

SPIELE *und* **EXPERIMENTE**

SPIELE UND EXPERIMENTE



Physikalische Beobachtungen und Versuche ohne Apparate

VON DR. GERHARD NIESE



DER KINDERBUCHVERLAG BERLIN

Schutzumschlag und Einband: Gerhard Hauptmann

Illustrationen: Erwin Wagner (31)

Technische Zeichnungen: Edgar Leidreiter (37)

Fotos: H. Fiedler, Leipzig (5) · Hansjörg Hamann, Leipzig (1) · Heinz Krüger, Berlin (44) · Friedrich Meiche, Chemnitz (1) · Gerhard Niese, Leipzig (4) · Archiv

B. G. Teubner, Leipzig (1)

Alle Rechte vorbehalten

Copyright 1952 by Der Kinderbuchverlag Berlin

Lizenz-Nr. 304-376/93/51

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

Bestell-Nr. 3303

1.—20. Tausend 1952

Für Leser von 12 Jahren an

VORWORT

„Ein Bleistift balanciert auf der Fingerspitze.“

Wohl jeder Junge und jedes Mädchen hat schon dieses Kunststück versucht, und wie groß waren die Freude und der Stolz, wenn es gelang! Über eine derartige Leistung will unser Buch noch hinausführen. Vom Können will es zum Verstehen hinleiten. So wird Interesse für die Frage nach dem Warum geweckt. Die Gründe für das Gelingen der Kunststücke werden aufgedeckt. Spielend, mit Hilfe einfachster, von jedem Leser sofort auszuprobierender Versuche werden die Gesetze der Physik erläutert.

Freilich nicht alle Gesetze. Diese Seiten ersetzen kein Lehrbuch der Physik. Nur die wichtigsten Erscheinungen, die einfachsten und dabei interessantesten Versuche werden genannt. Mit insgesamt 78 in sich geschlossenen Experimenten dringen wir in vier wichtige Teilgebiete der Physik ein: Am Beginn stehen 29 Versuche aus der **Mechanik**. Was sind Kräfte? Warum fällt der Kreisel nicht um? Warum geht ein schwimmender Körper nicht unter? Wie macht Vater die schönen Ringe beim Zigarettenrauchen? Mit diesen und anderen Fragen lernen wir Kräfte und Bewegungen bei festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen kennen.

Die **Wärmelehre** ist ein weiteres interessantes Gebiet der Physik. Kältemischungen von -18°C , Dämpfe und Nebel, Eis und rotglühende Ofenplatten lernen wir auf ihre Eigenschaften hin untersuchen.

Mit der Entstehung des **Schalls**, den Gesetzen der vielen Töne, die wir täglich und stündlich mit unseren Ohren aufnehmen, beschäftigt sich ebenfalls der Physiker. Wie die Töne entstehen, wie sie in den Schallplatten „konserviert“ werden, worauf das Echo beruht, das lernen wir hier an Hand von Experimenten verstehen, die jedermann leicht ausführen kann.

Fast die Hälfte aller Versuchsbeschreibungen ist jedoch der **Optik**, der Lehre vom Licht, gewidmet. Es macht wirklich viel Freude, beim uralten Kinderspiel mit Sonnenstrahlen und Taschenspiegel das „Spiegelgesetz“ zu „entdecken“, Lichtstrahlen zu „brechen“, Lupe und Kamera zu untersuchen, Farben entstehen und verschwinden zu lassen, Versuche über die Vorgänge im eigenen Auge anzustellen und vieles andere mehr.

Nicht alle Gebiete der Physik fanden Berücksichtigung. Elektrizitätslehre, Magnetismus, Atomphysik fehlen; denn hier gibt es nur wenige Versuche, die sich mit einfachsten Mitteln ausführen lassen und an denen das Wesen der Erscheinungen deutlich wird.

Aber das Buch hat auch nicht die Aufgabe, einen Einblick in alle Teilgebiete der Physik zu vermitteln, sondern es will lediglich zum aufmerksamen Beobachten, zum durchdachten, verstandenen Experiment und zur Handfertigkeit im Umgang mit einfachem Werkzeug und selbstgebastelten Geräten hinführen.

Von der Beobachtung, von der Erfahrung geht jedes Wissen, jede Erkenntnis aus. Deshalb sollte der Leser die Versuche selbst möglichst mehrfach ausführen. Ein bloßes Anschauen der Bilder und Überfliegen des Textes würde nicht dem Sinne dieses Buches entsprechen.

Vom zwölfjährigen Schüler bis zum Erwachsenen wird jeder etwas Neues, Interessantes, Wissenswertes darin finden.

Die Arbeitsgemeinschaften der Schüler der fünften bis achten Klasse werden manche Anregung für ihre Arbeit entnehmen können.

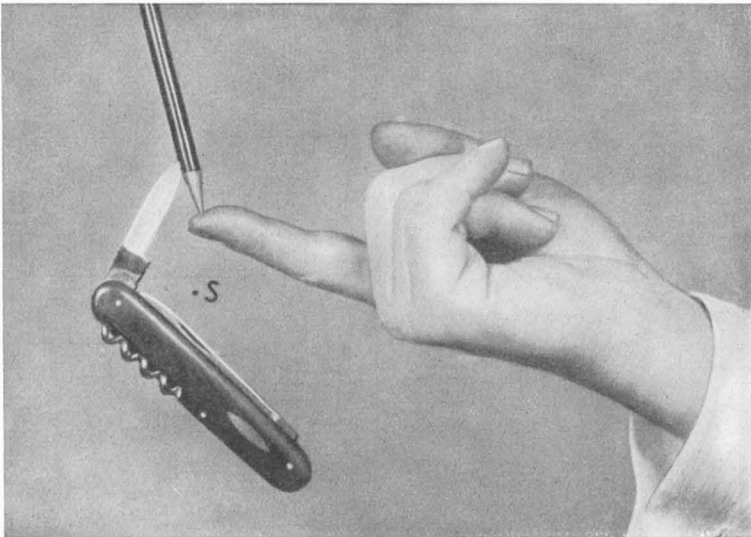
Die Jugend von heute will morgen an der Drehbank, auf dem Traktor oder am Zeichenbrett als Facharbeiter, als Aktivist, als Erfinder beim friedlichen Aufbau unserer Heimat ihren Mann stehen. Dazu braucht sie viel Wissen, ein offenes Auge und eine sichere Hand. Möge dieses Buch ein wenig dazu beitragen, Freude am Forschen und Erkennen zu wecken.

MECHANIK

KRAFT UND BEWEGUNG

Der balancierende Bleistift

Das „Balancieren“ des Bleistiftes wird ermöglicht durch das eingestochene Taschenmesser. Das Taschenmesser ist schwerer als der Bleistift. Dadurch kommt der Schwerpunkt des Gesamtkörpers unter den Haltepunkt zu liegen. Der Schwerpunkt eines Körpers ist der-



Ein Bleistift balanciert auf der Fingerspitze (S = Schwerpunkt)

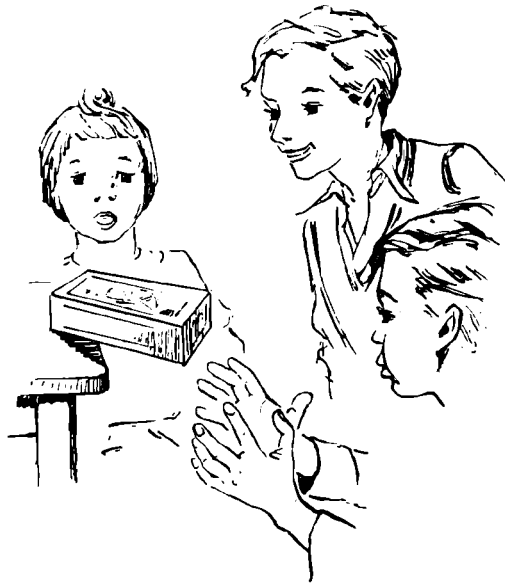
jenige Punkt, den wir unterstützen müssen, damit der Körper, der ja infolge der Schwerkraft nach unten fallen will, in allen Lagen in Ruhe bleibt. Bemerkenswert ist, daß sich der Schwerpunkt (S) des Gesamtkörpers hier außerhalb des Körpers befindet. Bei den meisten Körpern hingegen, zum Beispiel bei einem Stab oder einer Kugel, befindet sich der Schwerpunkt im Inneren des Körpers, bei der Kugel genau im Mittelpunkt. Streng genommen, darf man von Balancieren nur sprechen, wenn der Schwerpunkt über dem Haltepunkt liegt.

Stellen wir einen Spazierstock mit der Spitze auf den Fußboden und lassen den Griff los, so fällt der Stock um, weil der Schwerpunkt immer bestrebt ist, die tiefstmögliche Lage einzunehmen. Am Boden bleibt der Stock liegen, weil der Schwerpunkt seine tiefstmögliche Lage erreicht hat.

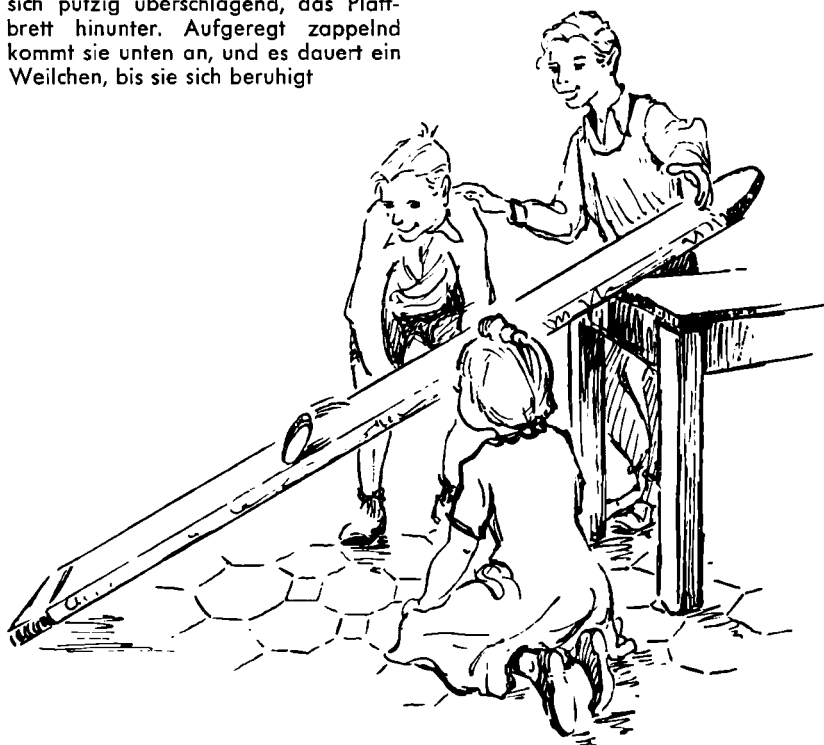
Bei dem „balancierenden“ Bleistift mit Taschenmesser befindet sich der Schwerpunkt bereits in der tiefstmöglichen Lage. Deshalb besteht keine Absturzgefahr. Im Gegenteil, wenn der Bleistift irgendwie in Bewegung versetzt wird, so kehrt er immer wieder in die oben fotografierte Lage zurück. Auch das Stehaufmännchen beruht auf dem genannten Schwerpunktgesetz.

Kleine Geheimnisse

So stellen wir vor den Augen unserer erstaunten Zuschauer eine Zigarrenkiste auf den Tisch. Keine Angst, sie steht fest!



Hier rollt eine kleine Pappschachtel, sich putzig überschlagend, das Plättbrett hinunter. Aufgeregt zappelnd kommt sie unten an, und es dauert ein Weilchen, bis sie sich beruhigt

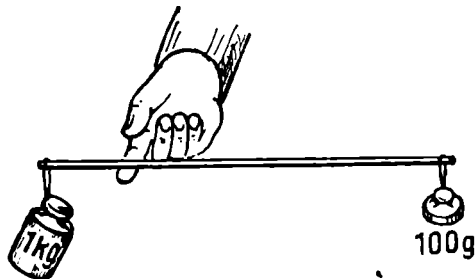


In die Kiste haben wir vorher unbemerkt ein Gewichtsstück gestellt. Dadurch wird der Schwerpunkt in diejenige Ecke der Kiste verlegt, die wir auf den Tisch stellten, und die Kiste kann nicht fallen. In der Schachtel befindet sich eine Bleikugel, die durch ihre Bewegung dauernd den Schwerpunkt innerhalb der Schachtel verlegt und dadurch die ulkig anzusehenden Bewegungen der Schachtel hervorruft.

Hebel

Zum Heben und Halten eines 1-Kilogramm-Stückes ist im allgemeinen eine Muskelkraft erforderlich, die genauso groß ist wie die Kraft, mit der ein 1-Kilogramm-Stück nach unten zieht. In unserem Versuch jedoch wird ein 1-Kilogramm-Gewicht durch ein kleines 100-Gramm-Stück in der Schwebe gehalten. Das wird erreicht durch einen Holzstab, der drehbar gelagert ist. Durch Ausprobieren finden wir rasch die Stelle, die wir als Haltepunkt für die Hand und zugleich als Drehpunkt wählen müssen, damit der Stab mit den Gewichten im Gleichgewicht bleibt. Ist der Stab 55 cm lang, so finden wir, daß der Drehpunkt 5 cm von dem 1-Kilogramm-Stück und 50 cm von dem 100-Gramm-Stück entfernt ist. Diese Einrichtung wird Hebel genannt. Die beiden Stablängen rechts und links vom Drehpunkt nennt man Hebelarme. Die kleine Kraft (das kleine Gewicht) wirkt also am langen Hebelarm. Und die große Kraft wirkt am kurzen Hebelarm. Es herrscht immer dann Gleichgewicht, wenn die beiden Kräfte in dem umgekehrten Zahlenverhältnis zueinander stehen wie die beiden Hebelarme. In unserem Versuch ist das Verhältnis der Kräfte (links zu rechts) gleich 10 : 1. Das Verhältnis der Hebelarme (rechts zu links) ist ebenfalls 10 : 1. Ein Hebel ist also ein drehbar gelagerter Stab, mit dessen Hilfe wir mit kleinen Kräften eine große Wirkung erzielen können. Mit einem geeigneten Hebel kann der Mensch ohne große Anstren-

Hier wird ein 1-Kilogramm-Stück in der Schwebe gehalten durch ein 100-Gramm-Stück



gung schwere Stein- oder Eisenblöcke anheben oder umkanten. Schon vor Jahrtausenden wurden beim Pyramidenbau gewaltige Steinblöcke allein durch Hebelwirkung von Stufe zu Stufe in schwindelnde Höhen gebracht.

Eine gut vernagelte Kiste können wir mit Muskelkraft allein nicht öffnen. Mit einem Brecheisen jedoch heben wir spielend den Deckel samt Nägeln ab, weil durch Hebelwirkung eine Vervielfachung unserer Muskelkraft erzielt wird.

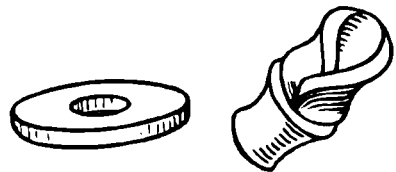
Eine Unmenge von Werkzeugen, Einrichtungen, Apparaten und Instrumenten beruht auf Hebelwirkung: Zange, Schere, Schraubenzieher, Schraubenschlüssel, Nußknacker, Büchsenöffner, Türklinke, Schlüssel, Dezimalwaage und vieles andere.

Wohl keine andere Erfindung ist so einfach und sinnreich, so vielfältig und fruchtbar in ihrer Anwendung wie der Hebel. Seit Jahrtausenden schon benutzt ihn der Mensch.

