegen beim Erhitzen keine Krümmung (Abb. 84).

Die Größe der Ausdehnung ist für jeden Stoff eine andere.

Abb. 83. Ein Bimetallstreifen aus Eisen und Zink biegt sich beim Erwärmen (die Krümmung ist stark übertrieben gezeichnet).

Abb. 84. Doppelstreifen aus Eisen biegt sich beim Erwärmen nicht.

[1] bis (lat.) = zweimal.

Während eiserne Träger im Mauerwerk mit Spielraum eingelassen werden müssen, baut man Pfeiler, Decken, Brücken, Masten usw. aus Eisenbeton so, daß die Eisenstäbe fest und vollständig im Beton liegen. Zement (Beton) und Eisen können beim Bau fest miteinander verbunden werden, weil ihre Ausdehnung fast gleich groß ist (vgl. untenstehende Tabelle).

In der Technik spielt die Ausdehnung bei eintretender Erwärmung eine große Rolle. Ingenieure und Techniker müssen für ihre Berechnungen genau wissen, wie sich die einzelnen Stoffe ausdehnen. Deshalb haben die Physiker alle Stoffe auf ihre Ausdehnung infolge von Erwärmung untersucht. Die Meßergebnisse hat man in Zahlentafeln zusammengefaßt, aus denen für jeden Stoff entnommen werden kann, um welchen Teil seiner Länge sich ein Körper bei Erwärmung um 1° ausdehnt.

Bei Erwärmung um 100° dehnen sich aus:

ein	1 m	langer	Zinkstab	um 3,0 mm
„	1 m	„	Aluminiumstab	„ 2,2 mm
„	1 m	„	Messingstab	„ 1,9 mm
„	1 m	„	Kupferstab	„ 1,6 mm
„	1 m	„	Eisenstab	„ 1,2 mm
„	1 m	„	Betonklotz	„ 1,2 mm
„	1 m	„	Glasstab	„ 0,9 mm
„	1 m	„	Holzstab	„ etwa 0,3 mm

Alle Körper dehnen sich beim Erwärmen aus, und zwar die festen am wenigsten, die flüssigen etwas mehr, die gasförmigen am stärksten. Die Ausdehnung geht mit großer Kraft vor sich. Bei der Abkühlung ziehen sich die Körper wieder zusammen.

Wasser bildet eine Ausnahme. Es hat bei 4° C seinen kleinsten Rauminhalt.

4. Versuche, Fragen, Aufgaben

1. Lege einen 30 bis 40 cm langen, dicken Eisendraht mit seinen beiden Enden auf zwei etwa 15 cm hohe Holzklötze und befestige ihn auf dem einen Klotz mittels einer in den Klotz geschlagenen Krampe! Auf den

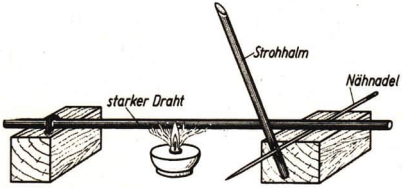


Abb. 85. Versuchsanordnung zur Ausdehnung eines starken Drahtes beim Erwärmen

anderen Klotz lege unter den Draht eine Stricknadel, auf die du einen als Zeiger dienenden Strohhalm gesteckt hast! Bestreiche den Draht mit einer Spiritusflamme (Abb. 85). Beobachte den Zeiger! Was kannst du aus seiner Bewegung schließen?

2. Wiederhole den Versuch 1 mit einem Glasstab oder einer Glasröhre! Führe sie an einem Ende durch einen Korken, den du mit einer Krampe an dem einen Klotz befestigst!

3. Säge in ein dünnes Brett einen seitlichen Ausschnitt, der etwas kürzer ist als eine Nähnadel! Stecke die Nadel mit ihrer Spitze in eine Seitenwand des Ausschnittes, so daß sie mit ihrem Öhr auf der gegenüberliegenden Seitenwand aufliegt (Abb. 86)! Führe durch das Öhr eine zweite Nadel und stecke sie lose in das Brett! Halte das Brett so, daß die erste Nadel waagerecht liegt, und erhitze diese mit einer Kerze! Was kannst du beobachten?

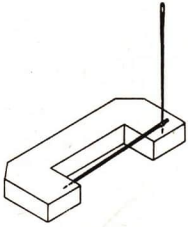


Abb. 86. Ausdehnung einer Nähnadel durch Erwärmung. Die aufrechtstehende Nähnadel dient als Zeiger.

4. Lege eine lange Glasröhre mit dem einen Ende auf den Tisch und beschwere sie, so daß sie möglichst weit frei überragen kann. Erwärme sie dicht vor der Tischkante mit einer Spiritus- oder Gasflamme, so daß die Flamme nur die untere Röhrenwand trifft! Beobachte das freie Ende der Röhre und gib den Grund für seine Verschiebung an!

5. Stelle in eine Schüssel ein Glas und fülle es durch vorsichtiges Zugießen bis zum Rande mit kaltem Wasser! Lasse das Glas im warmen Zimmer stehen! Was kannst du nach einiger Zeit beobachten?

6. Warum dürfen Telephondrähte beim Verlegen im Sommer nicht straff gespannt werden?

7. Lege um einen Flaschenhals einen Bindfaden in einigen Windungen so, daß er noch hin und her gezogen werden kann. Erwärme den Flaschenhals durch fortlaufende Bewegung des Fadens und lockere dadurch den festsitzenden Stopfen!

8. Eine 30 m lange Eisenbahnschiene erwärmt sich vom Winter zum Sommer um 40°. Um wieviel mm dehnt sie sich dabei aus?

9. Ein 500 m langes Teilstück des Oberleitungsdrahtes einer Straßenbahn kühlt sich bei einem Temperatursturz um 20° ab. Um wieviel verkürzt es sich dabei? (Ausdehnung 1,8 mm je 1 m und 100°.)

10. Eine eiserne Brücke hat eine Stützweite von 120 m. Man rechnet zwischen Sommer und Winter mit einem Temperaturunterschied von 50°. Welchen Spielraum muß das auf Rollen lagernde Brückenende haben?

§ 15. Ausbreitung der Wärme

1. Wärmeleitung. Wenn man im Winter den Kachelofen heizt, dauert es eine ganze Weile, ehe man die vom Feuer abgegebene Wärme beim Berühren der Außenwand des Ofens verspürt, aber nach einiger Zeit ist der ganze Ofen warm. Der Feuerhaken, mit dem man im Feuer schürt, wird bald auch an dem Ende warm, das nicht vom Feuer umgeben ist.

So zeigt uns die tägliche Erfahrung, daß sich der Ofen und viele andere Körper auch an den Stellen erwärmen, die nicht unmittelbar mit einer Flamme in Berührung kommen. Die Wärme geht also von den erwärmten Stellen des Körpers auf die benachbarten kalten Stellen über. Sie breitet sich im Körper aus.

Ein solcher Wärmeübergang heißt Wärmeleitung. Sie erfolgt immer von den warmen Stellen eines Körpers zu den benachbarten kälteren hin.

Bei einem eisernen Ofen geht dieser Vorgang viel schneller vor sich. Wenige Minuten nach dem Anheizen ist die Wärme durch den eisernen Mantel des Ofens hindurchgedrungen, und man spürt alsbald beim Berühren ihre Wirkung. Eisen leitet die Wärme schneller fort als Kacheln. Führe folgenden Versuch aus:

Fasse eine Stricknadel und einen ebenso dicken, gleich langen Kupferdraht an dem einen Ende an und halte beide *zu gleicher Zeit* mit dem anderen Ende in eine Flamme! Den Kupferdraht mußt du infolge der eintretenden Erwärmung sehr bald fallen lassen. Die Stricknadel vermagst du etwas länger in der Hand zu behalten. Wiederhole denselben Versuch mit einer Stricknadel und einem Glasstab von gleicher Länge! Die Stoffe leiten die Wärme verschieden gut. Körper, die die Wärme schnell weiterleiten, heißen **gute Wärmeleiter.** Zu ihnen gehören alle Metalle, wie Silber, Kupfer, Zink, Eisen und Blei. **Schlechte Wärmeleiter** sind Holz, Wolle, Stroh, Papier und Glas. Diese Tatsache macht es uns verständlich, warum man in der Küche den heißen Suppentopf mit dem Topflappen vom Herd nehmen kann, ohne sich die Finger zu verbrennen.

Gute und schlechte Wärmeleiter, unter ihnen auch lufthaltige Stoffe, wie Holzwolle oder Watte, werden im Hause in der mannigfachsten Weise verwendet. Will man in der Küche beim Kochen an Brennstoff sparen, so benutzt man eine *Kochkiste* (Abb. 87), in die der Kochtopf genau hineinpaßt. Man kocht das Gemüse und andere Gerichte nur kurz an und stellt den Topf dann schnell in die Kochkiste. Diese ist innen mit Werg, Wolle, Stoffresten, zerknülltem Zeitungspapier, Holzwolle oder Watte ausge-

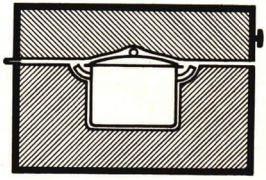
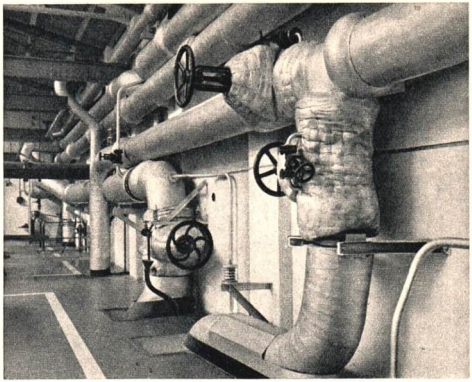


Abb. 87. Kochkiste



a

Abb. 88. Rohrleitungen mit Schutzhüllen gegen Wärmeverluste

a) Schutzmäntel aus Glaswatte an Rohren in einem chemischen Werk

b) Bekleidung aus Kieselgur an einem Rohr einer Zentralheizung

polstert und verhindert so, daß die Wärme nach außen abgegeben wird.

Ein ausgezeichnetes Schutzmittel gegen Wärmeverluste ist Glaswolle oder Glaswatte. Sie ist eine watteartige Masse, die aus allerfeinsten Glasfäden besteht. Sie eignet sich besonders zum Wärmeschutz bei technischen Anlagen. Mit ihr umkleidet man in Kraftwerken, chemischen Werken und anderen Produktionsstätten Dampfrohre, Rohre für heiße Flüssigkeiten und Gase, Warmwasserbehälter und ähnliche Wärmebehälter, um sie gegen Wärmeverluste zu schützen (Abb. 88a). Auch unter Fußböden legt man zur Warmhaltung mitunter Schichten von Glaswolle. Als sehr wirksames Wärmeschutzmittel hat sich auch Kieselgur erwiesen. Kieselgur ist ein äußerst feinkörniges, sandähnliches Mineral, das mit einem Bindemittel zu einem Brei verrührt und auf die zu isolierenden Rohre gestrichen wird (Abb. 88b).

b

2. Die Warmwasserheizung — Wärmeströmung in Flüssigkeiten. Die Warmwasserheizung in großen Gebäuden ist eine *Sammel-* oder *Zentralheizung*, bei der durch *einen* Ofen oder besser einen *Kessel* alle Heizkörper erwärmt werden.

Folgender Versuch soll uns die Ausbreitung der Wärme in der Warmwasserheizung veranschaulichen. Wir füllen ein Glasrohr von der Gestalt eines Rechtecks mit Wasser (Abb. 89), dem einige Sägespäne beigemischt sind, und erwärmen das Rohr an einer Knickstelle. Da sich das Wasser beim Erwärmen ausdehnt, wird es im Verhältnis zu dem übrigen kalten Wasser etwas leichter und steigt empor. In den kälteren Teilen des Rohres kühlt sich das Wasser wieder ab. Unten fließt der Heizstelle von links her kaltes Wasser zu. Das Wasser beginnt im Kreislauf zu strömen.

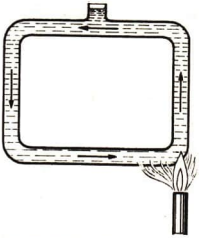


Abb. 89. Wärmeströmung in einem Rohrring. Schütte in die Öffnung etwas Sägemehl oder Farbstoff! Das erwärmte Wasser steigt rechts empor und sinkt links wieder ab.

Abb. 90. Wärmeströmung in einer Kochflasche. In der Flasche entsteht eine in der Mitte aufsteigende, an der Glaswand absinkende Strömung. Sie wird durch Farbschlieren sichtbar gemacht.

Ähnliches zeigt ein weiterer Versuch:

Wir stellen eine halb mit Wasser gefüllte Kochflasche über eine Gas- oder Spiritusflamme. Den Brenner halten wir so, daß die Flamme nur die Mitte des Bodens trifft (Abb. 90). Es dauert nicht lange, bis sich auch die oberen Wasserschichten erwärmen. In die Kochflasche werfen wir ein paar Kristalle von Kaliumpermanganat, einer Substanz von außerordentlich großem Färbevermögen.

An den sich sofort bildenden roten Farbschlieren beobachten wir, daß das Wasser in der Mitte des Gefäßes emporsteigt. Die Ursache dafür ist die gleiche, wie sie schon oben angegeben wurde. Das Wasser wird infolge der durch Erwärmung hervorgerufenen Ausdehnung im Verhältnis zum übrigen kalten Wasser wieder leichter. An der Wasseroberfläche weicht das erwärmte Wasser seitwärts aus und gelangt an die vorläufig noch kalten Wände. Dort kühlt es sich wieder ab, zieht sich zusammen und sinkt zu Boden.

So kommt es im Gefäß zu einer Strömung des Wassers. Die am Boden aufgenommene Wärme wird vom Wasser in alle Teile des Gefäßes getragen. Man spricht in diesem Sinne von einer *Wärme-*

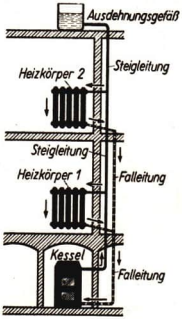


Abb. 91. Warmwasserheizung. Das im Kessel erwärmte Wasser steigt durch die Steigleitung empor, gibt seine Wärme in den Heizkörpern ab und fließt durch die Falleitung zum Kessel zurück.

strömung im Wasser. — Diesen Strömungsvorgang nutzt man bei der Anlage von *Warmwasserheizungen* aus (Abb. 91). Sie werden für einzelne Stockwerke oder für ganze Gebäude gebaut. Von dem im Keller stehenden Kessel führt ein Steigrohr durch alle Stockwerke zu einem offenen Ausdehnungsgefäß auf dem Dachboden des Hauses. In den Stockwerken sind die Heizkörper an die Steigleitung angeschlossen. Das in den Rippen der Heizkörper abgekühlte Wasser fließt in die Falleitung und gelangt wieder in den Heizkessel zurück. Warum muß das Ausdehnungsgefäß vorhanden sein?

Auf der gleichen Wirkungsweise beruht der Wasserumlauf im *Kühler eines Kraftwagens*, wie ihn Abb. 92 veranschaulicht.

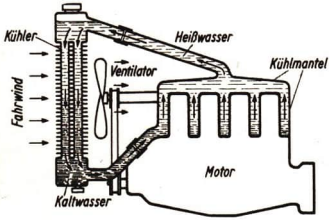


Abb. 92. Wasserströmung im Kühler eines Kraftwagens. Das Wasser im Kühlmantel erwärmt sich am heißen Motor, steigt nach oben und strömt dem Kühler zu. In diesem entsteht infolge der Abkühlung eine absinkende Strömung; es fließt dem Kühlmantel von unten her wieder kühles Wasser zu.

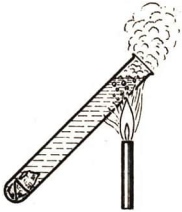


Abb. 93. Wasser ist ein schlechter Wärmeleiter. Am Boden des Röhrchens liegt ein Eisstückchen, während das Wasser im oberen Teil des Glases siedet.