Elastische Kräfte

Gummi ist elastisch. Das heißt: Wenn man ihn spannt und dehnt, so wird im Gummi eine Kraft wirksam, die bestrebt ist, die Gummiteilchen in ihre ursprüngliche Lage zurückzuziehen. Diese Kraft wird um so größer, je weiter man den Gummi dehnt.

Eine lustige Demonstration dieser zurückziehenden elastischen Kraft bietet der Verschlußgummi einer Selterswasserflasche, wenn man einen Teil des äußeren Gummirandes durch das Loch in der Mitte hindurchsteckt. Legen wir den Gummi jetzt auf den



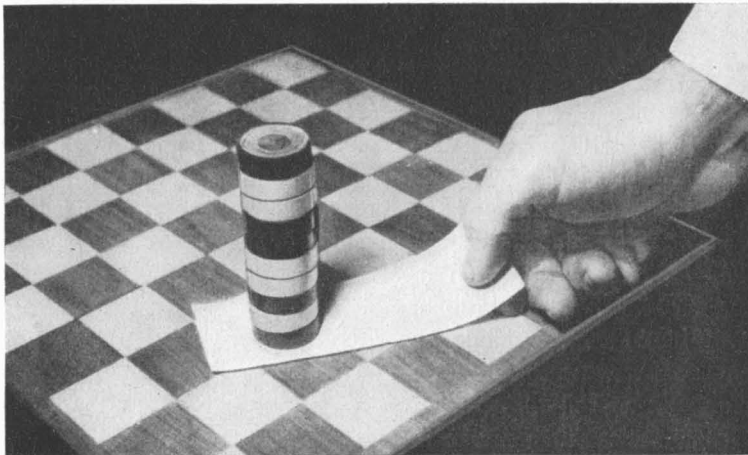
Dieser Flaschengummi macht einen Luftsprung von 20 bis 30 cm Höhe

Tisch, so springt er nach wenigen Sekunden 20 bis 30 cm hoch unter gleichzeitiger Wiederherstellung seiner früheren Gestalt.

„Gummi“ ist der volkstümliche Ausdruck für Kautschuk. Das Fremdwort „Kautschuk“ bedeutet übersetzt „fließendes Holz“. Diese Bezeichnung ist sehr sinnvoll, denn Naturkautschuk wird aus dem eingedickten Milchsaft tropischer Pflanzen gewonnen. Seine wertvolle Eigenschaft erhält der Kautschuk durch bestimmte Füllstoffe, vor allem Schwefel, und durch längeres Erhitzen. Dieser technische Prozeß wird als Vulkanisation bezeichnet.

Künstlicher Kautschuk wird aus Kalk und Kohle hergestellt.

Trägheit



Ziehen wir das Papier unter den Damesteinen rasch weg, so bleibt die Säule an Ort und Stelle

Ziehen wir ganz langsam am Papier, so bleibt die Säule darauf stehen und wird mit weggezogen. Bei raschem Wegziehen des Papiers jedoch verbleibt die Säule unversehrt in Ruhe und an Ort und Stelle. Alle Körper haben die Eigenschaft, in Ruhe oder gleichförmiger



Wenn die Straßenbahn plötzlich bremst, fallen wir infolge der Trägheit in die Fahrtrichtung

Bewegung zu verharren, wenn auf sie keine Kraft ausgeübt wird. Diese Eigenschaft wird Trägheit genannt. Um einen ruhenden Körper in Bewegung zu versetzen, müssen wir auf ihn eine Kraft ausüben. Der Körper setzt also einer Veränderung seines Bewegungszustandes einen Widerstand entgegen, der durch eine von außen wirkende Kraft überwunden werden muß.

Bei zu raschem Anfahren einer Lokomotive kann der Trägheitswiderstand so stark werden, daß die Kuppelung reißt und die Wagons somit am Ort verbleiben. Auch in unserem Versuch wurde das Papier so rasch weggezogen, daß gewissermaßen die Kuppelung zwischen dem Papier und der Säule riß und somit die Säule nicht weggezogen werden konnte.

Wenn der Bäcker das Brot in den Backofen schiebt, zieht er den Schieber so rasch zurück, daß das Brot nicht mitkommt und auf der Ofenplatte verbleibt.

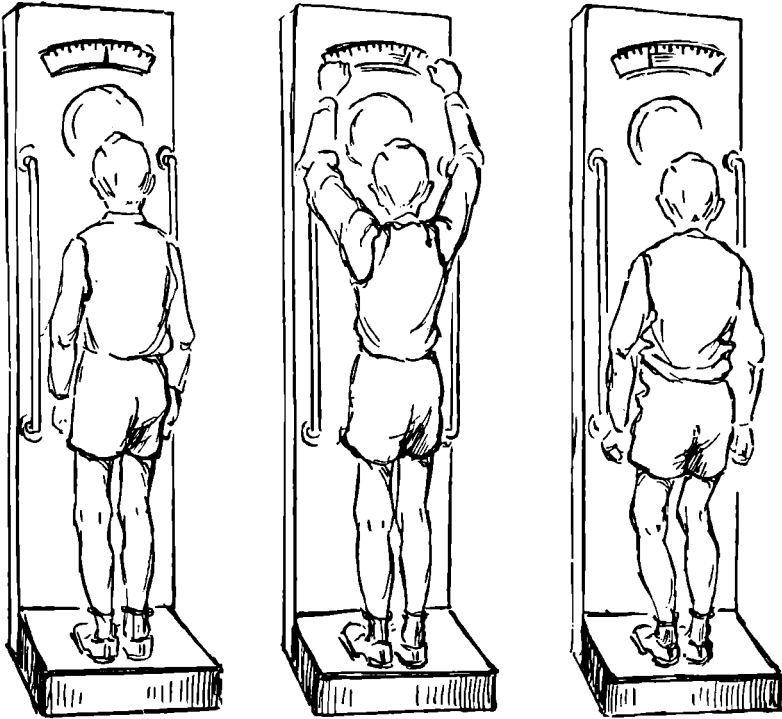
Beim plötzlichen Anfahren der Straßenbahn fallen wir rückwärts, weil unser Körper dem Trägheitsgesetz unterliegt und an Ort und Stelle verbleiben will. Beim scharfen Bremsen der Straßenbahn jedoch fallen wir vorwärts, weil unser Körper in seinem bisherigen Bewegungszustand verharren will.

Wirkung und Gegenwirkung

Stehen wir zunächst ganz ruhig auf der Waage, so zeigt die Waage unser Gewicht an. Stoßen wir dann rasch die Arme nach oben, so vermuten wir wohl, daß dabei das angezeigte Gewicht geringer wird, weil die Wucht dieser Bewegung nach oben und nicht nach unten auf das Trittbrett gerichtet ist. Es tritt jedoch das Gegenteil unserer Vermutung ein. Beim raschen Aufwärtsbewegen der Arme

schnellt der Zeiger der Waage nach rechts und zeigt ein größeres Gewicht an.

Dies beruht auf einem von dem berühmten Physiker Newton gefundenen Gesetz, das besagt, daß jeder Wirkung eine gleich große Gegenwirkung in entgegengesetzter Richtung gegenübersteht. Beim raschen Aufwärtsheben der Arme erhält demgemäß unser Körper einen Bewegungsantrieb nach unten, der sich in einem vergrößerten Druck auf das Trittbrett der Waage auswirkt.



Merkwürdige Beobachtungen bei Freiübungen auf der Personenwaage. Beim raschen Heben der Arme werden wir anscheinend schwerer, beim raschen Senken der Arme leichter

Stoßen wir jedoch die Arme rasch nach unten, so erhält unser Körper einen Bewegungsantrieb nach oben, und die Waage zeigt ein geringeres Gewicht an.

Entsprechende Beobachtungen machen wir auch, wenn wir mit angehobenen Füßen auf einem Drehstuhl sitzen. Werfen wir die vorgestreckten Arme rasch nach rechts, so dreht sich der Sessel mit uns nach links. Springen wir von der Bordwand eines Kahnens ans Ufer, so erhält der Kahn einen Bewegungsantrieb in entgegengesetzter Richtung.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß eine Katze, die beim Klettern von einem Baume abstürzt, immer mit den Füßen den Boden erreicht. Dies beruht auf einem geschickten Steuern des Sturzes durch Ausnutzung der oben geschilderten Gegenbewegung. Vor dem Erreichen des Erdbodens wirft die Katze sich überschlagend ihren Schwanz in eine solche Richtung, daß ihr Körper einen geeigneten entgegengesetzten Bewegungsantrieb erhält, der die Katze gerade mit den Füßen auf dem Erdboden landen läßt.

Von fallenden Körpern

Was fällt schneller: ein Brikett oder eine Briefmarke? Eine Münze oder ein kleines Papierschnitzel? Wir wollen diese Frage erst beantworten, nachdem wir einige Versuche angestellt haben.

Mit der rechten Hand halten wir eine 10-Pfennig-Münze, mit der linken ein kleines Papierschnitzel. Wir lassen beide Gegenstände gleichzeitig aus gleicher Höhe fallen. Wir stellen fest: Die Münze fällt rasch senkrecht nach unten, während das Papierschnitzel langsam schräg nach unten wirbelt. Es scheint also, als ob ein Körper um so schneller fällt, je schwerer er ist.

Auf eine größere Münze wird ein kleines Papierschnitzel aus Zeitungspapier gelegt. Läßt man die Münze fallen, so bleibt das Papier auf der Münze liegen und fällt somit ebenso schnell nach unten wie die Münze



Lassen wir jedoch ein 1-Kilogramm-Stück und einen Pfennig gleichzeitig fallen, so sehen wir, daß beide im gleichen Augenblick auf den Boden schlagen, daß also beide Körper gleich schnell fallen, obwohl der Pfennig nur einen kleinen Bruchteil des 1-Kilogramm-Stückes wiegt.

Der Widerspruch im Ergebnis dieser beiden Versuche ist zu erklären durch den Luftwiderstand, den das Papierschnitzel durch seine Form nicht so leicht überwindet wie die Münze. Seine Oberfläche ist sehr groß im Verhältnis zu seinem Gewicht. Pressen wir aber das Papierschnitzel zu einer winzigen Kugel zusammen, dann fällt es fast ebensoschnell.

Bei dem oben abgebildeten Versuch wird der Luftwiderstand für das fallende Papierschnitzel praktisch ausgeschaltet. Der Versuch zeigt, daß beide Körper gleich schnell fallen. Alle Körper fallen gleich schnell, wenn der Luftwiderstand ausgeschaltet ist. Gewicht und Form der Körper spielen dann keine Rolle. Der Physiker weist das nach, indem er in langen luftleer gemachten Glasröhren die verschieden-

sten Gegenstände gleichzeitig fallen läßt. Im luftleeren Raum fällt selbst eine Daunenfeder genauso rasch wie irgendein Stein. Die Ursache dafür, daß alle Körper senkrecht nach unten fallen, ist die Anziehungskraft der Erde.

Pendel

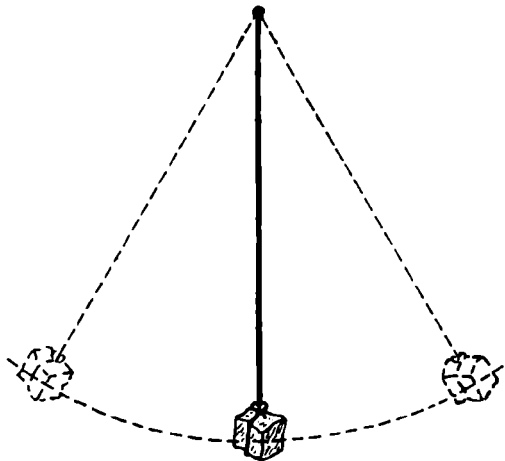
Hebt man das Pendel aus seiner Ruhelage und läßt es dann los, so schwingt es hin und her. Die Zeit einer vollständigen Hin- und Herschwingung wird Schwingungszeit genannt. Stellen wir zum Beispiel mit dem Sekundenzeiger der Taschenuhr fest, daß das Pendel für 6 volle Schwingungen 3 sec braucht, so ist die Schwingungszeit 0,5 sec. Durch die Reibung im Aufhängepunkt und den Luftwiderstand werden die Ausschläge immer kleiner, bis schließlich das Pendel zum Stillstand kommt. Bei kleiner werdendem Ausschlag bleibt, wie wir feststellen können, die Schwingungszeit unverändert. Die Größe des Ausschlages hat also keinen Einfluß auf die Schwingungszeit. Allerdings gilt dies nicht für sehr große Ausschläge. Bei diesen ist die Schwingungszeit nicht mehr unverändert.

Auch wenn man das Pendelgewicht vergrößert oder verkleinert, findet man, daß die Schwingungszeit die gleiche bleibt. Ausschlag und Gewicht haben also keinen Einfluß auf die Schwingungszeit. Wohl aber hat die Fadenlänge entscheidenden Einfluß. Durch Versuche mit verschiedenen langen Pendeln können wir uns überzeugen, daß die Schwingungszeit um so größer ist und das Pendel um so langsamer schwingt, je länger das Pendel ist. Stellen wir uns zwei Pendel her, von denen das eine viermal so lang ist wie das andere, so ist die Schwingungszeit des langen Pendels gerade doppelt so groß wie die des kurzen Pendels.

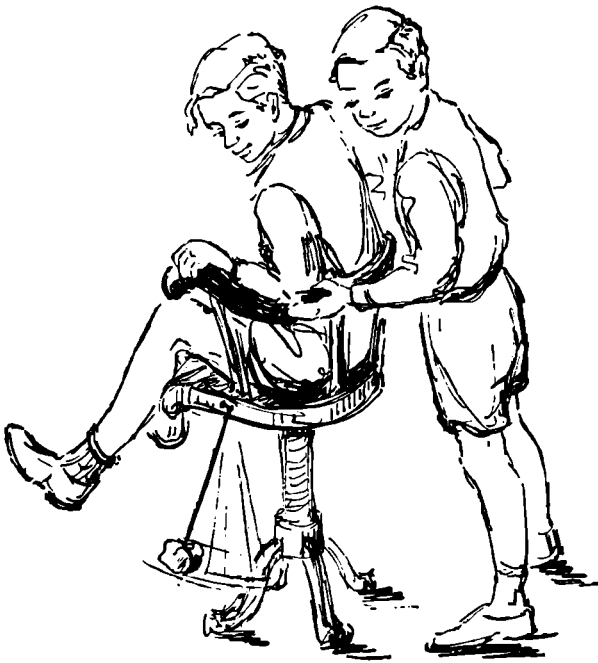
Einer der berühmten Physiker und Astronomen des 17. Jahrhunderts, der Italiener Galileo Galilei, hatte schon als junger Student im Dom zu Pisa beobachtet, daß verschieden schwere Kronleuchter von gleicher Länge die gleiche Schwingungszeit besitzen. Da die Taschenuhren noch nicht erfunden waren, benutzte er zur Zeitmessung den eigenen Pulsschlag.

Bei der Pendeluhr wird das gleichförmige Ablaufen des Uhrwerkes durch ein hin- und hertickendes Pendel erreicht, das nach jeder halben Schwingung ruckartig das Zahnradgetriebe der Uhr und damit auch die Uhrzeiger weiterlaufen läßt. Geht eine solche Uhr vor, so schwingt das steuernde Pendel zu rasch. Wenn diese Uhr richtiggehen soll, muß das Pendel also langsamer schwingen. Das erreicht man, indem man die verschiebbare Gewichtsscheibe an der Pendelstange eine Kleinigkeit nach unten verschiebt und somit das Pendel verlängert.

Hängt man an einem Zwirnsfaden ein Gewicht oder einen Stein auf, so erhält man ein schwingungsfähiges Gebilde, das als Fadenpendel bezeichnet wird



Berühmter Pendelversuch



Ein Fadenpendel schwingt unverändert immer in ein und derselben Richtung. Auch wenn das Aufhängestell gedreht wird, schwingt das Pendel weiter in seiner bisherigen Schwingungsrichtung. Wenn man dagegen am Nordpol der Erdkugel ein großes Fadenpendel schwingen ließe, so würde man feststellen, daß sich die Schwingungsrichtung des Pendels im Uhrzeigersinne dreht. Da wir aber auf Grund von Versuchen wissen, daß tatsächlich ein Pendel immer seine Schwingungsrichtung beibehält, so ist die scheinbare Änderung der Schwingungsrichtung des Pendels am Nordpol

Drehen wir langsam einen Drehstuhl, an dem das schwingende Pendel aufgehängt ist, so macht das Pendel diese Drehung nicht mit, sondern es behält seine Schwingungsrichtung bei

nur so zu erklären, daß sich die Erdkugel unter dem Pendel im Gegenuhrzeigersinn, also von West nach Ost, dreht. Der Versuch wurde im Jahre 1850 erstmalig von dem französischen Physiker Foucault in Paris angestellt. Foucault verwendete ein 67 m langes Pendel mit einer Pendelkugel von 28 kg. Ein so langes und schweres Pendel mußte genommen werden, um ein stundenlanges Schwingen des Pendels zu gewährleisten. Foucault zeigte, daß die Schwingungsrichtung dieses Pendels sich im Uhrzeigersinn drehte. Der stündliche Drehwinkel des Pendels ist in Paris allerdings kleiner als am Nordpol, da die geographische Breite des Versuchsortes einen Einfluß hat. Am Nordpol würde sich die Schwingungsrichtung des Pendels innerhalb von 6 Stunden um 90° drehen.

Durch diesen berühmten Foucaultschen Pendelversuch wurde bewiesen, daß die Erde sich in 24 Stunden einmal um ihre Achse dreht.

Zentrifugalkraft

Infolge der Schwerkraft fließt das Wasser nach unten. In unserem Versuch (Bild nächste Seite) jedoch bleibt das Wasser im Glase, auch wenn im höchsten Punkt des Kreises die Öffnung des Glases nach unten zeigt. Es muß also hier eine Kraft auftreten, durch die das Wasser im Glase gehalten wird.

Bei jeder Kreisbewegung tritt eine nach außen ziehende Kraft auf, die Zentrifugalkraft oder Fliehkraft genannt wird. Jedermann hat diese Kraft schon am eigenen Leibe gespürt, am deutlichsten beim Karussellfahren. Die Zentrifugalkraft ist um so größer, je größer die Drehgeschwindigkeit ist. In unserem Versuch wird die Zentrifugalkraft so groß, daß selbst die nach unten ziehende Schwerkraft überwunden wird und somit das Wasser im Glase verbleibt, auch wenn die Glasöffnung nach unten zeigt.

Ein wassergefülltes Glas wird in ein Ballnetz gestellt und im senkrechten Kreise rundherum geschwungen. Auch im obersten Punkt dieses Kreises bleibt das Wasser im Glas



Die Erde dreht sich in 24 Stunden einmal um ihre Achse von West nach Ost.

Wir leben also allen Ernstes auf einem Karussell. Wir merken aber im allgemeinen gar nichts von dieser Drehung, weil sich unsere gesamte Umgebung in gleicher Weise mitdreht. Die Drehgeschwindigkeit ist ganz erheblich. Stehen wir am Äquator, so bewegen wir uns mit der Erde in einer Geschwindigkeit von etwa 460 m in der Sekunde, denn die 40000 km lange Äquatorstrecke wird in 24 Stunden zurückgelegt. Das ist eine Geschwindigkeit, die ungefähr 20mal so groß ist wie die durchschnittliche Geschwindigkeit eines Kraftwagens. Je näher wir uns am Pol befinden, um so geringer ist unsere Drehgeschwindigkeit.

Die Erdkugel führt außer dieser Drehung aber noch eine weitere Bewegung aus.

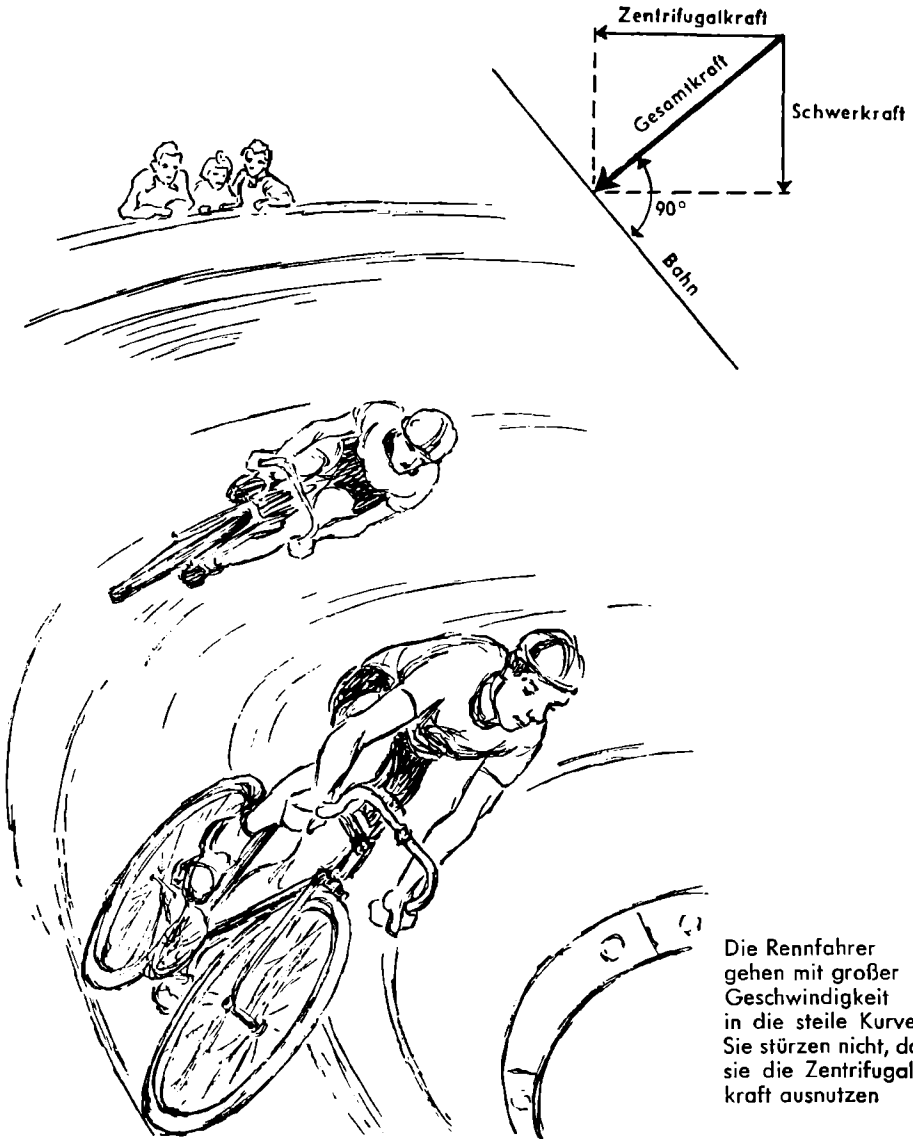
Die drehende Erde verbleibt im Weltall nicht am gleichen Ort, sondern sie bewegt sich im Laufe eines Jahres auf einer riesigen Ellipsenbahn einmal um die Sonne. In dieser fortschreitenden Bewegung hat die Erde die Geschwindigkeit von 30 km in der Sekunde.

Wir sind die Passagiere dieser rasenden Fahrt durch das Weltall und merken hiervon überhaupt nichts.

Da die Erdkugel sich in steter Drehung befindet, wird jeder Gegenstand der Erdoberfläche von der Zentrifugalkraft erfaßt.

Auch wir selbst unterliegen ihrem Einfluß.

Die Zentrifugalkraft zieht nach außen und wirkt der Schwerkraft entgegen. Wenn wir uns einmal vorstellen, daß die Erdkugel sich plötzlich schneller und schneller drehen würde, so müßte auch die Zentrifugalkraft entsprechend größer und größer werden. Und wenn die Erde sich schließlich 16mal so schnell drehte, so wäre die Zentrifugalkraft am Äquator ebenso groß wie die Schwerkraft der Erde. Das würde bedeuten, daß die Menschen, die sich am Äquator befinden, schweben würden. Dieser Zustand wird aber nie eintreten. Dazu wären sehr viele Voraussetzungen notwendig, die kaum erfüllbar sein dürften.



Die Rennfahrer gehen mit großer Geschwindigkeit in die steile Kurve. Sie stürzen nicht, da sie die Zentrifugalkraft ausnutzen



Kreisel

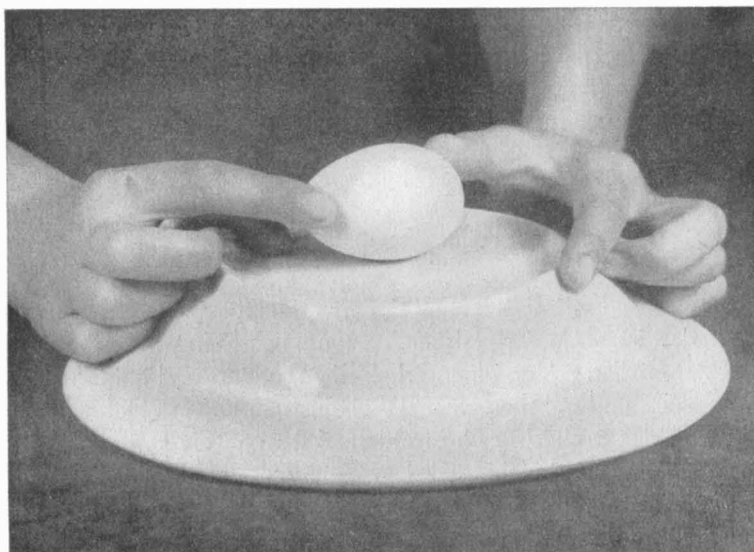
Der rotierende Kreisel steht – im Gegensatz zum ruhenden Kreisel – frei auf der Kreiselspitze. Wenn der Kreisel infolge eines Peitschenschlages springt, so bleibt die Richtung seiner Drehachse unverändert

Solange sich der Kreisel schnell dreht, verbleibt seine Drehachse unverändert immer in der gleichen Richtung. Peitschen wir den Kreisel, so setzt er dem Schlag einen erheblichen Widerstand entgegen, er weicht aus, und selbst wenn er dabei einen Sprung macht, bleibt die Richtung der Drehachse unverändert. Erst wenn die Drehgeschwindigkeit kleiner und kleiner wird, beginnt der Kreisel unter dem Einfluß der Schwerkraft immer stärker zu taumeln, bis schließlich die Seitenfläche den Boden berührt.

Wirft man einen steifen Hut hoch, so überschlägt er sich. Versetzt man ihn aber dabei in Drehung, so behält er seine senkrechte Dreh-

achse bei, so daß es bei einigem Geschick ohne weiteres gelingt, den herabwirbelnden Hut mit dem Kopf so aufzufangen, daß der Hut sofort sitzt. Im Zirkus und auf der Varieté Bühne wird beim Jonglieren, beim Werfen von Ringen, Tellern und Messern von dieser Tatsache immer Gebrauch gemacht.

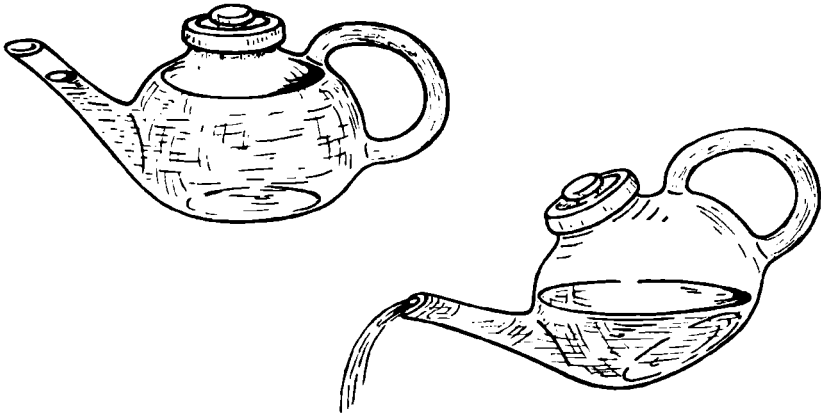
Auch ein Hühnerei kann kreiseln. Versetzen wir das Ei auf einem umgekehrten Teller in Drehung, so stellt es sich nach einigen Sekunden plötzlich sogar auf die Spitze und kreiselt weiter. Dieser Versuch gelingt allerdings nur mit einem hartgekochten Ei, niemals mit einem rohen Ei. Die Flüssigkeit im rohen Ei brems zu stark, so daß eine ausreichende Drehgeschwindigkeit nicht erzielt werden kann. Durch dieses Aufrichten des Eies beim Kreiseln kann also direkt geprüft werden, ob ein Ei roh oder gekocht ist.



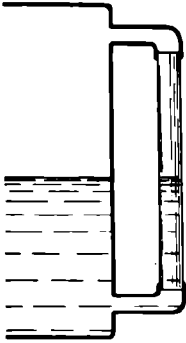
Versetzen wir das hartgekochte Ei in Drehung, so stellt es sich nach 2 bis 3 Sekunden plötzlich auf die Spitze und kreiselt dann weiter um seine Längsachse

Verbundene Gefäße

In der Teekanne und in ihrem Ausflußrohr steht die Flüssigkeit immer in gleicher Höhe



Das ist eine ganz einfache Geschichte. Die Oberfläche einer Flüssigkeit bleibt immer waagrecht, auch wenn man das Gefäß neigt. In dem Ausflußrohr steht die Flüssigkeit immer genauso hoch wie im Gefäß. Bei der Gießkanne und überhaupt immer dann, wenn zwei Röhren oder Gefäße miteinander in Verbindung stehen, ist es ebenso.



Wasserstandsglas

In verbundenen Gefäßen steht eine Flüssigkeit immer überall gleich hoch. Eine wichtige Anwendung findet dieses Gesetz im Wasserstandsglas, mit dem man den Wasserstand in einem geschlossenen Wasserkessel ablesen kann. Auch die Anlage von Wasserleitungen beruht darauf. Der Wasserspiegel im Wasserturm muß immer mindestens so hoch liegen wie die höchsten Wasserabzapfstellen, die versorgt werden sollen.

6 atü

Wenn wir den Daumen an die Öffnung des Wasserhahnes drücken und dann den Wasserhahn aufdrehen, so merken wir, daß das Wasser mit einer beachtlichen Kraft gegen den Daumen drückt. Es besteht im Wasserrohr der Leitung, wie man sagt, ein gewisser Druck. Das Wasser drückt auf jeden Quadratzentimeter der Rohrwandung mit der gleichen Kraft wie etwa ein Stempel, der mit 7 Kilopond (1 Kilopond ist – rund gerechnet – die Kraft, mit der ein 1-Kilogramm-Stück auf seine Unterlage drückt) belastet wird. Dieser Druck wird in der Technik als der Druck von 7 Atmosphären bezeichnet. Der Druck von 1 Atmosphäre wirkt also mit der gleichen Kraft auf jeden Quadratzentimeter wie 1 Kilopond. Für Atmosphäre ist in der Technik die Abkürzung at gebräuchlich. In der Wasserleitung herrscht also ein Druck von rund 7 at.

Da der Luftdruck im Zimmer rund 1 Atmosphäre beträgt, haben wir in der Wasserleitung gegenüber dem Luftdruck einen Überdruck von 6 Atmosphären. Der Überdruck in Atmosphären wird in der Technik

mit atü abgekürzt (atü wird genauso gesprochen, wie es geschrieben wird).