Verhindert man im Wasser das Auftreten von Strömungen, so erweist sich das ruhende Wasser, wie uns ein Versuch zeigt, als ein schlechter Wärmeleiter. In ein Probiergläschen bringen wir ein mit Draht beschwertes Eisstückchen, das im Wasser untersinkt (Abb. 93). Wir können das Wasser im oberen Ende des Gläschens zum Sieden bringen, ohne daß unten das Eis schneller schmilzt.

Im Wasser breitet sich die Wärme vorwiegend durch Strömung aus. Ruhendes Wasser ist ein schlechter Wärmeleiter.

3. Wärmeströmung in der Luft. Ähnlich wie im Wasser treten in der Luft Strömungen auf, die man mit einfachen Versuchen nachweisen kann.

Zeichne auf einen alten Heftdeckel eine gleichmäßige Schneckenlinie und schneide an dieser entlang! Stecke eine Stricknadel in eine Streichholzschachtel, die du vorher mit Sand gefüllt hast! Auf die Spitze der Stricknadel setze die ausgeschnittene und auseinandergezogene Schnecke! Stellen wir diese

Anordnung auf einen geheizten Ofen oder einen Heizkörper, so beginnt die Schnecke sich unter dem Einfluß des aufsteigenden Luftstromes zu drehen (Abb. 94).

Öffne die Tür eines geheizten Zimmers ein wenig und halte eine brennende Kerze ganz unten, in halber Höhe und ganz oben vor den Spalt! Die Kerzenflamme zeigt die Richtung des Luftstromes an (Abb. 95).

Wir können feststellen:

Erwärmte Luft steigt nach oben, weil sie leichter ist als kalte Luft. Kalte Luft sinkt zu Boden.

Abb. 94. Nachweis von aufsteigenden Luftströmen. Die Schnecke weicht dem Luftstrom aus und dreht sich mit ihrem freien Ende nach vorn zeigend.

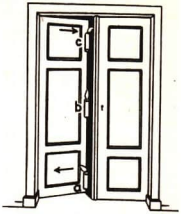


Abb. 95. Luftströmungen durch die geöffnete Tür. Warme Luft fließt oben ab, kalte Luft dringt unten ein.

Infolgedessen entsteht im geheizten Zimmer ein *Luftkreislauf* (vgl. Abb. 96), durch den sich die Ofenwärme im ganzen Zimmer verbreitet.

In der Luft und in anderen Gasen breitet sich Wärme vorzugsweise durch Strömung aus.

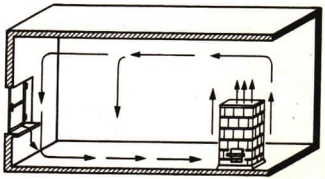


Abb. 96. Luftströmung im geheizten Zimmer. Am Ofen entsteht ein aufsteigender, am Fenster ein absinkender Luftstrom.

Auf der Luftströmung beruht die Wirkung des Lampenzylinders (Abb. 97) und des Schornsteines. Infolge der starken Erwärmung an der Brennstelle entsteht im Lampenzylinder wie im Schornstein ein kräftiger Luftstrom nach oben. Er ruft an der unteren Öffnung eine starke Saugwirkung hervor und bewirkt so, daß der Brennstelle immer wieder neue Luft zuströmt.

Wird in einem Raum die Luftströmung dadurch unterbunden, daß der Luftraum durch Zwischenwände in viele kleine Räume zerlegt wird, so bleibt die Verbreitung der Wärme in der Luft aus.

Ruhende Luft erweist sich wie ruhendes Wasser als ein schlechter Wärmeleiter.

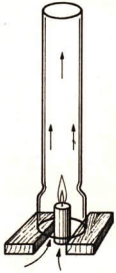


Abb. 97. Luftströmung im Lampenzylinder. Die Luft erwärmt sich an der Flamme und steigt im Zylinder empor.

Hierauf beruht die Schutzwirkung gegen Wärmeverluste durch Federbetten, Holzwolle, Stoffasern und durch andere

Stoffe. Betten und Kleider wärmen uns nicht dadurch, daß sie uns Wärme zuführen, sondern sie halten uns warm, indem sie eine Ableitung der Körperwärme nach außen verhindern (vgl. S. 68 und 69).

Wärmeströmungen sind nur in Gasen und Flüssigkeiten möglich, nicht dagegen in festen Körpern und auch nicht im luftleeren Raum.

4. Wärmestrahlung. Wir blicken aus verschiedenen Entfernungen ins offene Herdfeuer. Dabei empfinden wir je nach der Entfernung eine mehr oder weniger starke Wärmeeinwirkung auf unsere Gesichtshaut. — Wir vergleichen an sonnigen Wintertagen den Stand zweier Thermometer, von denen das eine von der Sonne beschienen wird, während das andere im Schatten hängt. — Wir stellen uns vor eine elektrische „Heizsonne". Bringen wir zwischen uns und die Heizsonne ein Brett oder eine Blechtafel, so bemerken wir deutlich, wie die Wärmewirkung dadurch behindert wird.

Es handelt sich bei den angeführten Beispielen der Wärmeübertragung um *Wärmestrahlung*.

Die Erwärmung ist um so stärker, je näher der die Wärme empfangende Körper dem wärmestrahlenden Körper steht. Halten wir vor die heißen Kacheln des Ofens in gleicher Entfernung ein Stück weiße und ein Stück schwarze Pappe, so fühlt sich nach kurzer Zeit die schwarze Pappe bedeutend wärmer an als die weiße.

Bestreichen wir eine Seite eines Becherglases mit weißer und die andere Seite mit schwarzer Farbe, gießen heißes Wasser in dieses Gefäß und halten dann die Hände in einiger Entfernung vor die Flächen, so können wir einen deutlichen Unterschied in der Wärmewirkung bemerken.

Dunkle Körper nehmen Wärme leichter auf als helle; helle Körper werfen die Wärmestrahlen teilweise zurück.
Dunkle Körper strahlen die Wärme stärker aus als helle Körper.

Außerdem ist festzustellen, daß eine rauhe Fläche mehr Wärme aufnimmt und sie stärker abstrahlt als eine glatte Fläche.

Auf Grund dieser Tatsachen werden uns viele Erscheinungen und Einrichtungen unserer Umwelt verständlich. Wegen ihrer geringeren Wärmeaufnahme bevorzugen wir im Sommer helle, lichte Kleidung. Aus dem gleichen Grund verspürt man bei einem Sonnenbad unter einem hellen Badeanzug eine geringere Erwärmung als unter einem schwarzen. Die Häuser in den heißen Erdteilen sind meist weiß gestrichen, um die Wärmeaufnahme möglichst gering zu halten.

Die von einem warmen Körper ausgehenden Wärmestrahlen sind unsichtbar. In der Nähe eines stark geheizten Ofens empfinden wir die Wärmeausstrahlung oft als recht lästig, ohne daß wir irgendwelche Strahlen sehen. Die Wärmestrahlen erreichen uns, ohne daß die dazwischenliegenden Körper daran

beteiligt sind; ja sie nehmen ihren Weg auch durch den luftleeren Raum, sonst könnte zum Beispiel die Wärme von der Sonne nicht zur Erde gelangen. Doch gibt es Stoffe, die für Wärmestrahlen wenig durchlässig sind, zum Beispiel Glas.

Zum Warmhalten von Getränken und Speisen dient die *Thermosflasche* (Abb. 98). An einer zerbrochenen Thermosflasche können wir feststellen, daß die Flasche zwei Glaswände besitzt. Diese schließen bei der unbeschädigten Flasche einen luftleer gepumpten Raum ein. Der luftleere Raum bietet den besten Wärmeschutz, da er jede Wärmeleitung ausschließt. Auch ein Wärmeaustausch durch Strömung ist im luftleeren Raum unmöglich. Dringt Luft in den Zwischenraum zwischen den Wänden, so ist es mit der Schutzwirkung vorbei. Denn wenn Luft auch ein schlechter Wärmeleiter ist, so würde bei der geringen Dicke der Luftschicht doch bald ein Temperaturausgleich durch Wärmeleitung eintreten. Es fällt auf, daß die Doppelwand der Thermosflasche innen versilbert bzw. verkupfert ist. Dadurch wird erreicht, daß Wärmestrahlen wie Lichtstrahlen an einem Spiegel zurückgeworfen werden, so daß sie die Wand weder von außen nach innen, noch von innen nach außen durchdringen können. So werden durch die Bauart der Thermosflasche Wärmeverluste durch Wärmeleitung, -strömung und -strahlung weitgehend vermieden.

Abb. 98. Glasgefäß der Thermosflasche (Schnitt). Das Ansatzröhrchen dient zum Auspumpen der Luft; es wird nach dem Auspumpen zugeschmolzen.

5. Versuche und Fragen

1. Du faßt ein Zehnpfennigstück möglichst weit am Rande mit Daumen und Zeigefinger und hältst es in die Flamme eines Streichholzes, das von einem Mitschüler gehalten wird. Wer von euch beiden kann den von ihm gehaltenen Gegenstand länger in der Hand behalten? Warum?
2. Stecke zwei gleich lange und gleich dicke Drähte aus Eisen und Kupfer mit ihrem einen Ende schräg in eine Kerze (Enden etwas erwärmen), so daß die freien Drahtenden gekreuzt aufeinanderliegen! Benutze die Kerze als Handgriff und halte die Kreuzungsstelle der Drähte so lange in eine Kerzen- oder Spiritusflamme, bis einer der Drähte sich aus der Kerze löst! Bei welchem Draht geschieht dies zuerst? Gib die Ursache dafür an!
3. Binde an einen Stein und an ein gleich großes Metallstück Schnüre und tauche die Körper in siedendes Wasser! Ziehe sie nach einiger Zeit heraus und berühre beide Körper vorsichtig! Welcher Körper erscheint dir heißer? Warum?
4. Befestige durch ein paar Krampen an einem Holzklotz einen starken Draht, so daß er waagerecht zur Seite ragt! Klebe an ihn in gleichmäßigen Abständen einige Wachskügelchen und erhitze den Draht am freien Ende mit einer Spiritusflamme! Was kannst du beobachten?

5. Warum sind Feuerhaken, Kohlenschaufeln, Gießkellen und ähnliche Geräte meist mit hölzernen Handgriffen versehen?
6. Ein Steinfußboden, den wir mit nackten Füßen betreten, erscheint uns stets kühler als ein Holzfußboden, auch wenn die Räume, in denen sie sich befinden, die gleiche Temperatur haben. Wie ist das zu erklären?
7. Welchen Vorteil bieten Doppelfenster gegenüber einfachen Fenstern? Erkläre ihre Wirkungsweise!
8. Warum erscheinen uns im Winter im Freien stehende Gegenstände aus Eisen kälter als solche aus Holz?
9. Aus welchem Grunde verwendet man Hohlziegelsteine?
10. Worauf beruht die wärmende Wirkung unserer Kleidung? — Wie kommt es, daß mehrere dünne Kleidungsstücke oft wärmer halten als ein dickes? Warum dürfen die Kleidungsstücke nicht zu eng anliegen?

§ 16. Die Wärmeeinheit

1. Wärmemenge und Gasverbrauch. Wir stellen zwei zugedeckte, dünnwandige Aluminiumtöpfe von gleicher Größe mit Wasser zu gleicher Zeit dicht nebeneinander auf die heiße Herdplatte. Der erste Topf enthält 1 l, der zweite 3 l Wasser. Wir ermitteln für jeden Topf die Zeit, die vom Augenblick des Aufstellens bis zum Beginn des Siedens vergeht. Es sind dies bei 1 l ungefähr 7 Minuten, bei 3 l etwas mehr als 20 Minuten. Ist die Herdplatte gleichmäßig warm, so ist die Annahme berechtigt, daß jeder Topf von ihr in gleichen Zeiten gleichviel Wärme aufnimmt. Wir erkennen aus dem Versuch, daß etwa eine dreimal so große Wärmezufuhr erforderlich ist, wenn man die dreifache Menge Wasser zum Sieden bringen will.

Steht ein Gaskocher zur Verfügung, so kann man die Töpfe zu gleicher Zeit auf zwei gleich stark eingeregelte Gasflammen stellen. Auch hier verstreicht etwa die dreifache Zeit, bis die 3 l Wasser zu sieden beginnen. Wir dürfen annehmen, daß beide Gasflammen in gleichen Zeiten gleichviel Gas verbrauchen und gleich viel Wärme liefern, die an die Wassertöpfe abgegeben wird. Wieder ergibt sich, daß 3 l Wasser dreimal soviel Wärme benötigen, um zum Sieden zu kommen, als 1 l Wasser.

Wir können in diesem Sinne von einer dreifachen **Wärmemenge** sprechen, die der Topf mit der dreifachen Wassermenge aufnimmt. Wir dürfen uns allerdings durch diesen Ausdruck nicht zu der Annahme verleiten lassen, daß die Wärme ein Stoff sei. Das Wasser wie jeder andere Körper erfährt beim Erwärmen keine feststellbare Gewichtszunahme.

Die zugeführte Wärmemenge läßt sich nicht einfach mit einem Thermometer messen; mit ihm können wir nur die Temperatur feststellen. *Temperatur* und *Wärmemenge* sind zwei ganz verschiedene Begriffe, die man nicht verwechseln darf. Die Temperatur kennzeichnet, wie wir schon von § 11, 1 her wissen, einen Wärmezustand. Durch die dem Wasser zugeführte Wärme-

menge aber wird eine gewisse Arbeit verrichtet. Sie besteht darin, daß das Wasser erwärmt, also seine Temperatur erhöht wird. Wir dürfen bei unserem Versuch aus der Gleichheit der Temperaturen zweier Wassermengen keinen voreiligen Schluß auf die Gleichheit der zugeführten Wärmemengen ziehen. Diese sind, wie wir sahen, auch von den Wassermengen abhängig.

2. Vergleich von Wärmemengen. Wenn der Ausdruck *Wärmemenge* wirklich einen Sinn haben soll, müssen wir sie auch zahlenmäßig angeben, d. h. messen können. Dazu fehlt uns aber bisher eine Einheit. Wir können Wärmemengen weder in Gramm auf einer Waage abwägen, noch in Kubikzentimetern mittels eines Meßglases angeben. *Wärme ist kein Stoff.* Wir sind also darauf angewiesen, uns eine Einheit für die Messung von Wärmemengen neu zu schaffen. Wir führen zu diesem Zweck folgenden Versuch aus:

Wir erhitzen über einer Spiritus- oder Gasflamme in einem dünnwandigen Gefäß nacheinander 500, 1000 und 2000 g Wasser. Nach jeder halben Minute bestimmen wir die erreichte Temperatur bis auf Zehntelgrad, die wir abschätzen, und füllen eine Tabelle nach folgendem Muster aus. Wir wollen dabei annehmen, daß die Flamme in jeder halben Minute die gleiche Wärmemenge liefert.

Beispiel:

Wassermenge g	Anfangstemperatur °C	Temperatur nach 0,5 Minuten in °C	1,0	1,5	2,0	2,5	Mittlere Temperaturerhöhung je halbe Minute in °
500	18,0	23,8	29,0	35,2	40,1	46,0	5,6
1000	18,0	20,9	23,7	26,0	29,4	32,5	2,9
2000	18,0	19,5	21,1	22,4	23,6	25,5	1,5

Sehr lehrreich ist es, sich ein *Schaubild* oder, wie man auch sagt, eine *graphische Darstellung* der Temperatursteigerung der einzelnen Wasser-

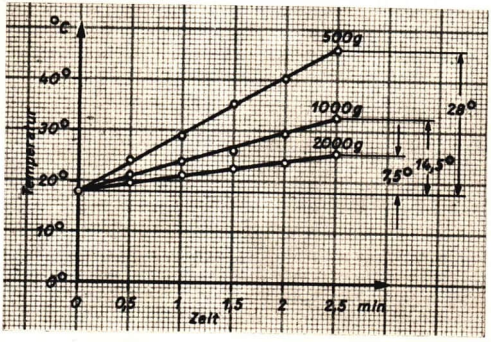


Abb. 99. Temperaturverlauf beim Erwärmen dreier verschiedener Wassermengen

mengen herzustellen. Wir benutzen dazu sogenanntes *Millimeterpapier*; das ist Papier, das mit einem Millimeternetz bedruckt ist. Darauf zeichnen wir zwei aufeinander senkrecht stehende Geraden als Achsen ein (Abb. 99). An der waagerechten, der *Zeitachse*, bringen wir in gleichen Abständen sogenannte *Zeitmarken* an; die senkrechte Achse versehen wir als *Temperaturachse* mit *Temperaturmarken*. Wir ordnen dabei immer einer halben Minute ein Zentimeter, einem Grad Celsius ein Millimeter zu. Die beobachteten Temperaturwerte kürzen wir auf volle Grad ab und tragen sie bei den zugehörigen Zeitmarken als Strecke senkrecht nach oben in Millimetern ab. Die Endpunkte markieren wir durch kleine Kreise. Wir ersehen, daß sie für jede der verwendeten Wassermengen nahezu auf einer Geraden liegen. Um dies hervorzuheben, legen wir durch jede Punktreihe eine Gerade, die den Temperaturanstieg für die betreffende Wassermenge veranschaulicht.
Erkläre die durch Beobachtungsfehler bedingten kleinen Abweichungen einiger Punkte des Schaubildes von der Geraden! Lassen sie sich vielleicht bei Wiederholungen des Versuches vermeiden?