Das ist allerdings nur ein Durchschnittswert. Denn der Druck hängt ja von der Höhe des Wasserturmes ab, also von der Höhe, in der sich der Wasserspeicher des Versorgungsnetzes befindet. Ferner ist der Druck im vierten Geschoss geringer als im Erdgeschoss.



Im aufgepumpten Fahrradreifen bestehen etwa 2,5 atü, im Hochdruckreifen eines Kraftwagens 2,5 bis 6 atü, im Dampfkessel der Lokomotive 14 atü. Die Sauerstoffflasche, die beim Schweißen verwendet wird, hat, frisch gefüllt, 150 atü. Bläst man mit dem Munde aus Leibeskräften zum Beispiel gegen ein Stück Papier, so erreicht man etwa $\frac{1}{10}$ atü.

Ein Körper schwimmt

Salzwasser trägt besser als reines Wasser. Das bemerken die Seefahrer sehr deutlich, wenn sie zur Flußmündung hinaus auf das freie Meer fahren. Das Schiff sinkt im salzigen Meerwasser weniger tief ein als im Süßwasser des Flusses.

Archimedes, einer der größten Physiker und Mathematiker des Alter-

tums, fand um 250 v. u. Z. das nach ihm benannte Archimedische Gesetz: „Ein Körper verliert in einer Flüssigkeit soviel an Gewicht, wie die von ihm verdrängte Flüssigkeitsmenge wiegt.“ Diesen Gewichtsverlust nennen wir Auftrieb. Wenn ein Körper schwimmt, wird der gesamte Körper mit seinem Gesamtgewicht von der Flüssigkeit getragen. Nach dem Gesetz des Archimedes wiegt somit die Flüssigkeitsmenge, die vom eintauchenden Teil des schwimmenden Körpers verdrängt wird, genau soviel wie der gesamte schwimmende Körper. Ein schwimmender Körper wird also immer nur so tief in die Flüssigkeit einsinken, bis das Gewicht der verdrängten Flüssigkeitsmenge genau so groß ist wie sein Gesamtgewicht. Ist beim vollständigen Eintauchen das Gewicht des Körpers größer als das Gewicht der verdrängten Flüssigkeitsmenge, dann sinkt der Körper unter.

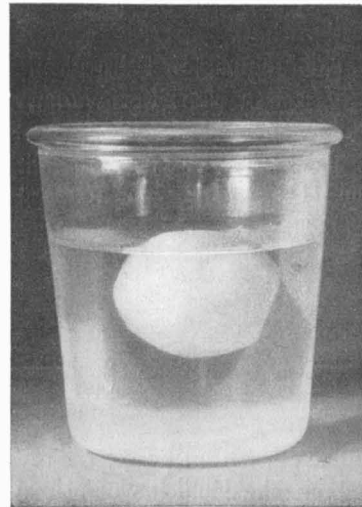
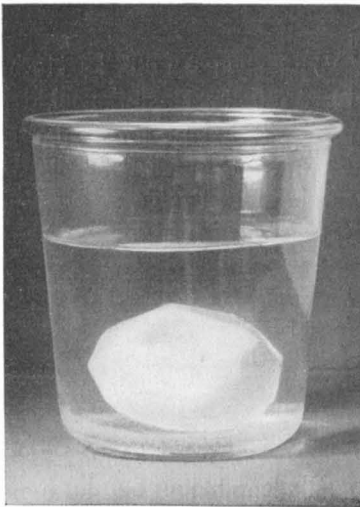
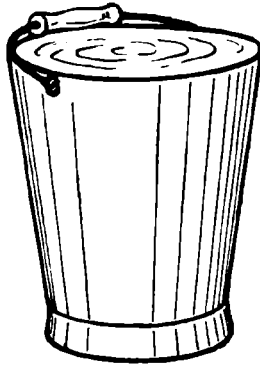
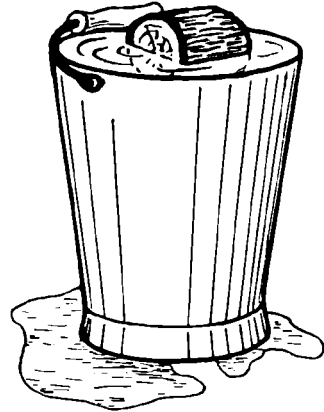


Abb. links: Eine rohe Kartoffel sinkt im Wasser unter, weil sie schwerer ist als Wasser. Abb. rechts: Lösen wir jedoch einige Eßlöffel voll Salz in Wasser, so steigt die Kartoffel auf und schwimmt

Weil Salzwasser schwerer ist als Süßwasser, wird im Salzwasser die gleiche Verdrängung schon bei einem geringeren Einsinken erreicht als im Süßwasser. Je stärker die Salzlösung in unserem Versuch gemacht wird, um so weniger tief taucht die schwimmende Kartoffel in die Flüssigkeit ein.
Und nun einmal scharf nachdenken!



Hier steht ein Eimer, bis zum Rand mit Wasser gefüllt

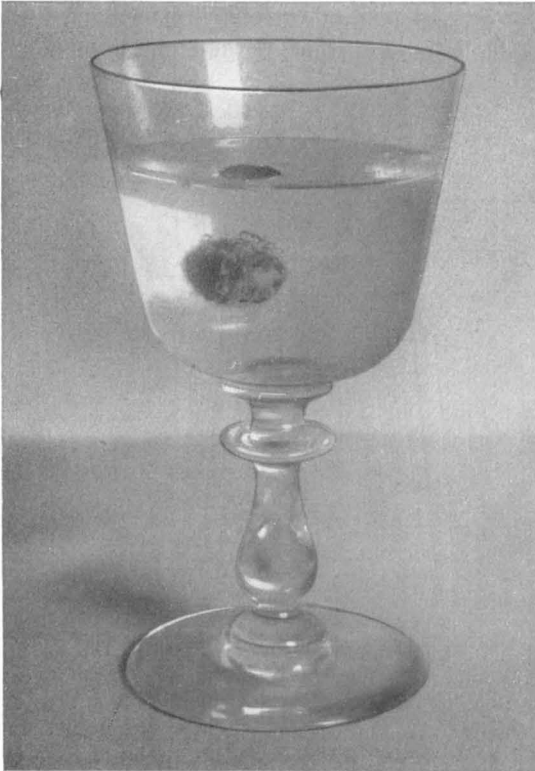


Und hier steht ein völlig gleicher Eimer, ebenfalls bis zum Rand mit Wasser gefüllt. Aber auf der Wasseroberfläche schwimmt hier noch ein dickes Scheit Holz

Welcher Eimer ist wohl schwerer?

Spiel im Selterswasser

Vor uns steht ein Glas schäumendes Selterswasser. Wir werfen eine Weinbeere hinein. Sie liegt am Boden. Sofort scheiden sich an der Beere kleine Bläschen von Kohlensäure aus. Wie winzige Luftballons haften sie an der Beere. Bald haben sich so viele Bläschen abgesetzt,



Unermüdlich
taucht die Wein-
beere im Selters-
wasser auf und
nieder



daß die Beere sich in Bewegung setzt und in lustiger Ballonfahrt nach oben steigt. An der Flüssigkeitsoberfläche platzen die Ballons, und die Kohlensäure entweicht aus dem Glase. Dadurch verliert die Beere ihren Auftrieb und taucht wieder zum Boden des Glases. Das Spiel wiederholt sich. Es ist lustig anzusehen, wie die Weinbeere unermüdlich auf- und niedertaucht.

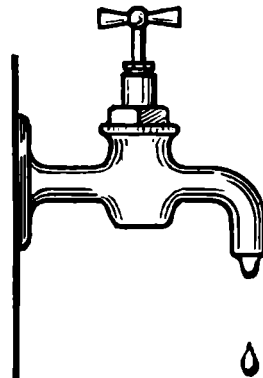
Selterswasser wird aus natürlichem Wasser hergestellt, in das man unter Druck ein Gas, die sogenannte Kohlensäure, hineinpreßt. Je

größer der Druck ist, um so mehr Kohlensäure löst sich im Wasser. Sobald wir die Flasche öffnen, beseitigen wir den in der geschlossenen Flasche herrschenden Überdruck. Unter Sprudeln und Schäumen entweicht ein großer Teil der gelösten Kohlensäure. Besonders leicht scheidet sich die Kohlensäure an festen Körpern wieder aus, die mit der Flüssigkeit in Berührung kommen. Deshalb entstehen Bläschen an der Weinbeere und auch an der Glaswandung. Dieses farblose Gas, das dem Selterswasser den erfrischenden Geschmack vermittelt, wird im allgemeinen kurz Kohlensäure genannt. Die Chemiker sind mit dieser Bezeichnung der Umgangssprache allerdings nicht ganz einverstanden. Sie nennen dieses Gas „Kohlendioxyd“ und verstehen unter Kohlensäure nicht das Gas, sondern die chemische Verbindung dieses Gases mit Wasser.

Der Wasserhahn tropft

Langsam füllt sich der Tropfen am Wasserhahn. Man hat den Eindruck, als sei der Tropfen von einem Säckchen aus elastischer Haut umspannt, das sich schließlich oben einengt und abreißt, wenn der Tropfen zu schwer wird.

Ähnlich etwa wie in einem elastischen Gummihütchen sind auch die Teilchen einer Flüssigkeitsoberfläche durch Anziehungskräfte aneinander gebunden, die einer Verformung der Oberfläche entgegenwirken. Diese sogenannte Ober-



Tropfenspiel am Wasserhahn



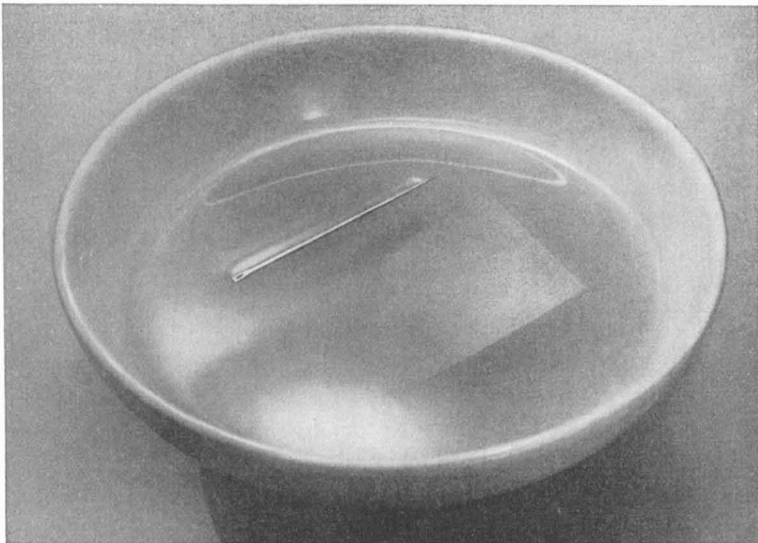
Auf Tümpeln und ruhenden Gewässern beobachtet man oft Wasserläufer, die wie Schlittschuhläufer ruckartig auf der Wasseroberfläche dahingleiten

flächenspannung bewirkt, daß zum Eindringen in eine Flüssigkeit ein gewisser Widerstand überwunden werden muß, der immerhin groß genug ist, um dem Wasserläufer seine Spaziergänge auf der Wasseroberfläche zu ermöglichen. Daß dessen Bewegung auf der Wasseroberfläche nicht etwa schwimmartigen Charakter besitzt, sondern auf Ausnutzung der Oberflächenspannung beruht, wird uns verständlich durch den auf der nächsten Seite abgebildeten kleinen Versuch. Wir füllen ein Glasschälchen mit Wasser. Ein Blättchen Zigarettenpapier, wie man es zum Drehen von Zigaretten verwendet, wird vorsichtig auf die Wasseroberfläche gebracht. Auf das schwimmende Blättchen wird eine Nähnadel gelegt. Nach kurzer Zeit ist das Papierblättchen vom Wasser durchtränkt und geht unter. Die Nähnadel aber liegt frei auf der Wasseroberfläche. Die Nähnadel schwimmt nicht etwa im üblichen Sinn dieses Wortes; denn ein Körper schwimmt nur dann auf dem Wasser, wenn sein Gewicht geringer ist als die von ihm verdrängte Wassermenge. Die Nähnadel aber besteht aus Stahl; sie ist schwerer als die ihrem Rauminhalt entsprechende Wassermenge. Eigentlich müßte sie zu Boden sinken, aber sie wird in unserem Versuch von der Oberflächenspannung des Wassers getragen.

Gelegentlich geht beim Versuch das Papierblättchen nicht von selbst unter. Wir können nachhelfen, indem wir mit einem Bleistift die eine Ecke des Blättchens vorsichtig unter die Wasseroberfläche drücken und somit das Absacken des Blättchens einleiten.

Regentropfen und alle frei fallenden Wassertropfen werden von der Oberflächenspannung zusammengehalten. Die Oberflächenspannung bewirkt, daß die Oberfläche möglichst klein wird. Deshalb nimmt jeder Tropfen Kugelform an, wenn nicht andere Kräfte, etwa das eigene Gewicht oder der Luftwiderstand, Verformungen bewirken; denn von allen Körpern mit gleichem Rauminhalt hat die Kugel die kleinste Oberfläche.

Eine Nähnadel schwimmt auf dem Wasser



Mit weichem Löschpapier ist der Tintenlecks rasch trockengelegt. In dem senkrecht gehaltenen saugfähigen Papier steigt die Tinte einige Zentimeter empor



Ein Tintenlecks

Entgegen allen Gesetzen der Schwerkraft steigt die Tintenflüssigkeit im Löschpapier langsam senkrecht aufwärts. Es muß in dem saugfähigen Papier also irgendeine Kraft wirksam sein, durch die die nach unten ziehende Schwerkraft überwunden wird und somit die Tinte wie in einem Fahrstuhlschacht langsam gehoben wird.

Die gleiche Beobachtung machen wir auch, wenn wir ein Stück Würfelzucker mit seinem unteren Rand in unseren Kaffee eintauchen. Rasch steigt der braune Kaffee im weißen Zuckerblock empor.

Diese Saugfähigkeit ist bedingt durch winzige Hohlräume und Poren, die sowohl im Löschpapier als auch im Würfelzucker vorhanden sind. Alle solchen porösen Körper sind von einem fein verästelten System winziger Zwischenräume durchsetzt, die untereinander in Verbindung stehen. Der ganze Körper ist somit aufgelockert durch ein Gespinst von feinsten Röhrchen, deren Gänge so fein und eng sind wie etwa ein dünnes Haar. In solchen Haarröhrchen steigt das Wasser um so höher, je enger die Röhrchen sind.

Die Moleküle des Glases wirken mit Anziehungskräften auf die Moleküle des Wassers ein und heben es empor. Je enger das Röhrchen ist, desto höher steigt die Flüssigkeit. Im Haarröhrchen ist diese sogenannte Anhangskraft (Adhäsionskraft) stärker als die Zusammenhangskraft (Kohäsionskraft), durch die die Moleküle des Wassers zusammengehalten werden. Diese Anhangskraft und damit auch der Flüssigkeitsanstieg sind im gleichen Haarröhrchen bei verschiedenen Flüssigkeiten verschieden groß. Es gibt sogar Flüssigkeiten, die im Haarröhrchen nicht hochgesaugt, sondern heruntergezogen werden. Das sind die sogenannten nicht-benetzenden Flüssigkeiten, wie Quecksilber, das im Gegensatz zu Wasser am Glas nicht haftet. Die Saugfähigkeit eines Schwammes oder eines Handtuches und das Aufsteigen der Kerzenflüssigkeit im Docht beruhen ebenfalls auf der Haarröhrchenwirkung. Im Ackerboden steigt bei Trockenheit das Bodenwasser in den Haarröhrchen, die den Ackerboden durchziehen, bis zur Pflanzenwurzel empor.