Wir entnehmen aus der Tabelle und aus dem Schaubild folgende Zusammenhänge:

> In gleichen Zeiträumen steigt bei gleichmäßiger Wärmezufuhr die Temperatur einer bestimmten Wassermenge immer um den gleichen Betrag.
> Je größer die Wassermenge ist, desto geringer ist in gleichen Zeiträumen die Temperaturerhöhung, und desto länger muß die Wassermenge erwärmt werden, wenn man die gleiche Temperaturerhöhung erzielen will.

Wir können daraus schließen, daß für gleiche Temperatursteigerungen einer bestimmten Wassermenge immer die gleiche Wärmemenge erforderlich ist.
Diese Erkenntnis benutzen wir, um eine Einheit für die Wärme festzusetzen. *Wir betrachten als Wärmeeinheit die Wärmemenge, die 1 g Wasser aufnimmt, wenn seine Temperatur um 1° steigt.* Wir nennen diese Wärmemenge eine **Kalorie**[1] (abgekürzt cal).

> **Eine Kalorie (cal) ist die Wärmemenge, die man einem Gramm Wasser zuführen muß, damit seine Temperatur um ein Grad steigt.**

Für praktische Messungen hat man noch eine tausendmal so große Einheit eingeführt, die **Kilokalorie** (abgekürzt kcal). Eine Kilokalorie ist die Wärmemenge, die 1 kg Wasser aufnimmt, wenn seine Temperatur um 1° steigt.

$$1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal}.$$

Zum Erwärmen einer größeren Wassermenge ist eine entsprechend größere Wärmemenge erforderlich. Um z. B. 50 g Wasser um 1° zu erwärmen, müssen wir dem Wasser 50 cal zuführen. Wollen wir 50 g Wasser um 25° erwärmen, so brauchen wir $25 \cdot 50$ cal $= 1250$ cal.

---

[1] cálor (lat.) = Wärme.

3. Brennstoffe im Haushalt und in der Technik. Unser wichtigster Brennstoff ist die Kohle in ihren verschiedenen Erscheinungsformen. Ein erheblicher Teil davon wird im Haushalt zum Heizen, Kochen, Backen und Waschen verbraucht. Vor allem aber ist die gewaltige Entwicklung, die die Industrie in den letzten hundert Jahren genommen hat, in erster Linie durch die Verwendung der Kohle als Brennstoff ermöglicht worden. Mit Kohle werden die Kessel der Lokomotiven und Dampfschiffe geheizt. Kohlen verbrennen auf den Rosten der Dampfkessel, aus denen der Dampf zum Betriebe der Dampfmaschinen und Turbinen unserer Werke entnommen wird. Kohle ist unsere wichtigste Energiequelle. Die Kohle dient aber nicht nur als Brennstoff, sondern sie ist auch ein wichtiger chemischer Rohstoff, aus dem z. B. Düngemittel, Treibstoffe, Farbstoffe, Arzneimittel und viele andere chemische Produkte gewonnen werden. Kurzum, Kohle ist einer der wichtigsten Stoffe, der für jeden Aufbau und für jede industrielle Weiterentwicklung unentbehrlich ist. In der Deutschen Demokratischen Republik steht uns von Natur aus in erster Linie *Braunkohle* zur Verfügung. Auf Grund des Zweijahrplans sind die Braunkohlenförderung und die Briketterzeugung bis zum Jahre 1950 erheblich gesteigert worden. Der Fünfjahrplan sieht bis zum Jahre 1955 eine weitere Steigerung der Braunkohlenförderung um 55% und der Briketterzeugung um 49% vor. Dadurch wird die jährliche Produktion auf 205 Mill. Tonnen Braunkohle und 56 Mill. Tonnen Briketts gebracht werden. Die Braunkohle wird meist im Tagebau gewonnen (vgl. Abb. 100).

Abb. 100. Blick in eine mitteldeutsche Braunkohlengrube. Im Vordergrunde steht einer der gewaltigen Schwenkbagger, die die Kohle fördern und sie in bereitgestellte, elektrisch getriebene Kohlenzüge entladen. Im Hintergrund erblickt man das mächtige dunkle Kohlenflöz, das in drei Stufen abgebaut wird, und darüber das helle Deckgebirge, den Abraum.

Auch Holz wird als Brennstoff verwendet, insbesondere in waldreichen Gegenden. Außerdem ist es ein wichtiger Rohstoff für Papier, Zellstoff, Zellwolle.

Ein Brennstoff ist um so brauchbarer, je mehr Wärme er bei seiner Verbrennung entwickelt. So werden, wie Versuche gezeigt haben, beim Verbrennen von je 1 kg unserer üblichen Brennstoffe folgende Wärmemengen frei:

Brennstoff	*je 1 kg entwickelte Wärmemenge*
lufttrockenes Holz	etwa 3000 kcal
Rohbraunkohle	„ 2000 bis 3200 „
Braunkohlenbriketts	„ 4500 bis 5000 „
Steinkohle	„ 7300 bis 8000 „
Koks (aus Steinkohle)	„ 6800 bis 7200 „

Für die Verwendbarkeit eines Brennstoffes sind außerdem seine Reinheit, seine Neigung zu Schlacken- und Aschenbildung, sein Preis, die Transportmöglichkeiten und andere Einflüsse entscheidend.

Der elektrische Strom in der Kochplatte liefert uns mit jeder verbrauchten Kilowattstunde 860 kcal. Die Gasflamme erzeugt bei einem Gasverbrauch von 1 m³ eine Wärme von etwa 4000 kcal. Die elektrisch erzeugte Wärme und die in der Gasflamme freiwerdende Wärme sind im allgemeinen wesentlich teurer als die bei Verbrennung von Kohle gewonnene Wärme. Trotzdem bevorzugt man den Gasherd und den elektrischen Herd bzw. die elektrische Kochplatte, weil sich diese Einrichtungen durch ihre bequeme und saubere Handhabung auszeichnen und eine stärkere räumliche und zeitliche Zusammenfassung der Wärmewirkung gestatten.

Allgemein läßt sich die Frage nach dem billigsten Brennstoff nicht beantworten; sie kann immer nur im einzelnen Fall unter Berücksichtigung der örtlichen Umstände entschieden werden.

4. Versuche, Fragen, Aufgaben

1. Wiederhole den auf Seite 76 beschriebenen Versuch, indem du 500 g Wasser auf einer elektrischen Kochplatte erwärmst und in Abständen von je einer halben Minute die Temperatur mißt! Stelle eine Tabelle auf und fertige ein Schaubild an!
2. Fülle in ein großes Becherglas 500 g kaltes, in ein zweites Glas 500 g warmes Wasser und miß in dieser Reihenfolge beide Temperaturen! Gieße sofort danach das warme in das kalte Wasser und miß die Mischungstemperatur! Was stellst du fest?
3. Zur Erwärmung von 1 kg Eisen um 1° braucht man 0,1 kcal. Um wieviel Grad steigt die Temperatur eines Kilogrammes Eisen, wenn man ihm dieselbe Wärmemenge zuführt, die 1 kg Wasser um 1° erwärmt?

4. 1 g Wasser nimmt beim Erwärmen um 1° die Wärmemenge von 1 cal auf. Welche Wärmemenge gibt es ab, wenn seine Temperatur um 1° sinkt?
5. Welche Wärmemenge braucht man, um 1 kg Wasser um 4° zu erwärmen?
6. Wieviel kcal sind nötig, um 5 kg Wasser von 15° C auf 20° C zu erwärmen?
7. Wieviel kcal werden verbraucht, um 100 kg Wasser von 22° C gerade zum Sieden zu bringen?
8. Um wieviel Grad steigt die Temperatur von 8 kg Wasser, denen 56 kcal zugeführt werden?
9. Einer Wassermenge von 45 kg und 38° C werden 90 kcal zugeführt. Auf wieviel Grad steigt die Temperatur?

§ 17. Schmelzen und Erstarren

1. Das Schmelzen — Zustandsformen der Körper. An einem kalten Wintertag nehmen wir einen Eiszapfen mit nach Hause. Wir legen ihn auf einen Teller; er fängt an zu schmelzen; der Teller ist bald voll Wasser. Beim Schmelzen verwandelt sich das Eis in Wasser. Eis und Wasser bestehen aus dem gleichen Stoff. Sie unterscheiden sich aber in ihren *Zustandsformen*, ihren *Aggregatzuständen* (vgl. § 3).

Eis ist die feste Zustandsform des Wassers.

Erwärmt man Fett, das bei Zimmertemperatur fest ist, in einer Pfanne, so *schmilzt* es. Läßt man es abkühlen, so wird das Fett wieder fest. Man sagt, es *erstarrt*. Dasselbe können wir am Stearin, Wachs, Siegellack und anderen Stoffen beobachten.
Durch Erwärmen werden die meisten festen Körper flüssig. Beim Abkühlen erstarren sie wieder.

Schmelzen ist der Übergang aus dem festen in den flüssigen, Erstarren der Übergang aus dem flüssigen in den festen Aggregatzustand.

Auch *Schnee* ist nichts anderes als festes Wasser. Betrachten wir Schneekristalle durch eine Lupe oder besser durch ein Mikroskop, so erblicken wir sehr regelmäßig gebaute Kristalle von der Gestalt sechsstrahliger Sterne, von denen in Abb. 101 a bis d einige wiedergegeben sind. Man hat etwa 2000 verschiedene Formen von Schneekristallen festgestellt.
Wir bringen ein Glas voll Schnee ins warme Zimmer. Der Schnee beginnt zu schmelzen. Mittels eines eingetauchten Thermometers beobachten wir seine Temperatur, wobei wir öfters umrühren. Das Thermometer zeigt so lange 0° C an, bis der gesamte Schnee geschmolzen ist. Dann steigt die Temperatur. Der Schmelzpunkt des Eises liegt, wie es bei der Herstellung der Thermometerskala festgelegt wurde, bei 0° C. Während des Schmelzens

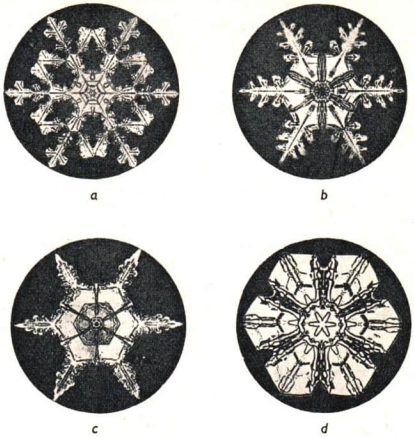


Abb. 101. Mikroskopische Aufnahmen von Schneekristallen. Allen Kristallen gemeinsam ist die sechsstrahlige, symmetrische Anordnung. In Einzelheiten können sie sehr verschiedenartig sein.
Die Kristalle *a*, *b*, *c* zeigen eine deutlich ausgeprägte Sternform. Der Kristall *d* ist von plattenförmiger Gestalt. Ansätze dazu sind auch schon in *b* und *c* zu erkennen.

bleibt die Temperatur unverändert. Die Temperatur, bei der Schnee und Eis schmelzen, wird der **Schmelzpunkt** des Eises genannt. Bei derselben Temperatur gefriert umgekehrt das Wasser, wenn ihm Wärme entzogen wird; sie heißt deswegen auch der **Gefrierpunkt** des Wassers (vgl. § 11, 2).

Von den Gebrauchsmetallen haben Blei und Zinn im Vergleich zu den anderen Metallen verhältnismäßig niedrige Schmelzpunkte (vgl. Tabelle auf S. 82). Kühlt sich geschmolzenes Blei wieder ab, so erstarrt es bei der gleichen Temperatur, bei der es geschmolzen ist. Das gilt im allgemeinen für jeden festen Körper von einheitlicher Zusammensetzung.

Bei sehr hohen Temperaturen schmelzen auch Körper, die man in flüssigem Zustand nur selten zu sehen bekommt. So wird z. B. bei der Glasbereitung Sand zusammen mit Kalkstein und Soda geschmolzen. Die Vulkanausbrüche zeigen, daß in den tieferen Schichten der Erde flüssige Gesteine vorhanden sind.

Erhitzt man ein Stück Papier im Probierröhrchen, so verändert es sich stofflich, ohne zu schmelzen. Das trifft für die meisten tierischen oder pflanzlichen Stoffe und für die aus ihnen hergestellten Erzeugnisse zu, z. B. für Holz, Pappe, Papier, Leder. Sie „verkohlen" beim Erhitzen.

Nenne Körper, die du im festen und flüssigen Zustand kennst, und solche, die sich nicht schmelzen lassen, weil sie sich vorher zersetzen!

Schmelzpunkte bzw. Erstarrungspunkte einiger Stoffe in ° C:

Wolfram	3380	Silber	961	Zinn	232
Platin	1773	Messing	etwa 900	Schwefel	119
Eisen (rein)	1537	Aluminium	659	Eis	0
Kupfer	1083	Zink	419	Quecksilber	−39
Gold	1063	Blei	327	Alkohol	−114

Lötzinn (Legierung aus Blei und Zinn) schmilzt bereits bei 180° C. Legierungen haben meist einen tieferen Schmelzpunkt als ihre Bestandteile. Lösungen, d. h. Flüssigkeiten, in denen andere Stoffe gelöst sind (Kochsalzlösung), haben tiefere Erstarrungspunkte als die reinen Flüssigkeiten. Denke an das Streuen von Viehsalz im Winter! Seewasser gefriert nicht bei 0° C, sondern erst bei −2,5° C.

2. Raumveränderung beim Schmelzen bzw. beim Erstarren. Die meisten Stoffe nehmen im festen Zustande einen kleineren Raum ein als im flüssigen. So zieht sich geschmolzenes Eisen beim Erstarren zusammen, ein Umstand, der in Eisengießereien beim Herstellen der Formen berücksichtigt werden muß. Auch an geschmolzenem Stearin oder Paraffin kann man ein Schrumpfen beobachten, wenn man ein paar Kerzenreste in einer Blechschachtel schmilzt und dann erstarren läßt. Die Oberfläche des erstarrten Paraffins ist etwas nach innen gewölbt. Wasser dagegen zeigt gerade das umgekehrte Verhalten.

Wir füllen ein Tablettenröhrchen oder eine kleine Flasche mit Wasser und verschließen sie so, daß sich keine Luft mehr im Gefäß befindet. Der Verschlußstopfen wird fest mit dem Röhrchen bzw. der Flasche verbunden, so daß er nicht herausgetrieben werden kann. Die so vorbereiteten kleinen Glasbehälter legen wir an einem kalten Wintertage ins Freie oder wir stecken sie in ein Gefäß mit Schnee, dem etwas Kochsalz beigemischt ist (*Kühlmischung*). Nehmen wir sie nach einiger Zeit heraus, so beobachten wir, daß das Glas gesprungen ist. Hieraus müssen wir schließen, daß sich das Wasser beim Gefrieren ausdehnt. Das Wasser verhält sich anders als andere Flüssigkeiten, die sich auch beim Erstarren noch zusammenziehen.