Die gleiche Bedeutung hat im tierischen und menschlichen Körper die feinste haarröhrenähnliche Verästelung der Blutgefäße. Mit dem Blut werden den einzelnen Zellen durch Haarröhrenwirkung die zum Leben notwendigen Nährstoffe zugeführt.

Streichholzspiel

Das kleine Kunststück, das auf der nächsten Seite abgebildet ist, beruht auf der Quellung des nassen Holzes. Beim Trocknen schrumpft Holz zusammen. Beim Anfeuchten von trockenem Holz quillt es auf. Das können wir gelegentlich auch im Waschhaus beobachten. Wenn zur großen Wäsche die Holzwannen aus dem Keller geholt werden,

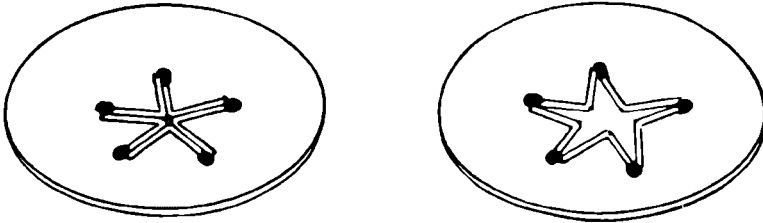


Abb. links: 5 Streichhölzer werden in der Mitte geknickt und auf einer Unterfasse zu obiger Figur zusammengelegt. Ohne die Streichhölzer zu berühren, soll aus ihnen ein Stern gebildet werden. Wer kann das?

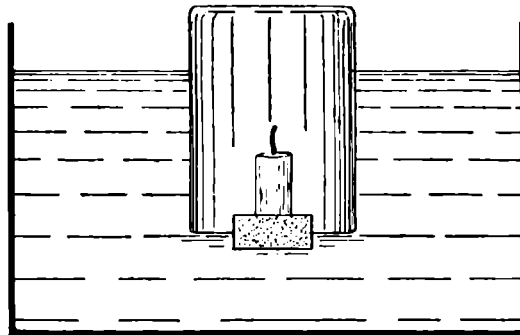
Abb. rechts: In die Mitte der Streichholzfigur läßt man einige Tropfen Wasser fallen. Langsam biegen sich die Hölzer und bilden einen Stern

sind diese manchmal so ausgetrocknet, daß sie nicht mehr dicht sind und das Wasser auslaufen lassen. Die Mutter füllt die Wannen aber trotzdem mit Wasser. Denn dabei wird vom Holz Wasser aufgesaugt, und durch die eintretende Quellung des Holzes werden die Fugen wieder geschlossen.

Ist das Glas leer?

Auf die Wasseroberfläche legen wir zuvor eine Korkscheibe, auf der wir vielleicht noch ein kleines Figürchen oder einen Kerzenstumpf befestigt haben. Über den Kork stülpen wir das leere Glas und drücken es sachte unter die Wasseroberfläche.

Es war eigentlich falsch, wenn wir sagten, daß wir ein leeres Glas über den Kork stülpten. Wir hätten genauer sagen sollen: ein luftgefülltes Glas. Wir beobachten beim Versuch, daß das Wasser nicht ins Glas eindringt, eben weil das Glas mit Luft gefüllt ist. Jeder Körper nimmt einen Raum ein. Das ist ganz selbstverständlich. Nur dürfen wir dabei nicht vergessen, daß auch die Luft ein solcher Körper ist, der Raum ausfüllt.



Wir drücken ein
leeres Glas unter
Wasser

Gießen wir zum Beispiel eine Flüssigkeit durch einen Trichter in eine Flasche, so müssen wir dafür sorgen, daß die Luft aus der Flasche zwischen Trichter und Flaschenhals entweichen kann. Sonst kann die Flüssigkeit nicht eindringen. Umgekehrt kann Bier aus einem Faß nur auslaufen, wenn der Luft die Möglichkeit gegeben wird, über das Spundloch ins Faß einzudringen.

Mit unserm Versuch zeigten wir zugleich das Modell einer Taucherglocke, wie sie zu Unterwasserarbeiten verwendet wird.

Wenn wir genau beobachten, so stellen wir in unserem Versuch fest, daß das Wasser doch ein wenig ins Glas vordringt. Das überstehende Wasser übt nämlich auf die Luft im Glase einen Druck aus und drängt die Luft etwas zusammen.

Wir müssen Kraft aufwenden, wenn wir das Glas unter Wasser tauchen. Das Glas mit der in ihm enthaltenen Luft hat einen bestimmten Auftrieb. Die vom Glas verdrängte Wassermenge ist schwerer als das Gewicht des Glases. Deshalb ist der nach oben drückende Auftrieb stärker als das nach unten ziehende Gewicht.

Um diesen Auftrieb zu überwinden, wird die Taucherglocke in eine schwere Eisenkonstruktion eingebaut. Das Eigengewicht ist dann größer als der Auftrieb, so daß die Taucherglocke an einer Kette ins Wasser hinabgelassen werden kann.

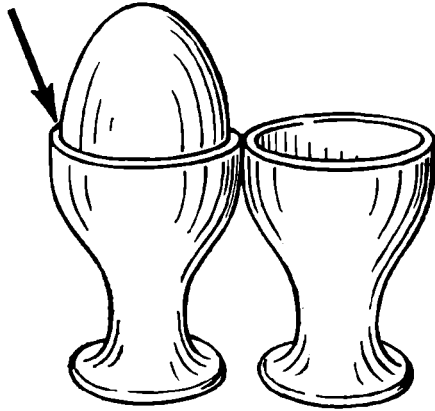
Eierpusten

Zwei Eierbecher werden dicht nebeneinandergestellt. In dem ersten Becher sitzt ein hartgekochtes Ei. Pusten wir kräftig in der Pfeilrichtung gegen den Becherrand, so wird das Ei herausgehoben und setzt sich in den benachbarten leeren Becher.

Die Luft dringt zwischen Ei und Becherrand in den unteren Teil des

Bechers, wird dort zusammengepreßt und hebt das Ei heraus, obwohl doch ein Ei, verglichen mit Luft, recht schwer ist.

Zusammengepreßte Luft besitzt, ähnlich wie eine Spiralfeder, eine beträchtliche Spannkraft. Deshalb sind Luftpolster zur Abfederung von Erschütterungen und Stößen besonders geeignet. Ein Ball aus Vollgummi federt bei weitem nicht so stark wie ein luftgefüllter Gummiball. Erst mit der Erfindung des Luftreifens wurde jenes weiche und fast stoßfreie Fahren ermöglicht, das uns heute beim Fahrrad und Auto als selbstverständlich erscheint.



Blasen wir kräftig in der Pfeilrichtung, so steigt das Ei aus dem Becher und springt in den danebenstehenden leeren Eierbecher

Barometer

Mit dem Barometer wird der Luftdruck gemessen. Im Bild auf der folgenden Seite lesen wir den Barometerstand 768 ab. Das heißt: Die Luft übt im Augenblick und am Ort der Messung den gleichen Druck aus wie eine 768 mm hohe Quecksilbersäule. Quecksilber ist schwer. Eine Quecksilbersäule, deren Grundfläche 1 cm² beträgt, wiegt bei

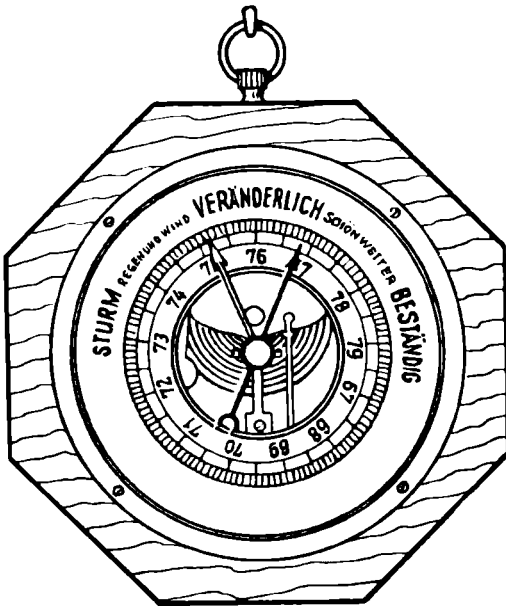
755 mm Höhe fast ebensoviel wie 1 kg. Der Druck, den ein 1-Kilogramm-Stück auf 1 cm² ausübt, wird als eine Atmosphäre bezeichnet. Der obige Luftdruck beträgt also rund 1 at.

Die Lufthülle der Erdkugel reicht bis zu 1000 km hoch. Sie lastet vermöge ihres Gewichtes auf der Erdoberfläche mit dem gleichen Druck, wie es eine Quecksilbersäule von rund 76 cm Höhe tun würde.

Der Luftdruck ist von Ort zu Ort verschieden, und er ist außerdem vom jeweiligen Wetter abhängig. Aber, wie gesagt, er entspricht im allgemeinen rund gerechnet dem Druck von 1 at.

Der Luftdruck wirkt nach allen Seiten. Infolgedessen drückt er auf jeden Quadratzentimeter unseres Körpers mit der gleichen Kraft, mit der ein 1-Kilogramm-Stück auf eine Unterlage drückt. Die Oberfläche des menschlichen Körpers beträgt etwa 15000 cm². Somit drückt der Luftdruck auf unseren Körper mit der gleichen Kraft wie

rund 15000 1-Kilogramm-Stücke. 15000 kg, das sind 300 Ztr.! Daß wir diesen Druck aushalten, liegt daran, daß der gleiche Druck sich auch unserem Blute mitteilt und somit eine gleich große, von innen nach außen wirkende Gegenkraft vorhanden ist. Das Barometer enthält eine luftleere Blechdose, die vom schwankenden Luftdruck mehr oder weniger stark zusammengedrückt wird. Die Durchbiegung des



Wetterglas, Barometer

Dosendeckels wird durch einen Mechanismus auf den drehbaren Zeiger übertragen.

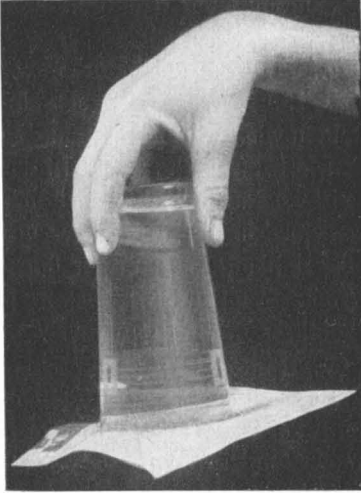
Nehmen wir einmal das Barometer von der Wand und machen wir mit ihm eine kleine Wanderung durchs Haus! Wir messen erst einmal den Luftdruck im Keller. Dann steigen wir hoch und messen den Luftdruck im Dachgeschoß. Wir stellen fest: Im Dachgeschoß ist der Luftdruck geringer als im Keller. Das ist verständlich, denn je höher wir steigen, um so geringer ist das Gewicht der noch über uns stehenden Luftsäule. Wir finden, daß bei 10 m Erhebung der Barometerstand um rund 1 mm fällt. Wir müssen uns nur vorher vergegenwärtigen, daß unser Barometer einwandfrei arbeitet und auf den geringsten Unterschied im Luftdruck anspricht.

Man kann also ein Barometer direkt als Höhenmesser verwenden. Der mittlere Barometerstand in Meereshöhe, zum Beispiel in Kiel, beträgt 760 mm. Der mittlere Barometerstand in München beträgt dagegen nur 713 mm, weil München rund 470 m (genau: 520 m) über dem Meeresspiegel liegt. Auf dem Brocken mißt man einen mittleren Barometerstand von nur 660 mm. Berlin hat einen mittleren Barometerstand von 757 mm.

Umgekehrtes Wasserglas

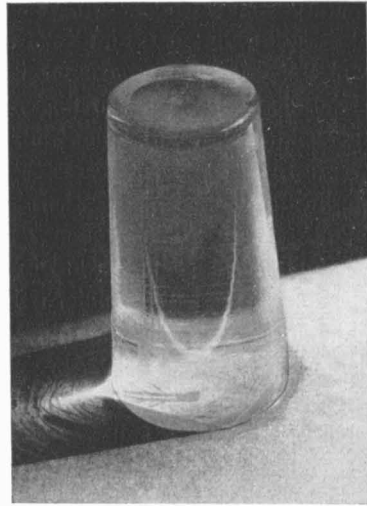
Wir füllen ein Trinkglas bis oben an mit Wasser. Wir bedecken es mit einem Stück Zeitungspapier, das wir uns in geeigneter Größe viereckig geschnitten haben. Wir drücken eine Handfläche auf das Papier und kehren das Glas um. Langsam nehmen wir die Hand unter dem Papier weg! Das Wasser bleibt im Glase, obwohl die Öffnung nach unten zeigt, wie unser Bild auf der nächsten Seite zeigt.

Das Wasser im Glase wird vom Luftdruck gehalten. Der Luftdruck wirkt an jeder Stelle nach allen Seiten, also auch nach oben. Das Papier dient nur zum Herstellen einer glatten Fläche.



Ein gefülltes Wasserglas steht
– Öffnung nach unten – auf
dem Tisch

Aus dem umgekehrten Glas
läuft das Wasser nicht aus

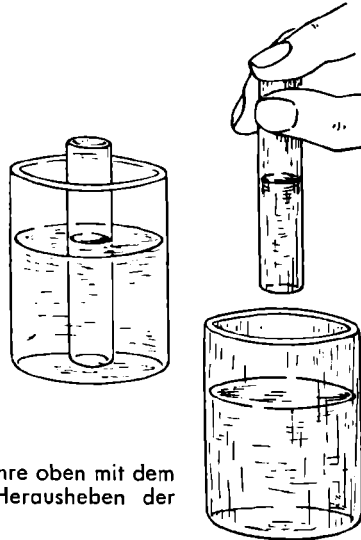


Wenn wir dieses Glas jetzt mit der Öffnung nach unten auf den Küchentisch stellen, können wir sogar vorsichtig das Papier unter dem Glase wegziehen. Auch jetzt bleibt das Wasser im Glase. Dann steht also ein gefülltes Wasserglas mit der Öffnung nach unten auf dem Tisch.

Das ist gewiß nichts Alltägliches. Fordern wir einen Ahnungslosen auf, er möchte uns doch noch einmal das Glas da drüben vom Küchentisch herüberreichen, so wird er wohl ein wenig erschrecken über den unerwarteten Wasserfall, der sich da plötzlich aus dem Glase ergießt.

Stechheber

Stellen wir eine Glasröhre in ein Glas mit Wasser, so steigt das Wasser in der Glasröhre ebensohoch wie im Glas

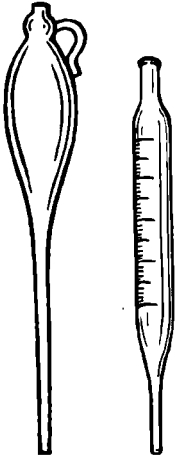


Verschließen wir die Glasröhre oben mit dem Daumen, so fließt beim Herausheben der Glasröhre kein Wasser aus

Das Wasser in der Röhre wird vom Luftdruck gehalten. Da der Luftdruck nach allen Seiten wirkt, so drückt er von unten gegen die Wassersäule und hindert sie am Auslaufen.

Der Stechheber wird häufig zur Entnahme von Flüssigkeiten aus großen Gefäßen und Fässern verwendet.