Wir füllen ein Reagenzglas 10 cm hoch mit eiskaltem Wasser und markieren genau den Stand der Wassersäule. Dann tauchen wir das Gläschen in eine Kühlmischung, lassen aber die Öffnung herausragen. Nach einiger Zeit, wenn alles Wasser im Reagenzglas zu Eis erstarrt ist, nehmen wir das Glas wieder heraus. Die entstandene Eissäule ist ungefähr 11 cm lang.

Wasser von 0° C dehnt sich beim Gefrieren etwa um ein Zehntel seines Rauminhaltes aus.

Da das Eis infolge der beim Gefrieren eintretenden Raumerweiterung leichter ist als Wasser, schwimmt es auf diesem. – Auf der Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren beruht die Sprengwirkung des Eises. Sie spielt

in der Natur eine wichtige Rolle. In die Spalten der Gesteine sickert Wasser, im Winter gefriert es dort und treibt die Felsen auseinander; darauf ist in erster Linie die Verwitterung der Felsen und Gesteine zurückzuführen.

Durch die gleiche Ursache wird der Ackerboden im Winter aufgelockert. Deshalb eggt man im Herbst die geackerten Felder nicht. — Die Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren führt bei Wasserleitungen unter Umständen zu erheblichen Schäden, wenn sie unsachgemäß, z. B. an der Außenwand des Hauses, verlegt werden.

3. Die Schmelzwärme. Wir umwickeln ein Becherglas mit mehreren Lagen Zeitungspapier, um dadurch die Wärmeaufnahme von außen möglichst zu verhindern und füllen das Glas mit Wasser von Zimmertemperatur. In das Wasser werfen wir einige Eisstückchen. Nach gründlichem Umrühren sinkt die Temperatur schnell bis nahe 0° C. Nachdem wir noch einige Eisstückchen hinzugegeben haben, lassen wir das Gefäß längere Zeit im warmen Zimmer stehen und beobachten die Temperatur bei ständigem Umrühren. Sie bleibt bei 0° C stehen, bis das letzte Stückchen Eis geschmolzen ist. Dieser Versuch zeigt uns, daß zunächst eine bestimmte Wärmemenge erforderlich ist, um das Eis zu schmelzen. Erst wenn alles Eis geschmolzen ist, führt die weitere Zufuhr von Wärme zu einer Temperaturerhöhung. Auch im Schmelzen des Eises und anderer fester Körper haben wir wieder eine Arbeit zu sehen, die die vom Eis aufgenommene Wärmemenge verrichtet.

Die ausschließlich beim Schmelzen verbrauchte Wärme wird **Schmelzwärme** genannt. Sofern sie zahlenmäßig angegeben wird, wird sie auf 1 kg des festen Stoffes bezogen.

Die Schmelzwärme des Eises beträgt 80 Kilokalorien je Kilogramm.

Das ist eine beträchtliche Wärmemenge, mit der man 1 kg Wasser von Zimmertemperatur (20° C) bis zum Sieden erhitzen kann. Wenn umgekehrt eine Flüssigkeit erstarrt, gibt sie die gleiche Anzahl von Wärmeeinheiten an die Umgebung ab. Deshalb wird z. B. strenger Frost in der Umgebung großer gefrierender Gewässer etwas gemildert, weil durch das Gefrieren des Wassers Wärme frei wird. Umgekehrt wird beim Übergang vom Winter zum Frühling ein großer Teil der Sonnenwärme zum Schmelzen von Eis und Schnee verbraucht.

Bringt man Eis oder Schnee durch Mischen mit Salz zum Schmelzen, so kühlt sich die Lösung bis weit unter 0° C ab. Stellt man eine Kühlmischung aus drei Gewichtsteilen Eis und einem Gewichtsteil Salz her, so kann man mit ihr Flüssigkeiten, deren Erstarrungspunkt bei ungefähr 0° C liegt, leicht zum Gefrieren bringen, indem man sie in einem Reagenzglas in die Kühlmischung taucht. Auf diese Weise wird z. B. Speiseeis hergestellt. Schnee und Eis schmelzen durch warmen Regen bedeutend schneller als durch die Strahlen der Sonne. Erkläre die Kühlwirkung des schmelzenden Eises in einem Eisschrank durch die Schmelzwärme!

4. Versuche, Fragen, Aufgaben

1. Schütte in ein Glas mit Wasser von Zimmertemperatur einen Eßlöffel Salz und beobachte dabei die Temperatur! Was stellst du fest? Man ersieht aus dem Versuch, daß beim Auflösen eines Stoffes in Wasser ein ähnlicher Wärmeverbrauch stattfindet, wie beim Schmelzen. — Erkläre in diesem Zusammenhang die Wirkung einer Kühlmischung!
2. Aus welchem Grunde bestreut man die Weichen der Straßenbahnschienen bei starken Schneefällen mit Salz?
3. Fülle eine kleine Flasche bis zum Rand mit Wasser! Verschließe sie so, daß keine Luftblase unter dem Korken entsteht, und verbinde den Korken fest mit dem Flaschenhals! Stelle die Flasche in einer Frostnacht ins Freie!
4. Warum wird ein Eisenbahnabteil abgekühlt, wenn es von vielen Reisenden betreten wird, die Schnee an den Schuhen haben?
5. Wie kommt es, daß sich schadhafter Putz im Winter viel leichter von der Hauswand löst als im Sommer?
6. Warum genügt an strengen Wintertagen das Absperren der Hauswasserleitung in der Nacht nicht, um Frostschäden zu verhüten, wenn die Leitungsrohre nicht gleichzeitig entleert werden? Begründe, warum Wasserleitungsrohre im Freien mindestens 80 cm unter der Erdoberfläche verlegt werden müssen!
7. Welche Wärmemenge ist erforderlich, um a) 1 kg Eis, b) 5 kg Eis von 0° C in Wasser von 15° C zu verwandeln?
8. Eine Eismaschine erzeugt 1500 kg Eis. Wieviel Kalorien mußte sie dem Wasser beim Gefrieren entziehen?
9. Ein Eisblock von 3,4 kg soll geschmolzen werden. Welche Wärmemenge muß ihm dabei zugeführt werden?

§ 18. Verdampfen und Kondensieren

1. Der Siedevorgang. Um die Vorgänge beim Sieden genau verfolgen zu können, erwärmen wir in einem Kochkolben Wasser, dem einige Sägespäne beigemengt sind. Die Kochflasche verschließen wir mit einem doppelt durchbohrten Stopfen, durch dessen eine Öffnung wir ein bis zur Wasseroberfläche reichendes Thermometer einführen. Durch die andere Öffnung stecken wir ein rechtwinklig gebogenes Glasrohr von nicht zu engem lichten Durchmesser (Abb. 102a). Wir können der Reihe nach folgende Erscheinungen wahrnehmen:

1. Die kalte Außenwand der Kochflasche *beschlägt*, wenn wir zum Erhitzen eine Gas- oder eine Spiritusflamme benutzen. Beim Verbrennen des Leuchtgases oder des Spiritus entsteht Wasserdampf, der sich an der kalten Außenwand des Gefäßes wieder zu Wasser verdichtet. Beim Erwärmen auf einem Herd oder auf einer elektrischen Kochplatte ist dieser Vorgang nicht zu beobachten.

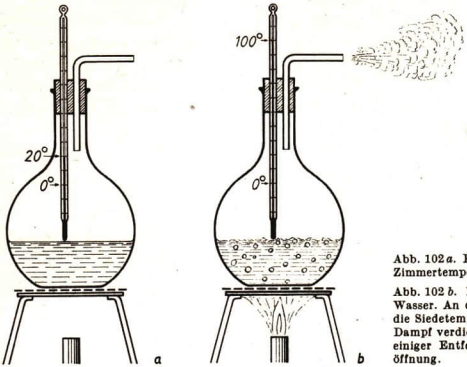


Abb. 102*a*. Kolben mit Wasser von Zimmertemperatur

Abb. 102 *b*. Kolben mit siedendem Wasser. An dem Thermometer wird die Siedetemperatur abgelesen. Der Dampf verdichtet sich im Freien in einiger Entfernung vor der Rohröffnung.

2. Die Temperatur des Wassers steigt gleichmäßig an. Das Wasser im Kolben gerät in *strömende Bewegung*. Man erkennt dies an den Sägespänen, die im Wasser zu kreisen beginnen.
3. An der Innenwand des Kolbens bilden sich *kleine Bläschen*. Sie lösen sich leicht von der Wand und steigen an die Oberfläche empor. Bei etwa 60° C hört die Bläschenbildung auf. Daraus ist zu schließen, daß es sich um ein Gas handelt, das im Wasser gelöst ist und sich beim Erwärmen ausscheidet. Man hat nachgewiesen, daß es *Luft* ist. In frischem Wasser ist immer Luft aufgelöst, die beim Erwärmen des Wassers in Form von Bläschen sichtbar wird.
4. Bei weiterer Erwärmung bilden sich am Boden des Kolbens *Dampfblasen*. Beim Hochsteigen verschwinden sie aber wieder und erreichen nicht die Oberfläche, weil sich in den kälteren Wasserschichten der Wasserdampf wieder zu Wasser verdichtet. Das geschieht etwa zwischen 80° C und 90° C bis 95° C. Der Vorgang ist von einem *singenden Geräusch* begleitet, das deutlich zu hören ist.
5. Bei noch höherer Temperatur hört das „Singen" auf. Es tritt jetzt eine Dampfbildung im Innern der Flüssigkeit ein, bei der *alle Dampfblasen bis zur Oberfläche* steigen. Das Wasser brodelt; es *siedet*. Aus dem seitwärts gebogenen Rohr entweicht Wasserdampf. Das geschieht bei 100° C (Abb. 102b). Doch beachte Abschnitt 2 auf Seite 86!
6. Bringt man Wasser in einem Becherglas zum Sieden und legt einen kleinen Deckel darauf, so kann man beobachten, wie ihn der Dampf anhebt. Man hört das Klappern des Deckels. *Der Wasserdampf hat eine bedeutende Spannkraft*. Er kann einen Kochtopfdeckel heben und kann sogar geschlossene Gefäße sprengen, wenn ihm kein Ausweg geschaffen wird.

7. Ein trockener Deckel, den man in drei bis fünf Zentimeter Entfernung über das siedende Wasser hält, *beschlägt*. Durch den kalten Deckel wird dem Wasserdampf Wärme entzogen. Der Wasserdampf verdichtet sich wieder zu Wasser, das in kleinen Tröpfchen am Deckel sichtbar wird.

Die Luft enthält immer Wasserdampf. Kühlt sie sich ab, so kondensiert dieser, und es kommt zur Wolkenbildung.

Auch der Nebel ist kein „Wasserdampf" mehr. Er besteht aus fein verteilten Wassertröpfchen, die in der Luft schweben. Sie sind so klein, daß sie nicht wie andere Körper ohne weiteres zu Boden sinken.

Wasserdampf selbst ist unsichtbar.

Wenn bei unserem Versuch das Wasser im Kolben siedet, so bleibt der Dampfraum oberhalb des siedenden Wassers vollkommen klar durchsichtig. Die entweichende „Dampf"-Wolke ist erst ein Stückchen vor der Öffnung sichtbar (vergl. Abb. 102b).

Als Verdampfen bezeichnet man den Übergang einer Flüssigkeit in den gasförmigen Zustand infolge Wärmezufuhr. Sofern sich der Vorgang nicht nur an der Oberfläche, sondern auch im Innern der Flüssigkeit abspielt, nennt man ihn Sieden.

Unter Kondensieren versteht man die Verflüssigung des Dampfes durch Wärmeentzug.

2. Siedepunkte einiger Stoffe. Gießt man ein wenig Spiritus (Alkohol) in ein Probiergläschen und hält es in siedendes Wasser, so beginnt der Spiritus bald zu sieden. Taucht man ein Thermometer ein, so zeigt es annähernd eine Temperatur von 78° C. Die verschiedenen Flüssigkeiten haben verschiedene **Siedepunkte.** Wasser siedet bei 100° C, Spiritus (Alkohol) bei 78° C und Äther bei 35° C. Fette kann man weit über 100° C erhitzen, ohne daß sie zu sieden anfangen. So siedet Leinöl erst bei 316° C. Wir werden später sehen, daß diese Angaben nur mit einer gewissen Einschränkung gelten, da der Siedevorgang vom Luftdruck abhängig ist. Doch wollen wir uns die genannten Zahlen vorläufig als Siedepunkte merken. Wegen des hohen Siedepunktes des Fettes werden Fleisch und andere Nahrungsmittel beim Braten in Fett in kürzerer Zeit weich als beim Kochen im Wasser.

3. Verdampfungswärme. Wir erhitzen das im Becherglas siedende Wasser weiter und beobachten das Thermometer. Dabei stellen wir fest, daß die Temperatur trotz fortgesetzter Wärmezufuhr während des Siedens nicht weiter ansteigt, auch wenn ein beträchtlicher Teil des Wassers verdampft. Die nach dem Siedebeginn dem Wasser zugeführte Wärmemenge wird benötigt, um das Wasser in Dampf zu verwandeln. Denn auch das Verdampfen des Wassers ist wie das Schmelzen eine Arbeit, die die vom Wasser aufgenommene Wärmemenge verrichten muß.

Man nennt diese ausschließlich zur Aufrechterhaltung des Siedevorganges verbrauchte Wärmemenge **Verdampfungswärme.** Sofern sie zahlenmäßig ange-

geben wird, bezieht man sie wie die Schmelzwärme auf 1 kg der zu verdampfenden Flüssigkeit.

Die Verdampfungswärme des Wassers beträgt 539 Kilokalorien je Kilogramm.

Diese Wärmemenge reicht aus, um fast 7 l Wasser von Zimmertemperatur (20° C) bis zum Sieden zu erhitzen.
Man kann beim Kochen viel Brennstoff sparen, wenn man beachtet, daß es zum Garkochen nur notwendig ist, die Speise eine gewisse Zeit auf 100° C zu halten. Stelle deshalb beim Kochen auf Gas, sobald die Flüssigkeit im Kochtopf zu sieden beginnt, die Flamme so klein, daß die von ihr abgegebene Wärme gerade ausreicht, um eintretende Wärmeverluste zu ersetzen. Warum wärmt man Speisen, die leicht anbrennen, in einem zweiten Topf mit Wasser („Kochen im Wasserbad")? Wie wird Leim gewärmt?

4. Verdunsten. Wir wissen aus Erfahrung, daß nach einem Regen, insbesondere wenn die Sonne wieder herauskommt, von den Pfützen auf den Wegen bald nichts mehr zu sehen ist. Auch auf dem Pflaster, wo das Wasser nicht in den Boden einsickern kann, trocknet es wieder auf. Wo bleibt das Wasser?
Es ist selbstverständlich, daß es nicht verschwinden kann. *In der Natur kann überhaupt nichts verschwinden.* Das Wasser *verdunstet*, d. h. es verwandelt sich in Dampf.
Den Wasserdampf kann man, wie wir bereits beim Sieden feststellten, in der Luft nicht sehen. Erst bei der Abkühlung schlägt er sich in Form von Wassertröpfchen nieder.
Wir legen ein Stück gut durchfeuchtetes Löschpapier unter ein umgekehrtes, möglichst kühles Trinkglas. An den Wänden des Glases bilden sich nach einiger Zeit Wassertröpfchen wie im Winter an den kalten Fensterscheiben. Haucht man an eine Fensterscheibe, so sieht man, wie sich der ausgeatmete Wasserdampf an der kühlen Scheibe verflüssigt, und wie die Feuchtigkeit nach einiger Zeit wieder verdunstet. Im Gegensatz zum Sieden, bei dem der Dampf überall in der Flüssigkeit entsteht (Blasenbildung), erfolgt das Verdunsten *unterhalb des Siedepunktes* und zwar *nur an der Oberfläche.*

Verdunsten heißt der Übergang einer Flüssigkeit in den gasförmigen Zustand an ihrer Oberfläche. Die Verdunstung findet bei jeder Temperatur unterhalb des Siedepunktes statt.