Die Chemiker benutzen in ähnlicher Weise die sogenannte Pipette, um eine bestimmte Flüssigkeitsmenge aus einem größeren Vorrat herauszunehmen. Die Pipette wird mit ihrem unteren Ende in die Flüssigkeit getaucht. Mit dem Munde wird die Flüssigkeit in der Pipette bis über den Begrenzungsstrich hochgesaugt. Dann wird die

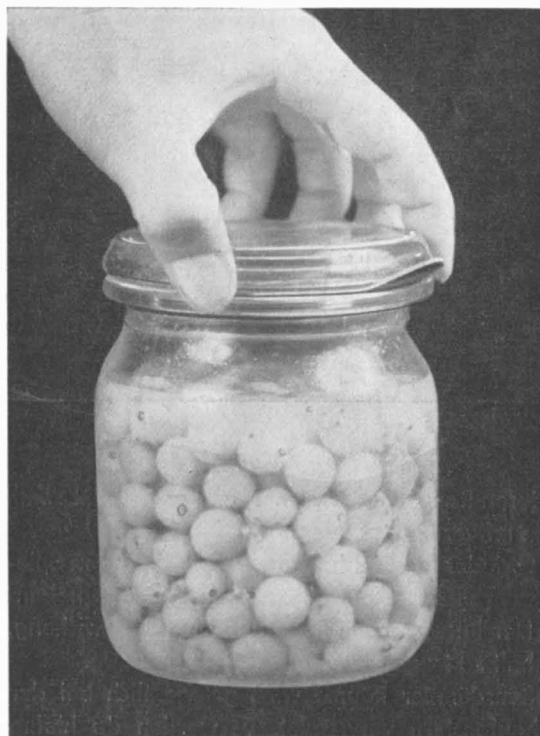


Pipette oben mit dem Daumen verschlossen und nochmals vorsichtig so lange geöffnet, bis die über dem Begrenzungsstrich stehende Flüssigkeit abgelaufen ist. Dann befindet sich in der Pipette die vorgesehene Flüssigkeitsmenge von beispielsweise 50 cm³.

Abb. links: Stechheber Abb. rechts: Pipette

Luftleerer Raum

Wir können ein Einmachglas am Deckel anfassen und hochheben. Es gelingt uns nicht, den Deckel abzuheben. So fest haftet er am Glase. Erst wenn der Gummiring herausgezogen wird, dringt Luft ins Glas ein, und dann läßt sich der Deckel bequem abheben. Beim Einkochen wird durch den entstehenden Wasserdampf die Luft größtenteils aus dem Glase hinausgedrängt. Beim anschließenden Abkühlen verdichtet sich der größere Teil des Wasserdampfes zu Wasser, und es entsteht somit über dem Eingemachten ein stark luftverdünnter Raum. Die Außenluft drückt auf jeden Quadratzentimeter des Deckels ebensostark wie das Gewicht eines 1-Kilogramm-Stücks. Hat der Deckel einen Durchmesser von 10 cm, so hat er eine Fläche von rund 80 cm². Auf diesen Deckel drückt der Luftdruck ebensostark wie 80 1-Kilogramm-Stücke. Es ist unmöglich, mit der Hand eine gleich große Gegenkraft aufzubringen, um den Deckel aufzuheben.

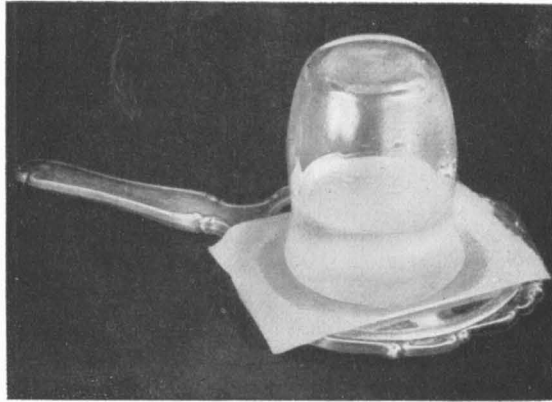


Fassen wir das Glas am Deckel und heben es dann, so hängt das schwere Weckglas samt Inhalt am Deckel

Luftverdünnter Raum

Ein leichtes Glas wird zur Hälfte mit Wasser gefüllt. Auf das Glas legen wir ein Stück gutes Löschpapier und überdecken es mit einer Glasscheibe, zum Beispiel einem Handspiegel. Jetzt kehren wir das Glas um und stellen es auf den Tisch. Durch das Filtrierpapier wird etwas Wasser aus dem Glase herausgesaugt. Die Luft nimmt deshalb

Das Filtrierpapier saugt Wasser aus dem Glase



im Glase einen größeren Raum ein als vorher, und es entsteht somit über dem Wasser ein luftverdünnter Raum.

Kehren wir das Glas wieder um und heben wir vorsichtig den Spiegel, so klebt das Glas ganz fest am Spiegelglas, wie das nebenstehende Bild zeigt. Der luftverdünnte Raum hat eine Saugwirkung, die das Glas samt Inhalt zu tragen vermag.

Die Saugwirkung luftverdünnter Räume wird gelegentlich bei der Dekoration von Schaufenstern verwendet. Es werden da kleine Gummiteiler von innen an das Schaufenster gedrückt, die sich festsaugen und somit zum Tragen von auszustellenden Gegenständen verwendet werden können.

Viele niedere Tiere, zum Beispiel Blutegel, haben solche Saugnäpfe, mit denen sie sich festsaugen. Auch die erstaunliche Fähigkeit der Fliege, an der Fensterscheibe senkrecht aufwärtszulaufen und an der Zimmerdecke spazierenzugehen, ohne herunterzufallen, beruht auf der Wirkung von Saugnäpfen, die die Fliege an ihren Füßen hat. Der Laubfrosch hält sich ebenfalls mit den Saugnäpfen seiner Zehen an der senkrechten Glaswand fest.

Das Glas hat
sich an der
Glasscheibe
festgesaugt

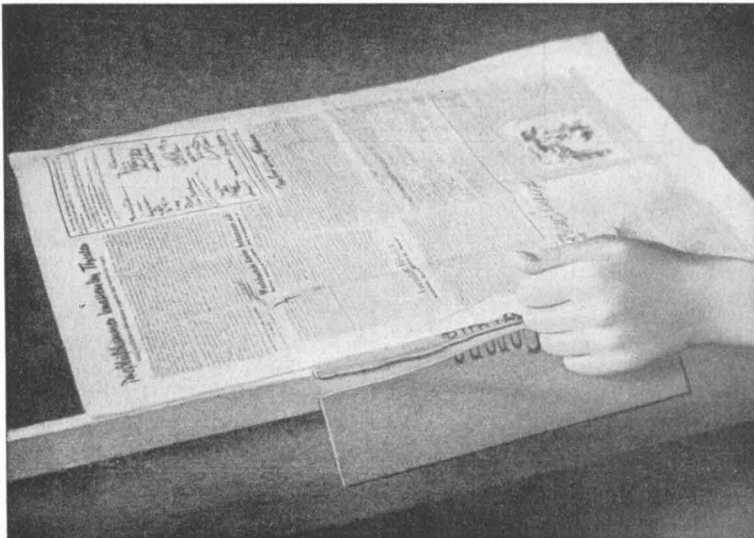


Luftdruck-Kraftprobe

Wir legen über den Rand des Tisches den Holzdeckel einer Zigarrenkiste, so daß er etwa zur Hälfte über den Tischrand hinausragt. Führen wir mit dem Finger einen leichten Schlag auf die überstehende Bretthälfte, so fällt das Brett natürlich sofort zu Boden. Wir legen das Brettchen nochmals über den Tischrand. Über die nicht überstehende Deckelhälfte legen wir jetzt ein Blatt Zeitungspapier. Mit

der Handfläche streichen wir das Papier schön glatt, so daß es auf der Tischplatte und auf dem Brettchen dicht anliegt. Aus dem gleichen Grunde wird das Zeitungspapier an den Kanten des Brettchens mit dem Fingernagel gefalzt. Führen wir jetzt einen kurzen, kräftigen Faustschlag gegen die überragende Bretthälfte, so bricht das Brett in der Mitte durch. Das verblüffende Ergebnis ist dadurch zu erklären, daß das Brett bei dem Schlag vom Zeitungspapier festgehalten wurde, etwa wie von einem Schraubstock. Die starke Haltekraft wird durch den Luftdruck, der auf dem Zeitungspapier lastet, bewirkt.

Ein Faustschlag auf den Zigarrenkistendeckel – das Brettchen bricht



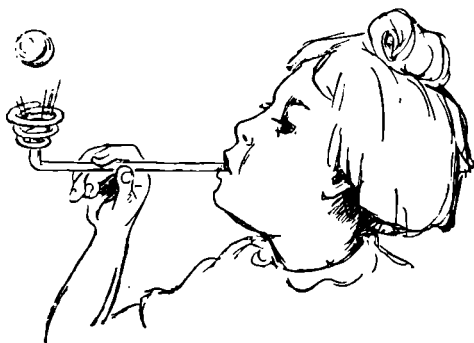
Saugwirkung eines Luftstromes

Durch den erzeugten Luftstrom entsteht über dem senkrechten Röhrchen der Spritze ein Unterdruck, der die Flüssigkeit ansaugt. Gerät die Flüssigkeit in den Blasstrom, so wird sie mitgerissen und fein zerstäubt. Die Saugwirkung ist um so größer, je größer die Geschwindigkeit der strömenden Luft ist. In gleicher Weise arbeiten auch jene Wasserzerstäuber, die man zum feinsten Besprengen von Topfpflanzen verwendet. Auch das Spritzverfahren für Farben und Lacke beruht auf der Saugwirkung der verwendeten strömenden Preßluft.

Legt man auf den Kopf einer Tonpfeife, mit der wir beispielsweise auch Seifenblasen machen können, ein Stück Papier, das die Öffnung überdeckt, und pustet man kräftig in das Mundstück hinein, so sollte man meinen, daß das Papier durch die entweichende Luft weggeblasen wird.

Bläst man in eine Fixativspritze, so entsteht ein feiner Sprühregen





Zelluloidball im Luftstrom

Es tritt jedoch das Gegenteil ein. Durch die Saugwirkung des Luftstromes wird das Papier fest an die Auflage herangesogen, so daß es unmöglich ist, das Papier herunterzublasen.

Auf der Saugwirkung eines Luftstromes beruht auch jenes verblüffend wirkende Spielzeug, bei dem ein leichter kleiner Zelluloidball in einem Luftstrom festgehalten wird, den man mit dem Mund erzeugt. Der Ball wird nur einige Zentimeter hoch gestoßen, schwebt – und haftet dann, leicht hin- und herschaukelnd, im Luftstrom, vermöge der Saugwirkung der strömenden Luft.

Rauchringe

Wir verwenden eine Pappschachtel mit gut sitzendem Deckel. In den Deckel schneiden wir ein Loch von etwa 3 cm Durchmesser. Durch das Loch hindurch lassen wir Vater Tabakrauch in die Schachtel blasen. Schnippen wir jetzt mit dem Finger gegen die Rückwand der Schachtel, so schießt aus dem Loch ein wunderschöner Rauchring

In einfachster
Weise erzeugen
wir wandernde
Rauchringe



heraus. Dutzende von Rauchringen können wir so erzeugen und dabei die Wirbelbewegung innerhalb des Ringes beobachten. Mit einem größeren Kasten, dessen Rückwand durch ein Stück Leder oder Pergament ersetzt ist, lassen sich dicke und größere Rauchringe erzeugen, die einige Meter weit wandern. Schießt man solche Ringe gegen eine brennende Kerze, so zuckt die Kerzenflamme zusammen, oder sie verlischt sogar, wenn der Rauchring den Docht berührt. Ist der Kasten nur mit Luft – also nicht mit Rauch – gefüllt, so entstehen ebenfalls solche Wirbelringe, die allerdings nicht sichtbar

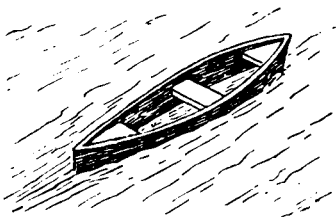
sind. Wir können sie aber nachweisen durch die geschilderte Einwirkung auf eine brennende Kerze. Der rauchgefüllte Kasten wird dabei zunächst auf die Kerze eingezielt, so daß jeder Rauchring die Flamme trifft und sie zum Verlöschen bringt. Ist der Kasten dann nur noch mit Luft gefüllt, so wird die Kerze durch einen Schlag gegen die Rückwand ebenfalls zum Verlöschen gebracht. Die Vorführung des letzteren Versuches wirkt sehr geheimnisvoll, da die Wirbelringe der Luft nicht sichtbar sind und ihre Wanderung mit dem Auge nicht verfolgt werden kann.

Stromlinienkörper im fließenden Wasser

Wir wollen einige lehrreiche Versuche am fließenden Wasser, am Ufer eines Baches oder Flusses, anstellen.

Schnitzen wir aus Baumrinde ein kleines Boot in der Form des Stromlinienkörpers und halten es an einem Faden schwimmend in die Strömung, so beobachten wir nur eine geringe Wirbelbildung. Viele Fische und Vögel haben eine Körperform, die dem idealen Stromlinienkörper sehr nahekommt und ihnen die rasche Bewegung ermöglicht.

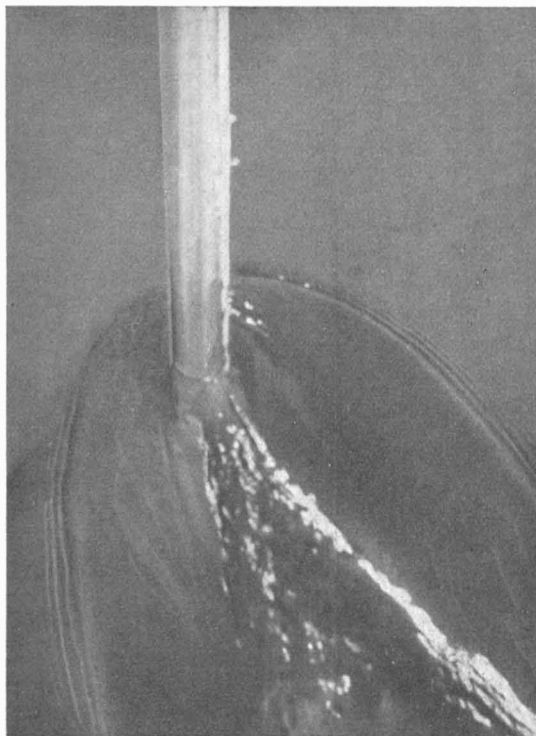
Wir tauchen einen Stab oder einen Pfahl in die Strömung. Hinter



Am Stromlinienkörper entstehen praktisch keine Wirbel. Deshalb bietet der Stromlinienkörper den geringstmöglichen Widerstand

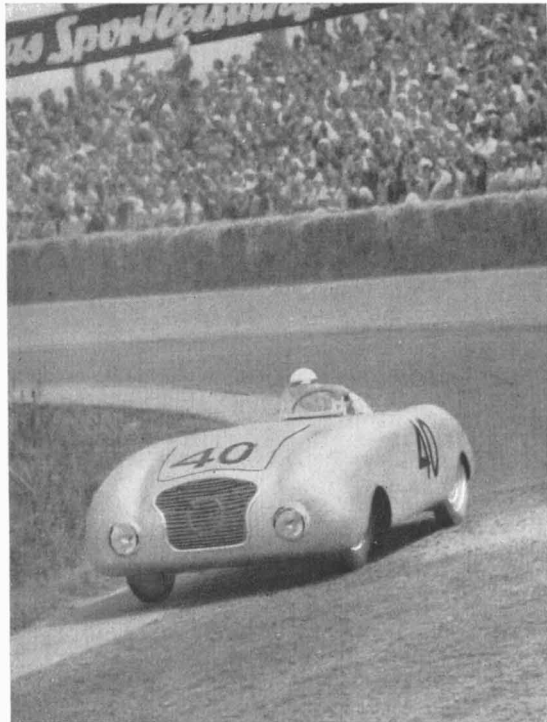
dem Stab kommt das Wasser in eine eigentümliche drehende Bewegung. Man sagt, es bilden sich Wirbel. Diese Wirbel lösen sich ab und werden von der Strömung fortgetragen. Da sich immer neue Wirbel bilden, entsteht eine ganze „Wirbelstraße“.