Rascher als Wasser verdunstet Äther, denn schon die Zimmertemperatur ist dem Siedepunkt des Äthers wesentlich näher als dem des Wassers. Gießen wir etwas Äther auf eine flache Schale, ein Uhrglas, so können wir wahrnehmen, wie die Flüssigkeit an Umfang rasch abnimmt; sie verdunstet. Blicken wir von der Seite darauf, so können wir sehen, wie der Ätherdampf über den Rand des Uhrschälchens quillt. (Vorsicht! Keine Flamme in der Nähe!) Nach einiger Zeit riechen wir den Ätherdampf im ganzen Zimmer. — Tränke je einen Streifen Fließpapier mit Wasser, Petroleum, Spiritus, Benzin

und Äther! Drücke sie nebeneinander an die Fensterscheibe und stelle fest, in welcher Reihenfolge die Streifen herabfallen!

Die Flüssigkeiten verdunsten verschieden schnell.

Im Garten oder auf dem Hof wird Wäsche zum Trocknen aufgehängt. Die Wäsche besteht aus gewebten Stoffen, in deren Poren beim Waschen viel Wasser eindringt. Das Wäschetrocknen beruht auf dem Verdunsten des Wassers. Wie die Erfahrung lehrt, wird die Verdunstung beschleunigt durch die Vergrößerung der Oberfläche (Auseinanderhängen der Wäsche), durch Erwärmen (Sonne) und durch das Beseitigen des Wasserdampfes aus der Nähe des Wäschestückes (Wind). Wäsche trocknet auch bei Frostwetter.

Wasser verdunstet um so schneller, je höher seine Temperatur, je größer seine Oberfläche, je trockener die Luft ist, und je schneller der Dampf fortgeführt wird.

Ähnlich verhalten sich alle anderen Flüssigkeiten.

Bei welchem Wetter trocknet die Wäsche besonders schnell? Warum werden die Fenster des Wäschebodens beim Trocknen der Wäsche geöffnet?

Nenne weitere Beispiele aus deiner Erfahrung! Denke an das Ausbreiten des Grases bei der Heuernte, an das Trocknen der Anstrichfarben!

Lassen wir auf der Hand etwas Spiritus verdunsten, so nehmen wir ein Kältegefühl wahr, das noch stärker wird, wenn wir das Verdunsten durch Gegenblasen beschleunigen. — Wenn wir das Bad verlassen, so fröstelt es uns leicht, besonders beim Baden im Freien bei windigem Wetter. — Wir hängen nebeneinander zwei Thermometer mit freiliegenden Quecksilberbehältern auf, von denen wir den einen mit einem dünnen, angefeuchteten Lappen umwickeln. Nach kurzer Zeit zeigt das so hergerichtete Thermometer eine um einige Grad tiefere Temperatur als das trockene.

Schnell verdunstende Flüssigkeiten (z.B. Äther) können eine recht erhebliche Abkühlung der Umgebung, sogar bis unter den Gefrierpunkt des Wassers bewirken. In den Raum zwischen zwei ineinandergesteckten kurzen Reagenzgläsern bringen wir etwas Wasser und in das innere Glas Äther (Abb. 103). Wird der Äther durch Hindurchblasen von Luft (Blasebalg!) zum schnellen Verdunsten gebracht, so gefriert das Wasser zwischen den Gläsern.

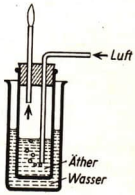


Abb. 103. Schnell verdunstender Äther kühlt das Wasser im Mantelgefäß bis zur Eisbildung ab. Der entweichende Ätherdampf wird entzündet.

Eismaschinen und Kühlschränke nutzen den Wärmeverbrauch bestimmter Flüssigkeiten beim Verdunsten zur künstlichen Erzeugung von Eis und zur Kühlhaltung von Lebensmitteln aus (Abb. 104). Ausreichende *Kühlanlagen* sind für die Frischerhaltung von Lebensmitteln von großer Bedeutung. Sie spielen in der Wirtschaftsplanung bei der Versorgung der Bevölkerung mit leicht verderblichen Lebensmitteln eine große Rolle.

Abb. 104. Teilansicht eines Kühlschrankes in einer Konsum-Verkaufsstelle. Im Kühlraum sind oben rechts die Kühlrippen der Kühlschlangen sichtbar. Diese werden von Dämpfen sehr tiefer Temperatur durchströmt.

In mechanisch arbeitenden *Kühlanlagen* werden leicht verdunstende Flüssigkeiten mittels einer Pumpe in einem Röhrensystem in Umlauf gehalten. Beim Eintritt in die im Kühlraum liegenden Röhren verdunstet die Flüssigkeit in diesen und verwandelt sich in Dämpfe sehr niedriger Temperatur, die nun kühlend wirken. Nach dem Durchströmen der Kühlröhren werden sie von der Pumpe wieder angesaugt und erneut verdichtet.

5. Versuche und Fragen

1. Gieße 1 cm^3 Wasser auf Löschpapier und die gleiche Menge in ein Reagenzglas! Lege bzw. stelle beides in die Sonne und beobachte die Verschiedenheit der Verdunstung!
2. Laß aus einer mit Wasser gefüllten Tropfflasche auf zwei Untertassen die gleiche Anzahl von Tropfen fallen! Stelle die eine auf den warmen Ofen bzw. in die Wärmeröhre, die andere auf den Tisch und beobachte den Unterschied im Ablauf der Verdunstung!

3. Befeuchte drei gleichgroße Stücke Löschpapier von der Größe 4×4 cm mit Wasser und lege sie auf drei Untertassen! Die eine bedecke mit einem umgestülpten Trinkglas, die zweite laß offen stehen, über die dritte blase einen kräftigen Luftstrom! Was kannst du feststellen?
4. Warum ist es zweckmäßig, Brot in geschlossenen Behältern aufzubewahren?
5. Warum hängt man Wäschestücke, die man schnell trocknen will, in die Nähe des warmen Ofens?
6. Wie kommt es, daß die Fensterscheiben eines bewohnten Zimmers, aber auch eines Eisenbahn- oder Straßenbahnwagens im Winter leicht beschlagen?
7. Warum ist die Feststellung, daß eine Lokomotive „Dampfwolken" ausstößt, nicht richtig?
8. Warum ist es vorteilhaft, Kochtöpfe beim Kochen mit einem Deckel zuzudecken?
9. In einer chemischen Fabrik werden stündlich 3200 kg Wasserdampf verbraucht. Wieviel kcal sind zu seiner Erzeugung erforderlich?
10. Ein kleiner Tauchsieder von 250 Watt gibt in der Minute etwa 3,5 kcal ab. In welcher Zeit bringt er 0,5 kg Wasser von Zimmertemperatur (20° C) zum Sieden?

III. Vom Schall (Akustik[1])

Abb. 105. Blockflötengruppe im Zentralhaus der Jungen Pioniere in Berlin

Ein verhältnismäßig leicht zu handhabendes Musikinstrument ist die Blockflöte. Sie wird deshalb in Schulen und in Gruppen der Jungen Pioniere gern gespielt. Abb. 105 zeigt uns (von links nach rechts) vier verschiedene Ausführungsformen als Sopran-, Alt-, Baß- und Tenorflöte. Die Flöte wird durch Anblasen zum Tönen gebracht; aus § 20, 3 entnehmen wir Näheres darüber. Der Schall bildet die Grundlage für die Musik und die Sprache, dem wichtigsten Verständigungsmittel der Menschen. In physikalischer Hinsicht sind Schallerscheinungen aufs engste mit dem Begriff der Schwingungen und Wellen verbunden.

---

akoúein (griech.) = hören.

§ 19. Entstehung und Ausbreitung des Schalles

1. Schallausbreitung. a) Schallquellen. Alles, was wir mit dem Ohr wahrnehmen, bezeichnen wir als **Schall.**

Unsere Sprache ist reich an Ausdrücken für die verschiedenen Gehöreindrücke: wir sprechen vom *Tönen* eines Musikinstrumentes, vom *Rascheln* der Blätter, vom *Heulen* des Sturmes, vom *Rollen* des Donners, vom *Plätschern* des Wassers, vom *Klirren* der Fensterscheiben, vom *Knallen* einer Peitsche. Gib weitere Beispiele an!

Wir können einen Schall nur bei Vorhandensein eines Schallerregers — einer Schallquelle — wahrnehmen.

Man unterscheidet Schallquellen, die *Töne, Geräusche* und *Knalle* erzeugen. Gib für jede Gruppe Beispiele an!

Wie ein Ton zustande kommt, ersehen wir an folgenden Beispielen: Die auf dem Tische liegende Stimmgabel hören wir nicht tönen. Wir müssen sie anschlagen, wenn wir einen Ton wahrnehmen wollen. Betasten wir die Zinken der tönenden Stimmgabel vorsichtig mit den Fingerspitzen oder halten wir sie behutsam gegen die Lippen, so verspüren wir deutlich ein Zittern, ein *Schwingen* der Stimmgabelzinken. Unsere Wahrnehmung wird bestätigt, wenn wir die tönende Stimmgabel mit ihren Zinken vorsichtig gegen eine Fensterscheibe halten.

Wir hören eine Stimmgabel nur dann tönen, wenn ihre Zinken schwingen. Näheres darüber wird uns § 20, 1 lehren.

Ganz ähnliche Vorgänge spielen sich beim Klingen einer Geigensaite ab, beim Tönen einer Glocke, aber auch beim Klirren einer Fensterscheibe, beim Klappern eines Schlüsselbundes.

Ein Schall kann nur bei genügend schnellen Schwingungen eines Schallerregers wahrgenommen werden.

b) Schalleitung. Damit wir die Schwingungen des Schallerregers als Schall empfinden können, müssen sie auf unser Ohr übertragen werden. Gewöhnlich geschieht dies durch die *Luft.* Aber *auch in Flüssigkeiten und in festen Körpern breitet sich der Schall aus.*

Schlägt man unter Wasser zwei Steine aneinander, so hört man den Schall im Wasser und in der Luft. — Halte ein Ohr an die Tischplatte, auf der eine tickende Uhr so weit entfernt liegt, daß das Ticken durch die Luft nicht mehr wahrgenommen wird, und schließe das andere Ohr! Du hörst wieder deutlich das Ticken. — Wir hängen eine elektrische Klingel an Gummischnüren in einer Glasglocke auf, die an eine Luftpumpe an-

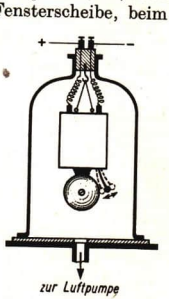


Abb. 106. Elektrische Klingel im luftleeren Raum. Die Luft wird mit einer Luftpumpe herausgesaugt. Das Klingeln ist dann nur noch schwach zu hören.

geschlossen ist (Abb. 106). Den Ton der Klingel hören wir durch das Glas; pumpen wir Luft aus der Glocke heraus, so wird der Klang immer leiser.

Durch den luftleeren Raum breitet sich der Schall nicht aus. Zur Schallübertragung ist stets ein fester, flüssiger oder gasförmiger Körper erforderlich.

c) Schallwellen. Um uns den Vorgang der Schallausbreitung zu veranschaulichen, stellen wir eine Reihe von Dominosteinen hintereinander auf. Werfen wir den ersten um, so stößt er den folgenden und dieser wieder den nächsten um; der Stoß pflanzt sich durch die ganze Reihe hindurch fort. — Hält man die Zinken einer angeschlagenen Stimmgabel gegen eine an einem Faden befestigte Glasperle, so schleudern sie die Perle fort (Abb. 107). In gleicher Weise werden die die Stimmgabel umgebenden Luftteilchen durch die Zinken beiseite gestoßen. Nicht anders ist es bei einer tönenden Glocke, die mit ihren Schwingungen die benachbarten ruhenden Luftteilchen trifft und sie zusammenschiebt, sie verdichtet. Da die Luft, wie alle Gase, *druckelastisch* ist, entspannt sie sich selbsttätig wieder; es tritt sogar an die Stelle des Überdruckes vorübergehend ein Unterdruck. Es kommt abwechselnd zu *Luftverdichtungen* und *Luftverdünnungen*, die die Schallquelle kugelförmig umgeben. Sie bleiben nicht auf die nächste Umgebung der Schallquelle beschränkt, sondern übertragen sich auf den übrigen Luftraum und breiten sich wellenartig nach allen Richtungen in der Luft aus. Es entstehen die sogenannten **Schallwellen.** Sie sind an sich nicht sichtbar; in Abb. 108 sind die Schallwellen, die sich um eine tönende Glocke ausbreiten, durch helle und dunkle Kreise bildlich dargestellt. Wir können sie mit *Wasserwellen* vergleichen, die im ruhenden Wasser entstehen, wenn wir einen Stein hineinwerfen (Abb. 109).

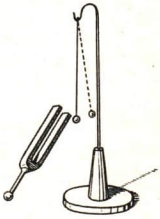


Abb. 107. Die schwingende Stimmgabel stößt eine Glasperle fort.

Beide Bilder 108 und 109 sind

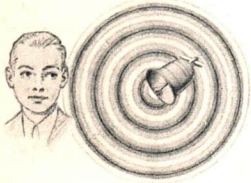


Abb. 108. Ausbreitung des Schalles in kugelförmigen Wellen. Die dunklen Kreise stellen Gebiete der Luftverdichtung, die hellen Gebiete der Luftverdünnung dar. Ihre Durchmesser nehmen von innen nach außen ständig zu.

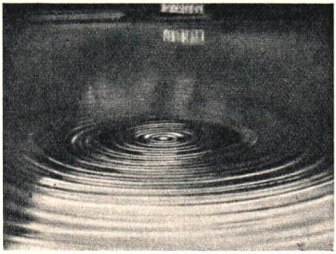


Abb. 109. Ausbreitung von Wasserwellen. Die Wellen bestehen aus einander abwechselnd folgenden Wellenbergen und Wellentälern.

Augenblicksbilder der Wellen und halten diese in einem bestimmten Bewegungszustand fest. In Wirklichkeit sind die Wellen nicht starr, wie sie im Bild erscheinen. Es quellen aus dem Wellenzentrum immer neue Wellen hervor und schieben gewissermaßen die schon vorhandenen vor sich her.

d) Schalldämpfung. Gib Fälle an, in denen man versucht, die Fortleitung des Schalles zu verhindern! Denke an das Sprechzimmer eines Arztes! Unter Nähmaschinen und Schreibmaschinen legt man Filzplatten, um das Maschinengeräusch zu vermindern. Manche Stoffe, z. B. Teppiche, Vorhänge, Filz, Federn, Stroh, Werg, sind *schalldämpfend*; sie heißen deswegen auch *Schalldämpfer*. Wenn man beispielsweise unter einem Federbett laut schreit, wird man von einem außenstehenden Beobachter kaum gehört.

Welche Eigenschaften machen einen Stoff zur Verwendung als Schalldämpfer geeignet?

Für die Ausübung vieler Berufe ist ein ruhiger Arbeitsplatz eine wichtige Voraussetzung. So erfordern ärztliche Untersuchungen, wissenschaftliche Arbeiten und ähnliche Tätigkeiten meist größte Ruhe. Man versieht deshalb Türen zu den Arbeitszimmern der Ärzte und Wissenschaftler häufig mit schalldämpfenden Polstern aus Stoffen der Art, wie sie oben genannt sind. Auch Doppelfenster, die in erster Linie Wärmeverluste verhindern sollen, wirken sich als Schalldämpfer sehr vorteilhaft aus.

2. Wie schnell breitet sich der Schall aus? Beim Gewitter sehen wir das Aufleuchten des Blitzes, vernehmen aber den Donner erst einige Zeit später. Der Schall braucht eine gewisse Zeit, um von der Schallquelle bis an unser Ohr zu gelangen. Seine *Ausbreitungsgeschwindigkeit* läßt sich verhältnismäßig leicht bestimmen. Wir brauchen dazu nur eine Taschenuhr mit Sekundenzeiger und eine Trillerpfeife. Während einer Wanderung messen wir auf einer Chaussee mit Hilfe der Kilometersteine eine Strecke von $\frac{1}{3}$ km ab. An dem einen Ende der Strecke gibt ein Schüler unter gleichzeitigem Senken eines hochgehaltenen Taschentuches ein Zeichen mit der Trillerpfeife. Ein Beobachter am anderen Ende der Strecke liest die Stellung des Sekundenzeigers ab, wenn er das Senken des Tuches sieht, und ebenso, wenn er den Pfiff hört. Wie der Versuch ergibt, braucht der Schall etwa eine Sekunde, um die Entfernung von $\frac{1}{3}$ km zurückzulegen. Genaue Versuche ergeben:

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft beträgt bei normalem Luftdruck und 0° C etwa 331 m/s, bei 15° C etwa 340 m/s.

Die genannten Zahlen schwanken etwas unter dem Einfluß der Luftfeuchtigkeit.

In Flüssigkeiten und in festen Körpern ist die Schallgeschwindigkeit bedeutend größer: Sie beträgt in Wasser 1450 m/s, in Holz 3000 bis 4000 m/s, in Zink und Kupfer etwa 3800 m/s, in Eisen etwa 5100 m/s, in Blei dagegen wegen der mangelnden Elastizität nur 1200 m/s.

3. Schallstärke. Wir läuten mit einer Tischglocke einmal schwach und einmal stark, wir schlagen eine Stimmgabel verschieden stark an. Vergleiche jedesmal die Schallstärken!

Vergleiche den Klang der Tischglocke mit dem einer Kirchenglocke! Welche von beiden tönt lauter? Wie hört sich das Heulen einer Fabriksirene an, je nachdem man sie aus der Ferne oder aus der Nähe vernimmt?

Die Stärke des Schalles ist um so größer, je stärker der Schallerreger schwingt. Die Stärke des Schalles nimmt mit der Entfernung von der Schallquelle ab.

4. Das Echo. a) Die Zurückwerfung des Schalles. Rufen wir aus einiger Entfernung gegen einen Waldrand oder gegen eine Hauswand, so hören wir unter günstigen Umständen ein **Echo.** Es kommt dadurch zustande, daß der Schall zurückgeworfen wird und erneut unser Ohr trifft. Daß eine glatte Wand tatsächlich den Schall in ähnlicher Weise wie ein Spiegel das Licht zurückwirft, zeigt uns folgender Versuch:

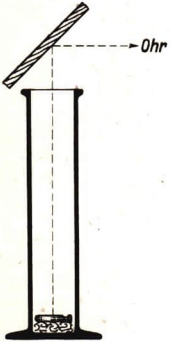


Abb. 110. Zurückwerfung des Tickens einer Taschenuhr an einem Brett. Das Brett wirkt als Schall-„Spiegel".

Wir bringen eine tickende Taschenuhr auf den Boden einer langen Papp- oder Glasröhre und legen sie dort auf Watte oder Holzwolle, um die unmittelbare Weitergabe des Schalles an die Röhrenwand zu verhindern (Abb. 110). Von der Uhr aus breiten sich die Schallwellen in der Luft nach oben aus, so daß sie das Rohr im wesentlichen in der Richtung der Achse verlassen. Bringen wir unser Ohr an die Öffnung, so hören wir deutlich das Ticken der Uhr. Bewegen wir das Ohr von der Öffnung waagerecht etwas zur Seite, so ist das Ticken nicht mehr wahrzunehmen.

Wird nunmehr über die Öffnung der Röhre eine Glasscheibe, eine steife Pappscheibe oder ein glattes Brett gehalten und auf das Ohr zu geneigt, so ist bei einer gewissen Schrägstellung der Scheibe das Ticken wieder deutlich zu hören. Die Schallwellen treffen auf die Scheibe und werden zum Ohr hin zurückgeworfen oder, wie man auch sagt, *reflektiert.*

Befindet sich das Ohr mit der Scheibe in gleicher Höhe, so tritt der geschilderte Fall ein, wenn das Brett um 45° geneigt wird. Hebt oder senkt man das Ohr etwas, so muß man die Neigung der Scheibe entsprechend ändern.

Wir werden später sehen, daß die Reflexion des Lichtes am Spiegel in ganz ähnlicher Weise erfolgt.

b) Vom Echo und Nachhall. Gelangen Schalleindrücke schnell hintereinander an unser Ohr, so dürfen die einzelnen Schalleindrücke nicht in kürzerer Zeit

als in $\frac{1}{10}$ s aufeinander folgen, wenn wir sie getrennt wahrnehmen wollen. Erreichen sie unser Ohr in kleineren Zeitabständen, so vermögen wir sie nicht mehr voneinander zu unterscheiden, da der vorangehende Schalleindruck noch nicht abgeklungen ist, wenn der nächste eintrifft. In $\frac{1}{10}$ s legt der Schall rund 34 m zurück. Die zurückwerfende Wand muß demnach mindestens 17 m von uns entfernt sein, damit wir ein deutliches einsilbiges Echo hören. Ist der Abstand geringer als 17 m, so kann unser Ohr den Ton und das Echo nicht mehr genau voneinander trennen. Wir sprechen dann von *Nachhall* (z. B. in großen Sälen und Festhallen). Er stört sehr stark bei musikalischen Darbietungen und besonders beim Sprechen.

c) Sprachrohr und Hörrohr. Wollen wir uns auf größere Entfernung etwas zurufen, so halten wir die hohlen Hände wie ein Schallrohr vor den Mund, um uns besser verständlich zu machen. — Auf dem Sportplatz bedient man sich oft eines *Sprachrohres*, wenn man sich auf größere Entfernung etwas zuruft. — Was machen wir umgekehrt, um einen Zuruf deutlicher zu verstehen? — Wir beobachten, wie eine Katze die Ohren dreht, wenn sie irgendwo ein Geräusch vernimmt. Wie erklärst Du dieses Verhalten? — Abb. 111 zeigt uns ein Sprachrohr. Die schallverstärkende Wirkung ist darauf zurückzuführen, daß die sich vom Munde nach allen Richtungen ausbreitenden Schallwellen durch das Sprachrohr im wesentlichen in eine Richtung gelenkt werden. Beim *Hörrohr*, dessen verengtes Ende der Beobachter in den äußeren Gehörgang steckt, wird der Schall durch die weite Muschel gesammelt und durch das Rohr dem Ohre zugeführt. Warum muß der Arzt ein Hörrohr benutzen, um Herz- oder Lungengeräusche wahrzunehmen (Abb. 112)?

Abb. 111. Sprachrohr (bei *A* der Mund des Rufers). Die gestrichelten Linien deuten die Ausbreitung des Schalles an.

Abb. 112. Hörrohr

5. Versuche und Fragen

1. Schlage eine Stimmgabel an und halte sie mit dem Stiel an die Stirn, an die Zähne! Was kannst du beobachten?
2. Binde einen Hausschlüssel an eine etwa 0,5 m lange Schnur und verknüpfe das andere Ende zu einer Schlinge, die du über den Zeigefinger der einen Hand streifst! Stecke den Finger ins Ohr, so daß der Schlüssel frei herabhängt, und lasse einen Mitschüler mit einem eisernen Gegenstand (Feuerhaken) gegen den Schlüssel schlagen! Was nimmst du wahr?
3. Entferne an zwei kleinen Konservenbüchsen (Milchbüchsen) Boden und Deckel und überklebe die Büchsen an Stelle des Bodens mit straffgespanntem, hartem Papier! Durchstich die Papierböden in der Mitte, führe einen wenigstens 10 m langen Bindfaden hindurch und knüpfe an

seine beiden Enden im Innern der Schachteln Knoten! Benutze mit einem Mitschüler die Vorrichtung als „Telephon"!

4. Stelle bei einem Gewitter die Zeitspanne zwischen Blitz und Donner mit einer Taschenuhr (Sekundenzeiger) fest und ermittle daraus näherungsweise die Entfernung des Blitzes!
5. Welche Beobachtung kann man machen, wenn man einem Steinklopfer aus einiger Entfernung zusieht? Vergleiche das, was du hörst, mit dem, was du siehst!
6. Warum hört man das Pfeifen einer Lokomotive bei feuchter Luft aus größerer Entfernung als bei trockener Luft? Welchen Einfluß hat die Richtung und die Stärke des Windes?
7. Warum rollt der Donner im Gebirge stärker als in der Ebene?
8. Warum werden bei Sportveranstaltungen vielfach an Stelle von Schallsignalen Winkzeichen verwendet?
9. Warum hört der Taucher das Schraubengeräusch eines herannahenden Dampfers unter Wasser eher als ein Beobachter auf dem Lande in gleicher Entfernung vom Dampfer?
10. In einem Steinbruch wird gesprengt. Wir hören die Detonation 7 Sekunden später als wir die Rauchentwicklung beobachtet haben. Wie weit sind wir von der Sprengstelle entfernt?

§ 20. Von den Tönen — Unsere Musikinstrumente

1. Schwingungszahl und Tonhöhe. Die Musikinstrumente unterscheiden sich von den anderen Schallerregern dadurch, daß sie keine Geräusche, sondern Töne erzeugen. **Töne** sind solche Schallerscheinungen, bei denen wir eine bestimmte musikalische *Tonhöhe* feststellen können. Wir werden im folgenden sehen, wie ein Ton entsteht, und was ihn als solchen kennzeichnet.

Daß die Zinken einer angeschlagenen Stimmgabel beim Tönen lebhafte Bewegungen ausführen, ersahen wir schon aus dem in Abb. 106 wiedergegebenen Versuch. Wir befestigen nunmehr mit Siegellack oder Wachs einen gebogenen Draht an einer Stimmgabelzinke, schlagen die Stimmgabel an und ziehen die Drahtspitze gleichmäßig über eine berußte Glasplatte (Abb. 113). Die Drahtspitze hinterläßt auf der Platte eine *Wellenlinie*.

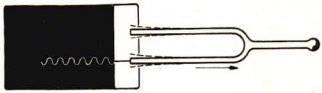


Abb. 113. Aufzeichnen der Stimmgabelschwingungen. Eine mit einer Schreibspitze versehene Stimmgabel wird über eine berußte Platte gezogen.

Klemmt man einen elastischen Stab, z. B. eine Stricknadel oder einen Stahlstreifen, an einem Ende fest und biegt ihn ein wenig zur Seite, so schwingt er beim Loslassen lebhaft hin und her (Abb. 114). Dabei bewegt sich das freie Ende zunächst nach der anderen Seite über die Ausgangsstellung hinaus, kehrt zurück und pendelt so lange hin und her, bis der Stab schließlich in der ursprünglichen Stellung zur Ruhe kommt.

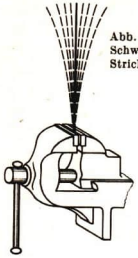


Abb. 114. Schwingende Stricknadel

Abb. 115. Die Zinken der Stimmgabel schwingen symmetrisch aufeinander zu oder voneinander weg. Gleichzeitig hebt und senkt sich der Stimmgabelbogen.

Ebenso verhalten sich die Zinken einer Stimmgabel (Abb. 115). Auch bei ihr *schwingen* die Zinken hin und her.

Derartige Bewegungen nennt man wie beim Pendel **Schwingungen.** Sie wiederholen sich regelmäßig, wie die Wellenlinie auf der berußten Glasplatte zeigt, und rufen in der Luft vor und hinter dem schwingenden Körper abwechselnd schnell aufeinanderfolgende Verdichtungen und Verdünnungen hervor. Diese bleiben nicht auf ihren Ort beschränkt, sondern breiten sich als Schallwellen in der Luft bis an unser Ohr aus, wo sie eine Tonempfindung auslösen.

Die Hin- und Herbewegung eines elastischen Körpers heißt Schwingung. Die Anzahl der in einer Sekunde ausgeführten Schwingungen ist die Schwingungszahl.

Je mehr wir die Stricknadel, den Stahlstreifen (Abb. 114) verkürzen, desto schneller folgen die Schwingungen aufeinander, so daß wir sie einzeln nicht mehr verfolgen können. *Der Ton*, den unser Ohr dabei vernimmt, *erscheint uns um so höher, je schneller die Stricknadel* oder der Stahlstreifen *schwingt.*

Ein Ton entsteht durch schnelle, regelmäßige Schwingungen eines elastischen Körpers. Je schneller die Schwingungen aufeinanderfolgen, d. h. je größer die Schwingungszahl ist, desto höher ist der Ton.

Nehmen wir mehrere Töne gleichzeitig wahr, so können wir sie nicht unterscheiden; sie verschmelzen zu einem **Klang.**

Führt die Schallquelle unregelmäßige Schwingungen aus, z. B. beim Klopfen an eine Tür, so vernehmen wir ein **Geräusch.**

Bei einem **Knall** handelt es sich um einen einzelnen, sich in der Luft ausbreitenden, kräftigen Luftstoß.

Die an der tönenden Stimmgabel gesammelten Erfahrungen werden durch folgenden Versuch bestätigt und ergänzt:

Eine Scheibe mit mehreren kreisförmig angeordneten Lochreihen, eine sogenannte *Lochsirene*, drehen wir auf einer Schwungmaschine um ihre Achse und blasen durch ein Rohr gegen die innere Lochreihe (Abb. 116). Dadurch entsteht hinter der Lochscheibe eine rasche Folge von Luftstößen. Die durch sie ausgelösten Schallwellen pflanzen sich bis an unser Ohr fort; wir hören

einen Ton. Wenn wir die äußeren Lochreihen anblasen, so hören wir bei gleichbleibender Drehgeschwindigkeit immer höhere Töne, je weiter wir nach außen fortschreiten. Wie ändert sich die Tonhöhe, wenn wir die Scheibe schneller drehen?

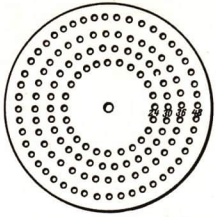


Abb. 116. Lochsirene. Eine drehbare Papp- oder Blechscheibe mit vier kreisförmig angeordneten Lochreihen. Die Sirene wird durch Anblasen der Lochreihen zum Tönen gebracht.

Blasen wir nacheinander die Lochreihen von innen nach außen bei gleichbleibender Drehgeschwindigkeit an, so fällt uns der Wohlklang der Tonfolge auf. Die ersten drei Töne bilden den *Dur-Dreiklang*, der vierte Ton bildet die *Oktave* zum Ausgangston. Auf unserer Sirene lesen wir die an die Lochreihen geschriebenen Lochzahlen, nämlich 24, 30, 36 und 48 (vgl. Abb. 116). Welchen größten gemeinsamen Teiler enthalten sie? Teile sie durch diese Zahl! Sie wachsen also wie die Zahlen 4, 5, 6 und 8. Da sich alle Lochreihen gleich schnell drehen, wachsen auch die Schwingungszahlen der von ihnen erzeugten Töne in der gleichen Weise, ganz unabhängig von der Wahl des Ausgangstones. In der Musik bezeichnet man die Töne mit lateinischen Buchstaben und ordnet sie in *Tonleitern* an. Die einfachste Tonleiter ist die c-Dur-Tonleiter. Sie umfaßt die Töne

c d e f g a h c′.

In ihr bilden die Töne c, e, g den Dur-Dreiklang. Ihre Schwingungszahlen wachsen nach dem vorangehenden wie die Zahlen 4, 5, 6. Die Töne c und c′ bilden eine Oktave; die Schwingungszahl des hohen Tones (c′) ist dabei doppelt so groß wie die des tiefen (c).

Rechne:

1. Eine vierreihige Lochsirene nach Art von Abb. 116 macht in der Sekunde 10 Umdrehungen. Wie groß sind die Schwingungszahlen der von ihr erzeugten Töne?
2. Ein Ton hat die Schwingungszahl 264. Welche Schwingungszahlen haben die Töne des darauffolgenden Dreiklanges und der nächsthöheren Oktave?