Dabei ist es gleichgültig, ob wir einen Stab ruhig in ein strömendes Wasser hineinhalten oder ob wir im stehenden Wasser einen eingetauchten Stock bewegen. Immer entstehen auf der Rückseite diese eigentümlichen Wirbel, die mit einer ausgesprochenen Saugwirkung die ursächliche Bewegung bremsen.



Im strömenden Wasser beobachten wir hinter einem eingetauchten Stab oder Pfahl wirbelförmige Bewegungen

Fährt ein Kraftwagen auf der herbstlichen Landstraße, so wird mit den aufgewirbelten Blättern unter der Staubwolke die Saugwirkung jenes Wirbels, der jetzt auf der Bewegung von Luft beruht, sichtbar. Diese Wirbel sind die wesentliche Ursache für den Widerstand, der sich der Bewegung eines Körpers im Wasser oder in der Luft entgegenstemmt. Rennwagen, D-Zuglokomotiven und Schiffe werden deshalb oft mehr oder weniger in der tropfenförmigen, sogenannten Stromlinienform verkleidet, durch die die Wirbelbildung vermindert wird.



Stromlinien-
verkleidung
eines Renn-
wagens

WÄRMELEHRE

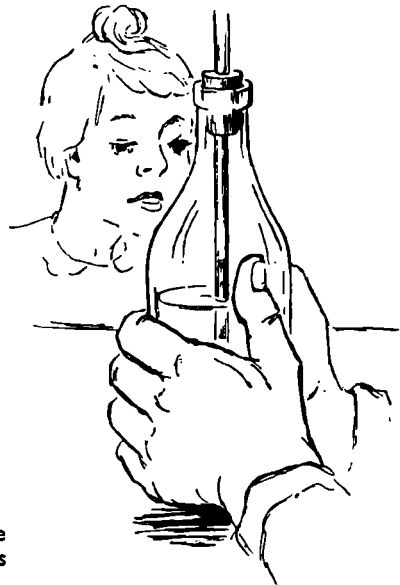
Ausdehnung durch Wärme

Der gutschitzende Korken einer dünnwandigen Glasflasche wird mit einer glühenden Stricknadel durchbohrt. Durch die Bohrung wird ein Glasrohr gesteckt, das bis in das Wasser in der Flasche hinabreicht.

Schon die Wärme der angelegten Hände genügt, um die Luftmenge in der Flasche so weit auszudehnen, daß der Wasserspiegel zurückgedrängt wird und das Wasser im Glasrohr emporsteigt.

Je stärker die Erwärmung ist, um so mehr dehnt sich die Luft aus. Wird ein Gas von 0° auf 1° erwärmt, so dehnt es sich um $\frac{1}{273}$ seines Rauminhaltes aus. Auch bei der weiteren Erwärmung auf 2° , 3° , 4° und so fort vergrößert sich der Rauminhalt des Gases jeweils um $\frac{1}{273}$ desjenigen Rauminhaltes, den diese Gasmenge bei 0° innehatte.

Auch die Flüssigkeiten dehnen sich aus, wenn sie erwärmt werden. Ihre Ausdehnung ist jedoch viel geringer als die Ausdehnung der Gase, sie ist bei jeder Flüssigkeit verschieden groß. Die Ausdehnung



Durch die Handwärme dehnt sich die Luft in der Flasche aus und treibt das Wasser in die Glasröhre hoch

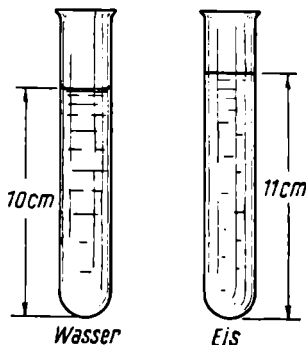
des Quecksilbers und des Alkohols wird im Thermometer zur Bestimmung von Temperaturen verwendet.

Eine Eisenbahnschiene von 8 m Länge dehnt sich bei einer Erwärmung von 50° um reichlich 4 mm aus. Beim Legen von Eisenbahnschienen läßt man deshalb zwischen zwei Schienen immer einen Zwischenraum von einigen Millimetern als Spielraum für die Wärmedehnung. Auch beim Bau von eisernen Brücken muß stets ein solcher Spielraum für die Wärmedehnung geschaffen werden.

Sprengwirkung des Eises

Wenn Wasser in geschlossenen Gefäßen gefriert, wird die Gefäßwandung gesprengt. Selbst eiserne Gefäße und Rohre, zum Beispiel Wasserleitungsrohre, können beim Gefrieren des Wassers gesprengt werden.

Das Eis beansprucht einen größeren Raum als das vorher vorhandene Wasser.



Wir füllen ein Reagenzglas bis zu einer Höhe von 10 cm mit Wasser. An einem kalten Wintertag lassen wir das Wasser im Glase gefrieren. Das entstandene Eis nimmt einen größeren Raum ein

dene Wasser. Aus 10 l Wasser entstehen 11 l Eis. Durch diese starke Ausdehnung entsteht die Sprengwirkung.

Im Gegensatz zum Wasser ziehen sich die meisten Flüssigkeiten beim Erstarren zusammen. Beim Erstarren von 96 l flüssigen Eisens verringert sich der Rauminhalt um 1 l. Dieses Schwindmaß der erstarrenden Metalle muß in der Metallgießerei genau berücksichtigt werden.

In der Natur spielt die Sprengwirkung des Eises eine große Rolle bei der Verwitterung der Gesteine und der Auflockerung des Ackerbodens. Ganze Felsen können durch Wasser, das in den Spalten des Gesteins gefriert, gesprengt werden.

Im Gebirge entsteht durch die Sprengwirkung des Eises der gefürchtete Steinschlag. Im kleinen Maßstab können wir das an Hauswänden beobachten, wenn im Winter Wasser in schadhafte Stellen des Putzes eindringt.

Im Ackerboden wird die Krume nicht nur durch die Sprengwirkung beim Gefrieren des im Boden enthaltenen Wassers gelockert, sondern schon bei der Abkühlung des Wassers von $+4^{\circ}$ auf 0° . Wasser hat seine geringste Ausdehnung bei $+4^{\circ}$, das bedeutet, daß es sich bereits beim Absinken der Temperatur auf den Gefrierpunkt und dann in verstärktem Maße bei der Eisbildung ausdehnt. Wasser verhält sich in dieser Hinsicht ganz anders als sämtliche übrigen Stoffe.

Dampf

Dicht oberhalb der Austrittsdüse auf der umseitigen Abbildung ist der Dampfstrahl unsichtbar. Wasserdampf ist unsichtbar wie die Luft. Es ist fälschlicherweise üblich, auch jene weißen Nebelmassen als Dampf zu bezeichnen, die durch Abkühlung aus dem eigentlichen unsichtbaren Wasserdampf entstehen. In diesen Nebeln hat sich jedoch der Dampf in Form von winzigen Tröpfchen bereits wieder ver-

flüssigt, so daß die Bezeichnung Dampf genaugenommen gar nicht angebracht ist.

Beim Verdampfen des Wassers entstehen aus 1 l Wasser 1700 l Wasserdampf. Dieses Ausdehnungsbestreben wird in der Dampfmaschine zur Erzeugung von Bewegung ausgenutzt.

Im allgemeinen können wir das in der ausgeatmeten Luft enthaltene Wasser nicht sehen, weil eben Wasserdampf genauso unsichtbar ist wie zum Beispiel die Luft. Erst, wenn sich durch Abkühlung kleinste Wassertröpfchen bilden, wird das Wasser sichtbar. Bei sehr kaltem

Heben wir das Sicherheitsventil an einer Spielzeug-Dampfmaschine an, so schießt zischend ein Dampfstrahl heraus, genau wie aus der Dampfpeife dieser Lokomotive



Wetter zum Beispiel wird im Freien das Wasser der ausgeatmeten Luft sichtbar. Hauchen wir an die Fensterscheibe, so beschlägt sie, weil sich am kalten Glas das gasförmige Wasser abkühlt und sich in kleinsten Tröpfchen niederschlägt. Betrachtet man eine behauchte Stelle des Fensterglases unter der Lupe, so werden Tausende von winzigen glitzernden Wassertröpfchen sichtbar.

Es ist höchst gefährlich, ohne besondere Sicherheitsmaßnahmen und Vorkehrungen Wasser in einem verschlossenen Gefäß zu kochen, weil infolge des genannten Dampfdrucks die Gefäßwände explosionsartig zertrümmert werden können.

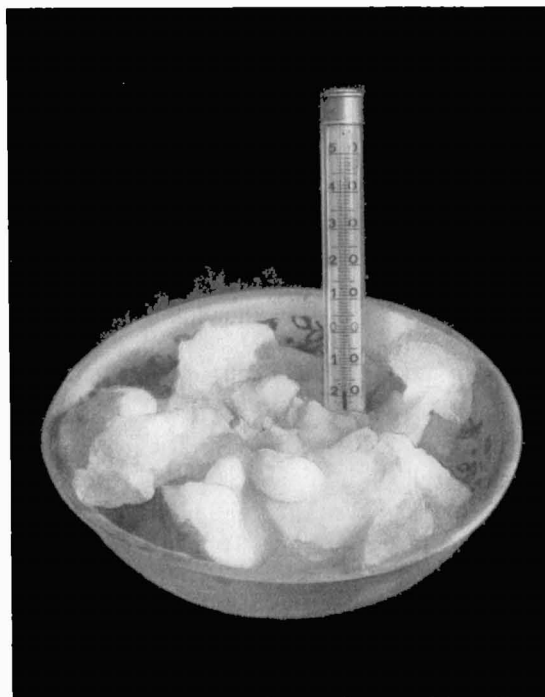
Setzt man einen Topf mit Wasser aufs Feuer, so wird die zugeführte Wärme zunächst im wesentlichen zur Erwärmung des Wassers verwendet. Die Temperatur des Wassers steigt und steigt, bis der Siedepunkt von rund 100° erreicht ist. Die jetzt weiter zugeführte Wärme wird ausschließlich zur Verdampfung des Wassers verbraucht, die Temperatur des Wassers steigt nicht weiter an.

Wenn die Hausfrau einen Topf in siedendes Wasser hineinhängt, so kann also der Inhalt dieses Topfes bis auf 100° erwärmt werden, er kann aber niemals kochen, weil ihm nach dem Erreichen des Siedepunktes keine zum Verdampfen notwendige Wärme mehr zugeführt wird. Diese praktische Einrichtung wird Wasserbad genannt und dient zum Aufwärmen oder Warmhalten von Speisen oder von Kaffee, der bekanntlich seinen Geschmack verliert, wenn er wieder aufgeköcht wird.

Kältemischung

Wenn wir drei Teile Schnee mit einem Teil Salz vermengen, so schmilzt der Schnee. Wenn Schnee schmilzt, so liegt das im allgemeinen daran, daß die Temperatur über 0° gestiegen ist. In unserem Falle jedoch zeigt das Thermometer eine Temperatur von -18° an.

In einem
Gemisch von
Schnee und Salz
entsteht eine
Temperatur
von -18°



In einfachster Weise können also tiefe Kältegrade erzeugt werden, indem man Schnee oder gestoßenes Eis mit Salz vermengt. Solche Mischungen werden Kältemischungen genannt.

„Eingefrorene“ Weichen der Straßenbahn oder „eingefrorene“ Schleusendeckel können aufgetaut werden durch Bestreuen mit Salz. Dazu wird im allgemeinen Viehsalz verwendet, das sich lediglich durch seinen geringen Reinheitsgrad vom Speisesalz unterscheidet.

Im Handel sind auch Kältemittel und Chemikalien zu haben, die schon beim Auflösen in Wasser Temperaturen unter 0° erzeugen und sich deshalb zum Kühlen von Getränken und Speisen eignen.

Die Kältemischung aus Eis und Salz hat Pate gestanden bei der Erfindung des Speiseeises. Noch heute arbeitet der Konditor meist mit dieser Kältemischung. Eine Flüssigkeit, die vielleicht aus Milch, Schokolade und Zucker bereitet wurde, wird in eine metallische Gefriertrommel gegossen, die in der Kältemischung steht. Die Trommel wird gedreht und der Inhalt ständig gerührt. Dadurch kommen alle Flüssigkeitsteilchen mit der tiefgekühlten Gefäßwandung in Berührung und gefrieren. Die Feinheit des so erhaltenen Speiseeises ist bedingt durch die Zutaten, durch die Gefriertemperatur und durch die Art der Verarbeitung während des Gefrierens.

Eis unter Druck

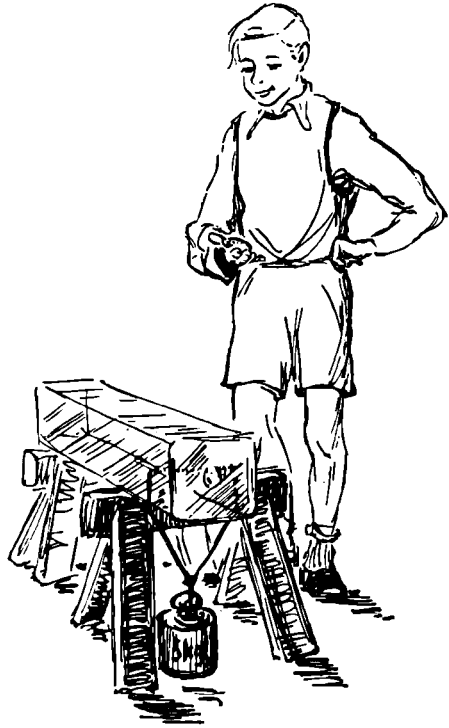


Um einen Eisriegel hängen wir eine Drahtschlinge, die mit einem 5-kg-Gewicht beschwert wird

Nach etwa einer halben Stunde ist der Draht bis in die Mitte des Riegels eingedrungen

Das Eis wird von dem belasteten Draht durchgeschnitten. Es ist aber keinerlei Schnittöffnung zu sehen. Auch oberhalb des eingedrungenen Drahtes ist der Eisblock zusammenhängend und unversehrt. Eis schmilzt, sobald ein entsprechender Druck auf das Eis ausgeübt wird. Der belastete Draht drückt auf die Eisunterlage, so daß das Eis unter dem Draht schmilzt. In diesem Schmelzwasser rückt der Draht nach unten. Oberhalb des Drahtes gefriert das Schmelzwasser dann wieder, weil es hier nicht unter dem Druck steht, der das Schmelzen verursachte. Wenn die Drahtschlinge den ganzen Eisblock durchgesägt hat und unten abfällt, ist der Eisriegel fast unversehrt und nicht etwa in zwei Hälften zerschnitten. Der Schmelzpunkt des Eises ist also vom Druck abhängig. Je größer der Druck ist, um so höher liegt der Schmelzpunkt.

Von dieser Erscheinung wird auch beim Schlittschuhlaufen Gebrauch gemacht. Die ganze Schwere des Schlittschuhläufers lastet auf der schmalen Laufschiene des Schlittschuhs. Infolgedessen übt die Laufschiene einen erheblichen Druck auf die darunterliegende Eisfläche aus, die in dünner Schicht an der Oberfläche sofort schmilzt. Dadurch



erhält das Eis jene Glätte, durch die ein leichtes Dahingleiten des Schlittschuhläufers ermöglicht wird. Das Schmelzwasser wirkt gewissermaßen wie Öl, das die Reibung herabsetzt. Sobald die Laufschiene ein Eisstück passiert hat, gefriert das Schmelzwasser sofort wieder, weil die Einwirkung des Drucks vorbei ist. Auch beim Anlegen und Glattmachen einer Schlitterbahn auf Schnee schmilzt der Schnee unter dem ausgeübten Druck, und sein Schmelzwasser gefriert zur eisglatten Schlitterspur.