2. Von den Saiteninstrumenten. a) Klavier und Geige. Nenne Musikinstrumente, bei denen *Saiten* zum Tönen gebracht werden! — Wir blicken in ein geöffnetes *Klavier* und sehen die an einem kräftigen Metallrahmen gekreuzt ausgespannten Stahlsaiten (Abb. 117). Sie werden mit Hilfe von *Tasten* durch leichte, dick mit Filz überzogene *Holzhämmer* angeschlagen und dadurch zum Tönen gebracht. Wir stellen fest, daß sie sich in ihrer Länge und Dicke unterscheiden. Will man die Höhe der von den Saiten erzeugten Töne ändern, das Klavier „*stimmen*", so dreht man mit einem kräftigen Schlüssel die am oberen Teil des Rahmens sichtbaren *Wirbel*, um die die Saiten gewickelt sind. Diese werden dadurch mehr oder weniger stark gespannt.

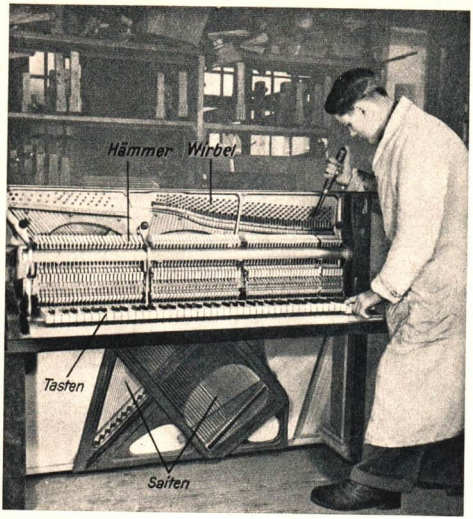


Abb. 117. Klavierstimmer bei der Arbeit. Vor den kreuzweise ausgespannten Saiten sind die Tasten und das Hammerwerk sichtbar.

Abb. 118. Draufsicht auf eine Laute. Achte auf die Einteilung des Griffbrettes!

Auch die *Geige*, die *Laute* und andere Saiteninstrumente stimmt man durch Drehen von Wirbeln.

Unsere Beobachtungen und Erfahrungen lehren uns, daß eine längere und dickere Saite einen tieferen Ton erzeugt als eine kürzere und dünnere. Während beim Klavier für jeden Ton eine bestimmte Saite vorhanden ist, besitzt die Geige nur vier Saiten, die Laute sechs. Diese verkürzen wir durch Andrücken mit den Fingern an das *Griffbrett* (Abb. 118) und ändern dadurch die Tonhöhe. Im Gegensatz zum Klavier verwendet man bei der Geige neben Stahlsaiten (e-Saite, teilweise auch a-Saite) Darmsaiten, die des besseren Klanges wegen oft mit Silberdraht umsponnen sind. Sie werden nicht angeschlagen, sondern mit einem Geigenbogen gestrichen.

Wir prüfen unsere Beobachtungen am Einsaiteninstrument, am *Monochord*[1] (Abb. 119). Wir ändern die Spannung einer Saite mit einem Schlüssel oder

[1] mónos (griech.) = allein; chordḗ (griech.) = Saite.

durch Anhängen verschieden großer Gewichtsstücke. Je mehr die Saiten gespannt werden, desto höher wird der Ton.

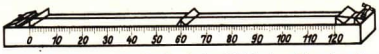


Abb. 119. Monochord. Ein länglicher Holzkasten, über den eine Metallsaite gespannt ist. Die Spannung und damit die Tonhöhe läßt sich durch Drehen des Wirbels (rechts) ändern.

Der Ton einer Saite ist um so höher, je kürzer die Saite, je dünner sie bei gleichem Material ist und je stärker sie gespannt ist.

Nenne weitere Saiteninstrumente! Gib die Art der verwendeten Saiten und die Tonerregung an!

b) Die Resonanz. Es kann vorkommen, daß beim Klavierspielen ein auf dem Tisch stehendes Glas oder eine Fensterscheibe beim Anschlagen eines bestimmten Tones zu klirren beginnt. — Singt man gegen das Klavier kurze Zeit einen Ton und tritt dabei auf das Pedal, so klingen gewisse Saiten des Klaviers mit. — Ein Versuch vermittelt uns das Verständnis für diese Zusammenhänge.

Wir stellen zwei Stimmgabeln von gleicher Schwingungszahl, die auf gleich großen Holzkästen stehen, in geringer Entfernung voneinander auf (Abb. 120). Die erste Gabel bringen wir zum Tönen, berühren sie nach einigen Sekunden mit dem Finger, so daß sie verstummt. Jetzt hören wir die zweite Gabel klingen, obwohl sie weder angeschlagen wurde, noch mit der ersten in Berührung stand. Ändern wir die Schwingungszahl der zweiten Gabel, indem wir ein kleines verschiebbares Gewichtsstück an einer Zinke festklemmen, so bleibt sie stumm. Wie ist dieser Vorgang zu erklären?

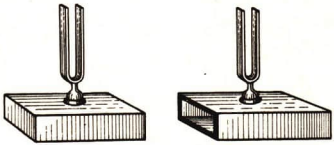


Abb. 120. Resonanz zweier gleicher Stimmgabeln. Die eine Stimmgabel wird angeschlagen, die andere schwingt mit.

Die einzige Verbindung zwischen beiden Gabeln stellt die Luft dar. Die einzelnen Luftstöße sind zwar außerordentlich schwach, folgen aber in großer Zahl regelmäßig aufeinander. Die zweite Gabel vermag im gleichen Takt zu schwingen, in dem die einzelnen Luftstöße sie treffen. Die vielen an sich sehr geringen Anstöße wirken alle im gleichen Sinne auf die zweite Gabel ein und bringen ihre verhältnismäßig schweren Zinken zum Schwingen. Wir vernehmen einen Ton. Klemmt man aber an eine Zinke der einen Gabel ein kleines Gewichtsstück und ändert dadurch die Schwingungszahl der Gabel, so erfolgen die Anstöße durch die Luftteilchen nicht mehr im Rhythmus der *Eigenschwingung* der Gabel, und das Mittönen bleibt aus.

Die Erscheinung des Mitschwingens begegnet uns auch unabhängig von Schallwirkungen.

Wir versetzen ein an einem Faden hängendes, dickes Garnknäuel durch schwaches Anblasen in starke Schwingungen. Wir müssen nur *im rechten*

Augenblick blasen, nämlich dann, wenn sich das Knäuel auch von sich aus von uns fortbewegt.

Man kann eine schwere Schaukel dadurch zum Schwingen bringen, daß man ihr immer wieder einen leichten Stoß gibt. In welchem Augenblick muß der Stoß erfolgen, wenn die Schwingungen immer größer werden sollen?

Man sagt: *Die Eigenschwingung der Schaukel und der Rhythmus des Stoßens müssen sich in Übereinstimmung oder in* **Resonanz**[1] *befinden.*

Ebenso ist bei dem oben beschriebenen Versuch mit den beiden Stimmgabeln die zweite, *angeregte* Stimmgabel mit dem *Schwingungserreger* (der ersten Stimmgabel) in *Resonanz*; beide haben die gleiche *Schwingungszahl.*

Ein Vorgang, bei dem die Eigenschwingung eines Körpers durch das Schwingen eines anderen Körpers angeregt wird, heißt Resonanz.

Stellen wir eine angeschlagene Stimmgabel auf eine leere Holzkiste, auf den Tisch oder auf eine ähnliche Unterlage, so können wir deutlich eine Zunahme der Tonstärke wahrnehmen. Die Verstärkung des Tones kommt dadurch zustande, daß die Tischplatte, die Holzkiste und damit die in ihr befindliche Luft *mitschwingen.* Dadurch werden die Schwingungen auf die umgebende Luft viel besser übertragen als unmittelbar durch die kleinen Zinken der Stimmgabel. Man nennt diesen Vorgang ebenfalls Resonanz und spricht von *Resonanzboden* und *Resonanzkasten*, obwohl hier nicht nur die Eigenschwingung, sondern jeder beliebige Ton verstärkt wird. Man sollte zweckmäßiger von **Schallverstärkung** oder von **Mittönen** reden.

3. Von den Pfeifen. a) Die Blockflöten — Lippenpfeifen. *Auch Luftsäulen können in Schwingungen geraten.* Blasen wir über den Rand der Öffnung eines Hausschlüssels hinweg, so beginnt die in ihm enthaltene Luftsäule zu schwingen und zu tönen. Je kürzer der Schlüssel ist, den wir benutzen, um so höher ist der Ton. – Wir betrachten eine *Blockflöte* (Abb. 121; vgl. auch Abb. 105). Sie hat ihren Namen nach einem in das Mundstück eingefügten kleinen Holzblock, der den zum Flötenrohr führenden Spalt begrenzt. Der Spalt mündet dort in das Rohr, wo dieses eine seitliche Öffnung, *die Labialöffnung*[2], besitzt (Abb. 122). Bläst man durch den Spalt, so stößt der Luftstrom auf eine scharfe

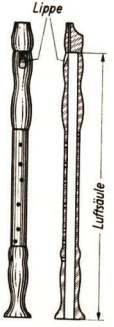


Abb. 121. Blockflöte

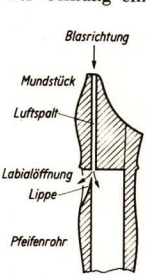


Abb. 122. Schnitt durch das Mundstück einer Blockflöte. Der durch den Spalt eintretende Luftstrom gerät beim Auftreffen auf die Lippe ins Pendeln und bringt dadurch die Luftsäule im Pfeifenrohr zum Mitschwingen.

[1] resonare (lat.) = widertönen.
[2] labium (lat.) = Lippe.

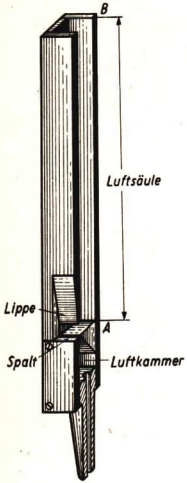


Abb. 123. Orgelpfeife (linke Hälfte)

Kante, die sogenannte *Lippe*, nach der die Blockflöte als *Lippenpfeife* bezeichnet wird. Der Luftstrom spaltet sich an der Lippe und kommt dabei gewissermaßen ins Pendeln, wodurch sich im Rohr in der Nähe der Lippe schnell abwechselnde Luftverdichtungen und -verdünnungen bilden. Diese breiten sich über die ganze Luftsäule im Rohr aus und bringen sie zum Schwingen. Dadurch entsteht ein Ton. Schließt man alle Öffnungen des Flötenrohres, so gibt die Flöte ihren tiefsten Ton. Durch Öffnen der Grifflöcher wird der Ton höher.

Ebenso wie die Blockflöten sind die meisten Orgelpfeifen Lippenpfeifen. Sie sind im Gegensatz zu den Blockflöten mit einer Kammer ausgestattet, in die die Luft zunächst strömt, bevor sie zum Spalt austritt (Abb. 123). — Nenne andere Instrumente, bei denen der Ton in ähnlicher Weise erzeugt wird!

b) Zungenpfeifen. Klarinette, Oboe, Fagott sind *Zungenpfeifen*. Bei ihnen werden elastische Metall- oder Holzstreifen, die sogenannten *Zungen*, durch den Luftstrom zum Schwingen gebracht. Ähnlich sind Mundharmonika und Ziehharmonika gebaut. Das Mittelstück der *Mundharmonika* besteht aus Holz, in das von der Seite eine Reihe von Kanälen eingeschnitten sind (Abb. 124). Jeder Kanal führt zu einer schmalen, federnden Metallzunge. Die Metallzungen geraten teils beim Blasen, teils beim Saugen ins Schwingen und erzeugen dabei ganz bestimmte Töne.

Die Klarinette, die Oboe und das Fagott sind mit elastischen Zungen aus Holz ausgestattet. Die Luftsäule im Rohr verstärkt die Schwingungen der Zunge.

Bei den Blechblasinstrumenten ersetzen die schwingenden Lippen des Bläsers die Zunge. Auch hier richtet sich die Höhe des Tones nach der Länge der Luftsäule, die entweder wie bei der Posaune durch Ausziehen des Rohres oder wie bei der Trompete durch Öffnen und Schließen von Klappenventilen geregelt wird.

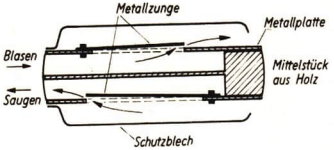


Abb. 124. Querschnitt durch eine Mundharmonika. Die federnden Metallzungen passen genau in entsprechende Schlitze zweier Metallplatten, mit denen das hölzerne Mittelstück auf beiden Seiten bedeckt ist. Sie sprechen zum Teil auf Blasen, zum Teil auf Saugen an.

c) Die Klangfarbe. Wir können uns gegenseitig schon beim Sprechen am Klang der Stimme erkennen; auch beim gemeinsamen Singen fällt der eine oder andere Sänger durch seine Stimme auf. — Ein und derselbe Ton klingt bei den einzelnen Musikinstrumenten, z. B. bei einer Geige, einem Klavier, einer Klarinette, ganz verschieden. Wir sprechen von einer verschiedenen *Klangfarbe* der Instrumente.

Wir haben oben gesehen, daß jede schwingende Saite einen ganz bestimmten Ton erzeugt, der von ihrer Länge, Dicke und Spannung abhängt. Diesen Ton nennen wir den *Grundton*. Er kommt dadurch zustande, daß die Saite als Ganzes schwingt. Berühren wir nun die Mitte der schwingenden Saite vorsichtig mit dem Finger oder mit einem Pinsel, so hört sie als Ganzes auf zu schwingen; der Grundton verstummt. Trotzdem hören wir noch einen leisen höheren Ton, den wir als *Oberton*, genauer als 1. Oberton, bezeichnen. Er bildet die nächsthöhere Oktave zum Grundton. Die Saite schwingt in ihren Hälften weiter. Ebenso können wir sie in Dritteln, Vierteln usw. schwingen lassen. Sie gibt dann den 2., 3. usw. Oberton (vgl. Abb. 125).

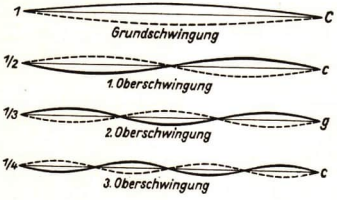


Abb. 125. Grundschwingung und Oberschwingungen einer Saite

Obertöne entstehen häufig ohne unser Zutun. Sie klingen aber in der Regel so leise, daß unser Ohr sie einzeln nicht heraushören kann. Wir hören in den meisten Fällen nicht einen einheitlichen Ton, sondern ein *Tongemisch*. Dadurch, daß die verschiedenen Instrumente mehr oder weniger Obertöne mitklingen lassen, unterscheiden sie sich in ihrer Klangwirkung, ihrer Klangfarbe. Erzeuge denselben Ton auf verschiedenen Instrumenten und beachte die Klangfarbe!

4. Wie wir sprechen und hören. Halten wir beim Sprechen und Singen die Fingerspitzen an den Kehlkopf, so nehmen wir deutlich ein leichtes Vibrieren[1] im Kehlkopf wahr. — Wiederhole den Versuch und singe dabei die Tonleiter aufwärts und abwärts, so weit du kommst! — Sehr hohe oder sehr tiefe Töne kann man meist nur mit großer Anstrengung singen, sofern man sie überhaupt erreichen kann.

a) Die Stimmbildung. Der *Kehlkopf* ist der Stimmapparat des Menschen. Die zwischen festen und beweglichen Knorpelteilen des Kehlkopfes ausgespannten *Stimmbänder* werden durch einen von der Lunge ausgestoßenen Luftstrom in *Schwingungen* versetzt.

[1] vibrare (lat.) = beben.

Durch Muskeln, die an den Knorpeln des Kehlkopfes angreifen, werden die Stimmbänder beim Hervorbringen hoher Töne stärker, bei tiefen Tönen schwächer gespannt. — Aus welchem Grunde klingen Männerstimmen tiefer als Frauen- und Kinderstimmen? — Horche an dem Rücken eines Mitschülers, der singt oder spricht! Singe den Selbstlaut „i" und halte dabei die Hand auf deinen Kopf oder in den Nacken! — Durch *Resonanz* in Rachen-, Mund- und Nasenhöhle wird der Ton *verstärkt.*

b) Das Ohr als Schallempfänger. Betrachte das Bild eines Ohres (Abb. 126)! Die Ohrmuschel, die als Schalltrichter wirkt, fängt die von einer Schallquelle hervorgerufenen Schallwellen auf und leitet sie dem *Trommelfell*, einem feinen, gespannten Häutchen, zu, das hierdurch in *Schwingungen*

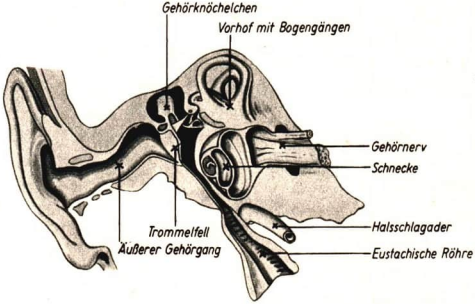


Abb. 126. Das Ohr. Durch die Eustachische Röhre ist das sogenannte Mittelohr mit dem Nasen-Rachen-Raum und dadurch mit der Außenluft verbunden. (Die Teile des inneren Ohres sind der Deutlichkeit halber vergrößert gezeichnet.)

gerät. Drei *Gehörknöchelchen*, der *Hammer*, der *Amboß*, der *Steigbügel*, die in der Abbildung nicht einzeln unterschieden sind, übertragen sie auf das *Gehörwasser*, das die *Schnecke* erfüllt. In ihr sind Tausende von Nervenfäserchen von verschiedener Länge und Dicke angeordnet. Sie sprechen auf die Töne von verschiedener Schwingungszahl an und leiten die hierdurch hervorgebrachten Reize mittels der Gehörnerven dem Gehirn zu, wodurch uns die Tonempfindung zum Bewußtsein kommt.

c) Die Empfindlichkeit des Ohres. Weniger als 20 und mehr als 20 000 Schwingungen in der Sekunde empfindet das menschliche Ohr nicht als Schall. Die obere Hörgrenze nimmt mit dem Alter ab, so daß ältere Menschen beispielsweise das Zirpen der Grillen nicht mehr wahrnehmen. In der Musik wird nur der Bereich von 27 bis 4 700 Schwingungen in der Sekunde verwendet.

Bei mehr als 24 000 Schwingungen je Sekunde spricht man von *Ultraschall*. Man kann Ultraschall von mehreren Millionen Schwingungen in der Sekunde erzeugen. Während das menschliche Ohr für Ultraschall unempfind-

lich ist, nehmen manche Tiere, z. B. Hunde und Fledermäuse, noch Schwingungen aus diesem Bereich als Töne wahr.

Treffen sehr starke Schallwellen auf das Trommelfell, z. B. bei Explosionen, so kann es leicht platzen. Öffnet man in Erwartung eines starken Schalles den Mund, so gelangen die Schallwellen von beiden Seiten her — vom äußeren Gehörgang und von der Mundhöhle — an das Trommelfell, und die Gefahr des Zerreißens wird vermieden.

Wenn das Trommelfell zerstört ist, tritt trotzdem nicht völlige Taubheit ein, da die Schallwellen, wenngleich in geringerem Maße, auch unmittelbar auf die Gehörknöchelchen und das innere Ohr einwirken. — Warum darf man nicht versuchen, den Gehörgang mit harten oder spitzen Gegenständen zu reinigen?

5. Vom Grammophon. Eines der wichtigsten Tonwiedergabegeräte ist das *Grammophon*[1]. Bei der Tonaufnahme wirkt der Schall auf eine schwingungsfähige, dünne Platte, die man auch *Membran*[2] nennt, ein und versetzt sie in Schwingungen. Durch eine besondere Einrichtung überträgt die Membran ihre Schwingungen auf eine spitze Nadel. Unter der Nadel dreht sich eine Wachsplatte, in die die Nadel die Schwingungen eingräbt. Dabei hinterläßt sie auf der Wachsplatte eine Spur von der Form einer gewellten Schneckenlinie. In Abb. 127 sehen wir das mikroskopische Bild einer solchen Nadelspur. Läßt man dann umgekehrt auf der Spur eine Nadel laufen, die mit einer Abhörmembran verbunden ist, so vollführt sie die gleichen Schwingungen und überträgt sie auf die Abhörmembran. Ein Schalltrichter verstärkt die feinen Schwingungen der Membran. In der Technik härtet man die Aufnahmeplatten und fertigt davon ein Negativ aus Metall an, mit dem man, wie mit einem Stempel, die Grammophonplatten in großer Zahl prägt. Auf diese Weise ist es möglich, von einer Aufnahme beliebig viele Abzüge herzustellen.

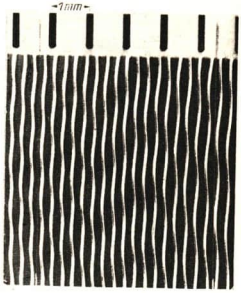


Abb. 127. Bild einer Grammophonnadelspur. Infolge der Kleinheit des wirklichen Bildausschnittes (vgl. den Maßstab am oberen Bildrande) ist die Schneckenform der Spur nicht zu erkennen.

Bei der technischen Schallplattenerzeugung gelangt ausschließlich ein elektrisches Tonaufnahmeverfahren zur Anwendung, das hier nicht näher erläutert werden kann. Ebenso erfolgt bei allen neueren Geräten, insbesondere bei Großanlagen, die Tonwiedergabe heute ausschließlich auf elektrischem Wege über einen Lautsprecher.

---

[1] grámma (griech.) = Schrift; phonefn (griech.) = tönen. [2] membrana (lat.) = Häutchen.

6. Versuche und Fragen.

1. Kürze den schwingenden Teil einer Geigensaite, am zweckmäßigsten der g-Saite, dadurch, daß du sie gegen das Griffbrett drückst! Bei welchem Bruchteil der ursprünglichen Länge erklingt die höhere Oktave?
2. Bringe die Luftsäule in einem Reagenzglas dadurch zum Tönen, daß du über den Rand des Glases bläst! Wiederhole den Versuch, nachdem du etwas Wasser in das Rohr gegossen hast. Stimme acht Gläser durch Einfüllen von Wasser auf die Töne der Tonleiter ab und benutze die nebeneinandergestellten Gläser als Panflöte[1]!
3. Lege dein Ohr an einen hölzernen Mast einer Telegraphen- oder Telephonleitung! Wie erklärst du das summende Geräusch, das du vernimmst?
4. Überdecke dein Ohr mit der Öffnung einer leeren Konservenbüchse oder halte die Öffnung eines großen Schneckengehäuses an das Ohr! Wie erklärst du das dabei hörbare summende Geräusch („Das Rauschen des Meeres")?
5. Tritt auf das Pedal eines Klaviers und rufe der Reihe nach die Vokale gegen das Klavier! Was vernimmst du?
6. Nenne alle dir bekannten Saiten- und Blasinstrumente und gib die Art der Tonerzeugung an!
7. Gibt es außer den Saiten- und Blasinstrumenten noch andere Instrumente? Tonerzeugung?
8. Warum sitzt das Orchester im Konzertsaal auf einem Holzpodium?
9. Welche Instrumente besitzen Resonanzböden?
10. Zu Übungszwecken verwendet man mitunter eine Geige, der der Boden fehlt. Mit welchem Recht bezeichnet man eine solche Geige als stumme Geige?
11. Warum darf ein Musikinstrument keinen durchdringenden Eigenton besitzen?
12. Wie stellst du die Richtung fest, aus der ein Schall kommt?

[1] Pan (griech.) = Name des Hirtengottes.

Sachverzeichnis

Aggregatzustände 14 u ff.
Alkohol 51
Amboß (Gehörknöchelchen) 105
Anheizklappe 58
Anker der Uhr 30
Ausdehnung durch Erwärmung 61 u. ff.
Ausdehnung, räumliche 9

Badethermometer 52
Bandmaß 17
Bimetallstreifen 65
Blattfeder 32
Blechblasinstrument 103
Blockflöte 91, 102
Bluttemperatur 53
Bogengänge des Ohres 105
Brandgefahr 58
Braunkohlenförderung 78
Braunkohlengrube 78
Brennstoffe 55, 78

C-Dur-Tonleiter 99
Celsius 52

Dampf 85 u. ff.
Darmsaite 100
Dehnungsausgleicher 65
Dosenlibelle 44
Druckfeder 32
Dur-Dreiklang 99

Echo 95
Eieruhr 28
Eigenschwingung 201
Einkochthermometer 53
Eis 80 u. ff.
Eisenbahnpuffer 36
Eiserner Ofen 58
Elastizität 31 u. ff.
Entzündungstemperatur 57
Erstarren 14, 80
Eustachische Röhre 105

Fagott 103
Fahrenheit 52
Fahrradpumpe 47
Fahrradventil 47
Federn, elastische 32
Fensterthermometer 52
Festigkeit 34
Festpunkte (Fixpunkte) des Thermometers 51 u. f.
Feuerbohren 56
Feuerquirlen 56
Feuerschlagen 56
Feuerzeug 56
Fieberthermometer 53
Fundamentalabstand beim Thermometer 52
Fünfjahrplan 78
Fußpumpe 48

Gasanzünder 56
Gasbrenner 58
Gashahn 42
Gasherd 58
Gaskocher 58
Gasmesser 25 u. f.
Gefrierpunkt 51, 81
Gehörknöchelchen 105
Gehörwasser 105
Geige 100
Geräusch 98
Gewichtssatz 28
Gliedermaßstab 15
Gradeinteilung 51
Grammophon 106
Griffbrett 100
Grundeigenschaften 8
Grundschwingung 104
Grundton 104
Grundwasser 41

Hahnküken 42
Hammer (Gehörknöchelchen) 105
Heizkörper 70
Heron von Alexandrien 47
Heronsball 46 u. f.
Hochbehälter 41
Hohlkörper 9
Hohlmaße 22
Hörgrenze 105
Hörrohr 96

Kachelofen 57
Kalorie 77
Kanalwaage 43
Kegelfeder 36
Kehlkopf 104
Kieselgur 69
Kilokalorie 77
Klang 98
Klangfarbe 104
Klarinette 103
Klavier 99
Knall 92, 98
Kochkiste 68
Kohlenanzünder 57
Kohlenherd 59
Kondensieren 84 u. f.
Körper, feste 10
—, flüssige 11, 13
—, gasförmige 11, 13
Kraftwagenkühler 71
Küchenwaage 27
Kühlmischung 61, 83
Kühlschrank 88
Kurzschluß 57

Labialöffnung 102
Längeneinheiten 15
Lärmbekämpfung 94
Lampenzylinder 72
Laute 100
Lippe bei Lippenpfeifen 103
Lippenpfeifen 102 u. f.
Lochsirene 98
Lokführerhaus 49
Luftpolster 47
Luftschlauch 47 [93
Luftverdichtung beim Schall
Luftverdünnung beim Schall [93

Masseneinheiten 27
Maurerwaage 44
Membran 106
Mensur 21
Meßfehler 16, 18
Meßflasche für Gase 24
Meßgenauigkeit 18 u. f.
Meßzylinder 21 u. ff.
Meterstab 15

Mittönen 101
Mitschwingen 102
Monochord 100
Mundharmonika 103

Nachhall 95
Nebel 89
Nonius 19

Oberflächenkrümmung 37
Oberfläche von Flüssigkeiten [36
Oberschwingung 104
Oberton 104
Oberwasser 45
Oboe 103
Ohr 105
Oktave 99
Orgelpfeife 103

Pendel 29
Pendeluhr 30
Pfeifen 102
Physikalische Körper 8
Plastische Stoffe 34
Posaune 103

Quecksilber 50

Raum 9
Raumeinheiten 22
Rauminhalt 9, 16, 22
Raummessung 21
Reaumur 52
Reibung 56
Resonanz 101
Röhrenlibelle 43
Rohrnetz 42

Saiteninstrument 99
Sammelheizung 69
Sanduhr 28
Schallausbreitung 94
Schalldämpfung 94
Schalleitung 92
Schallerreger 92
Schallgeschwindigkeit 94
Schallquellen 92
Schallstärke 95
Schallverstärkung 102
Schallwellen 93
Schieblehre 7, 14 u. f.
Schienenstoß 64
Schlauchventil 47
Schlauchwaage 43
Schleuse 45
Schmelzen 14, 80
Schmelzpunkt 51
Schmelzwärme 83
Schnecke im Ohr 105
Schneekristall 80
Schornstein 92
Schraubenfeder 32
Schwingung 29, 92
Schwingungsweite 29
Schwingungszahl 97
Schwingungszeit 29
Sekundenpendel 30
Sicherung, elektrische 57
Sieden 14, 84
Siedetemperatur 51, 86
Sonnenwärme 55
Spannkraft des Wasserdampfes 85
Sparflamme 59
Spiralfeder 32
Sprachrohr 96
Sprengwirkung des Eises 82
Springbrunnen 42
Spröde Stoffe 35
Stabthermometer 50
Stahlsaite 100
Steigbügel (Gehörknöchelchen) 105
Steigrad der Uhr 30
Stimmbänder 104
Stimmgabel 92, 97
Stoff 8
Stoffmenge 24

Taschenuhr 30
Technisches Thermometer 53
Temperatur 50
Temperaturzunahme im Erdinnern 55
Thermometer 50 u. ff.
Thermometerskala 51
Thermosflasche 74
Tiefbrunnen 41
Tongemisch 104
Tonhöhe 97
Tonleiter 89
Trommelfell 105
Trompete 103

Überlaufgefäß 23
Uhr 28 u. ff.
Ultraschall 105
Undurchdringlichkeit 10
Unelastische Stoffe 34
Unruh 30
Unterwasser 45

Ventil 42
Verbundene Gefäße 37 u. ff.
Verdampfen 87 u. ff.
Verdampfungswärme 86
Verdichten von Luft 46
Verdrängung, gegenseitige, der Körper 10 u. ff.
Verdunsten 87

Waage 27
Wärmeausnutzung 59
Wärmeeinheit 77
Wärmeempfindung 50
Wärmeenergie 49
Wärmegrad 50
Wärmeleitung 68
Wärmemenge 75, 77
Wärmequelle 54 u. ff.
Wärmeschutzmittel 68 u. f.
Wärmestrahlung 73
Wärmeströmung 69 u. ff.
Wärmeverluste 69
Wärmezustand 50
Walzenlager bei Brücken 64
Warmwasserheizung 70
Wasserbad 87
Wasserhahn 42
Wasserleitung 41
Wassermesser 24
Wasserstandsglas 40
Wasserturm 42
Wasserwaage 43
Wasserwellen 93
Weingeist 51
Wellenberg 93
Wellental 93
Wellenzentrum 94
Wirbel bei Saiteninstrumenten 100

Zähe Stoffe 35
Zentralheizung 69
Ziehharmonika 103
Zimmerofen 57
Zimmerthermometer 50
Zollstock 15
Züge des Kachelofens 57
Zündholz 56
Zugfeder 32
Zungenpfeifen 103
Zustandsformen 14, 80

Quellenverzeichnis der Abbildungen

Braunkohlenarchiv: Abbildungen 82 und 100 · Illus, Berlin: Abbildungen 1 und 88a · Heinz Krüger, Falkensee: Abbildungen 2, 4, 14, 18, 24, 27, 28, 34, 35, 36, 45, 53, 54, 60, 64, 88b, 104 · Bildstelle Reichsbahndirektion Halle/S.: Abbildung 81 · Presse-Foto-Röhnert G.m.b.H. unter Treuhandverwaltung: Abbildungen 10, 29, 117 · Schneider, Berlin, Zentralhaus der Jungen Pioniere: Abbildung 105 · Sowj. Staatl. A.G. Transmasch. Geräte- und Armaturenwerk Magdeburg: Abbildung 66 · B. G. Teubner Verlagsgesellschaft: Abbildungen 109 und 126 (aus Grimsehl, Lehrbuch der Physik, Bd. 1) · Volk und Wissen Volkseigener Verlag. Bildstelle: Abbildungen 30, 33, 79 · Die Abbildungen 101a bis d wurden hergestellt nach Mikrophotogrammen von W. A. Bentley, „Die Naturwissenschaften 18 (1930), Heft 11".