Formen und drücken wir einen Schneeball, so schmilzt ein Teil des Schnees nicht nur durch die Handwärme, sondern vor allem durch den ausgeübten Druck. Da das Schmelzwasser bei Aufhebung des Druckes gefriert, können wir so einen eisharten Schneeball herstellen.

Gletscher sind langsam dahinfließende Eisströme im Hochgebirge und im Polargebiet. Die fließende Beweglichkeit der Gletscher beruht auf dem Schmelzen der untersten Gletscherschichten unter dem Druck der darüber lastenden Eismassen.

Kölnischwasser kühlt

Die Duftstoffe des Kölnischwassers sind in Alkohol gelöst. Alkohol ist eine Flüssigkeit, die schon bei 78° siedet und bei niedrigeren Temperaturen an der Luft rasch verdunstet. Sieden und Verdunsten sind zwei verschiedene Verdampfungsformen, die wir bei jeder Flüssigkeit, auch bei Wasser, finden. Das Sieden ist ein rasches Verdampfen, das bei der Siedetemperatur unter Wärmezufuhr von außen stattfindet. Das Verdunsten ist ein langsames Verdampfen, das bei jeder Temperatur zu beobachten ist.

Auch zum langsamen Verdampfen bei dem unten abgebildeten Versuch ist Wärme notwendig, die in diesem Fall der Hand entnommen wird. Dadurch entsteht die kühlende Wirkung des Kölnischwassers.

Jeder hat schon empfunden, daß er selbst bei großer Hitze im nassen Badeanzug friert. Diese sogenannte Verdunstungskälte entsteht, weil das Wasser zur Verdunstung Wärme verbraucht und diese dem Körper entnimmt.

Die Verdunstung wird gefördert durch Wind, der den entstehenden Wasserdampf rasch wegführt und damit die Voraussetzung für ein weiteres Entstehen von Dampf schafft. Deshalb pusten wir in den Suppenlöffel, wenn die Suppe zu heiß ist.

Der Arzt benutzt die Verdunstungskälte zu örtlichen Betäubungen. Eine bestimmte Flüssigkeit, die chemisch dem Alkohol verwandt ist, wird auf diejenige Körperstelle gespritzt, die geschnitten werden



Tropfen wir etwas Kölnischwasser auf die Hand, so empfinden wir Kälte auf der benetzten Hand

soll. Die verwendete Flüssigkeit verdunstet fast augenblicklich, und es entsteht eine so starke Kälte, daß die Schmerzempfindung vorübergehend ausgeschaltet wird. Damit wird dem Arzt ein operativer Eingriff möglich, der für den Patienten schmerzlos ist.

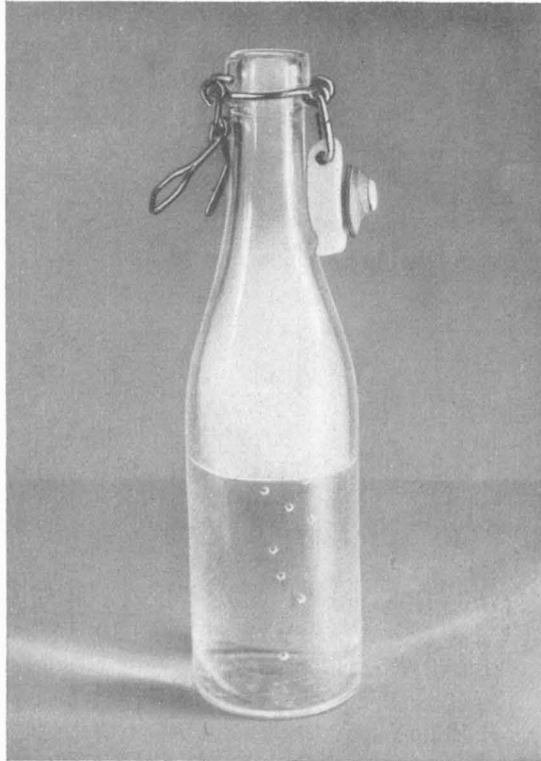
Nebel in der Seltersflasche

Aus einer vollen Flasche Selterswasser gießen wir ein Glas aus und schließen die Flasche sogleich wieder mit dem Gummiverschluß. Die Flasche ist jetzt noch zur reichlichen Hälfte gefüllt. Wir schütteln sie kräftig und stellen sie auf den Tisch. Ruckartig reißen wir dann den Verschluß auf. Sofort ist der Raum über dem Wasser mit dichtem Nebel gefüllt, der sich langsam lichtet und wieder verschwindet (Bild Seite 72).

Beim Ausgießen des Selterswassers dringt Luft in die Flasche. Da diese Luft mit Wasser in Berührung ist, besitzt sie eine gewisse Feuchtigkeit. Das heißt, die Luft enthält eine bestimmte Menge von gasförmigem Wasser. Je wärmer die Luft in der Flasche ist, um so größer ist ihr Feuchtigkeitsgehalt.

Beim Schütteln der verschlossenen Flasche entweichen aus dem Wasser Gasbläschen (nämlich Kohlendioxyd) in die darüberstehende Luft. Dadurch erhält diese einen Überdruck. Reißen wir den Verschluß plötzlich auf, so entspannt sich die Luft augenblicklich, und sie entweicht zum Teil aus der Flasche. Bei plötzlicher Entspannung und Ausdehnung kühlen sich alle Gase ab. Infolge dieser plötzlichen Abkühlung kann die Luft in der Flasche nicht mehr die gleiche Menge gasförmigen Wassers (Feuchtigkeit) aufnehmen wie zuvor. Deshalb wird ein Teil der Feuchtigkeit in feinsten Nebeltröpfchen ausgeschieden. Auf entsprechende Weise entsteht der Nebel in der Natur.

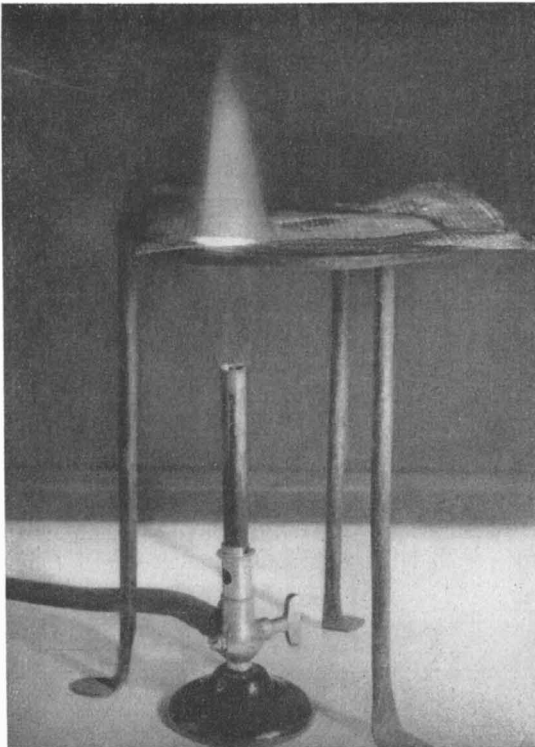
Dichter Nebel
entsteht in der
Flasche über
dem Selters-
wasser



In der Kältetechnik werden durch plötzliche Entspannung stark zusammengedrückter Gase tiefste Kältegrade erzeugt. Durch bestimmte Maßnahmen können dabei Kältegrade bis zu etwa -273° erzeugt werden, bei denen sogar die Luft und andere Gase flüssig werden. Zusammengedrückte Gase kühlen sich also ab, wenn sie plötzlich entspannt werden und sich ausdehnen. Umgekehrt erwärmen sich die Gase, wenn sie rasch zusammengedrückt werden. Das letztere hat jeder schon bei rascher Bedienung der Fahrradpumpe festgestellt.

Wärmeleitung

Halten wir ein engmaschiges Drahtgitter in den Gasstrom eines Brenners und entzünden wir das Gas oberhalb des Drahtnetzes, so schlägt die Flamme nicht durch das Netz hindurch. Das Drahtgitter leitet die Wärme rasch nach außen ab, so daß der Gasstrom unterhalb des Netzes kalt bleibt und sich nicht entzündet.



Die Gasflamme brennt nur oberhalb des Drahtgitters, das in den Gasstrom gehalten wird

Metalle sind gute Wärmeleiter. Deshalb hat auch die Kohlschaufel keinen metallenen, sondern einen hölzernen Griff. Holz ist nämlich ein schlechter Wärmeleiter, sonst könnten wir ein brennendes Streichholz nicht in der Hand halten. Wir würden uns hüten, ein ebenso langes Drahtstück anzufassen, das an seinem anderen Ende zur Glut gebracht wurde. Ein kurzer Glasstab jedoch, der an einem Ende glühend gemacht wurde, kann ohne weiteres am anderen Ende mit der Hand gehalten werden, denn Glas ist ein schlechter Wärmeleiter.

Federbetten, Pelze und wollene Kleider halten warm, aber nur deshalb, weil sie viel Luft enthalten.

Ruhende Luft ist ein sehr schlechter Wärmeleiter.

Die einzelnen Fasern in einem wollenen Gewebe wirken mit den vielen dünnen Luftschichten dazwischen gewissermaßen wie kleine Doppelfenster, die die Körperwärme nicht nach außen lassen.

Auf der rotglühenden Ofenplatte können wir ein eigenartiges Spiel beobachten, wenn wir einige Wassertropfen daraufspritzen. Die Tropfen laufen und tanzen auf der Ofenplatte zischend hin und her, ohne sich sofort in Dampf zu verwandeln. Der Grund hierfür ist eine dünne Dampfschicht, die sich unter den Tropfen sofort bei der Berührung mit der heißen Ofenplatte bildet. Auf diesem Dampfpolster ruht und hüpfet federnd der Wassertropfen. Die Dampfschicht ist, genau wie eine Luftschicht, ein schlechter Wärmeleiter und schützt somit den Tropfen eine ganze Zeit lang vor der weiteren Einwirkung der heißen Ofenplatte.

Ein luftverdünnter Raum bietet einen vorzüglichen Wärmeschutz, der in der Thermosflasche zum Heiß- oder Kalthalten von Getränken ausgenutzt wird.

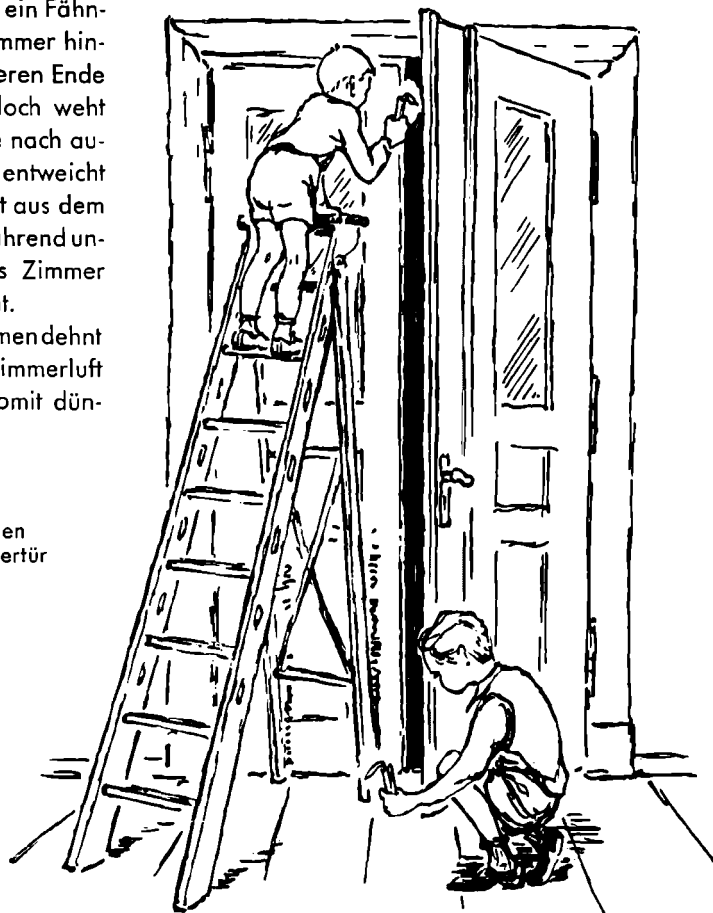
Die Thermosflasche ist eine doppelwandige Glasflasche, zwischen deren Wandungen ein luftleerer Raum liegt, der besser noch als ein Doppelfenster den Abzug oder das Eindringen von Wärme verhindert.

Es „zieht“

Öffnet man ein wenig die Tür des erwärmten Zimmers, so kann man die entstehenden Luftströmungen mit einer brennenden Kerze nachweisen. Stellen wir die Kerze auf den Fußboden in den Türspalt, so zeigt die Kerzenflamme wie ein Fähnchen ins Zimmer hinein. Am oberen Ende der Tür jedoch weht die Flamme nach außen. Oben entweicht also die Luft aus dem Zimmer, während unten Luft ins Zimmer hineinströmt.

Beim Erwärmen dehnt sich die Zimmerluft aus, wird somit dün-

Luftströmungen
an der Zimmertür



ner und leichter, steigt deshalb nach oben und fließt im oberen Teil des Türspaltes aus dem Zimmer hinaus. Dadurch entsteht im Zimmer ein Unterdruck, der durch den unteren Teil des Türspaltes kalte Luft hereinsaugt. Es „zieht“.

Die verschiedene Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen bewirkt eine verschiedene Erwärmung der Lufthülle. Dadurch entstehen in ähnlicher Weise große Luftströmungen. Die Luft in der tropischen Zone zum Beispiel wird stärker erwärmt als in der nördlichen und südlichen gemäßigten Zone. Die heißen Luftmassen steigen hoch auf und fließen in nördlicher und südlicher Richtung ab, während dicht über dem Erdboden kältere Luft in die tropischen Gebiete einströmt. Diese zum Äquator ziehenden Luftströmungen werden als Passatwinde bezeichnet. Auf der nördlichen Halbkugel der Erde wehen die Passatwinde von Nordost nach Südwest. Diese Abweichung von der Nordsüdrichtung ist durch die Drehung der Erde zu erklären. Die Passatwinde kommen aus Gegenden, die näher an der Drehachse der Erde liegen als ein Punkt des Äquators. Infolgedessen wohnt diesen Luftmassen eine geringere Drehgeschwindigkeit inne, als sie ein Äquatorpunkt besitzt. Demzufolge bleiben die Passatwinde etwas zurück gegenüber dem Erdoberflächenstück, das sie gerade überstreichen und das sich schnell unter ihnen wegdreht. Beim Einströmen in die Äquatorzone erfahren die Passatwinde der nördlichen Halbkugel somit stets eine Abweichung nach rechts, in der Windrichtung gesehen.

An der Küste weht am Tage der Wind meist in der Richtung vom Meer zum Land. Die Luft über dem Land wird durch die Sonne rascher heiß als die Luft über dem Meer. Die warme Luft steigt über dem Land hoch und fließt oben ab, wie in unserem Versuch. Unten strömt die Luft in der Richtung vom Meer zum Land. Der Tageswind weht vom Meer zum Land. In der Nacht ist es umgekehrt. Die Luft über dem Land wird nachts rascher abgekühlt als die Luft über dem Meer. Infolgedessen weht nachts der Küstenwind meist in der Richtung vom Land zum Meer.

Wärme und Bewegung



Der Radiergummi erwärmt sich beim Gebrauch

Halten wir nach dem Radieren die Reibfläche des Gummis an die Lippe, so stellen wir fest, daß der Gummi warm geworden ist. Durch Reibung entsteht Wärme. Beim Feilen, Bohren und Sägen entsteht ebenfalls Wärme. Durch Kraftaufwand unter gleichzeitiger Bewegung wird mechanische Arbeit verrichtet. Mechanische Arbeit kann also in Wärme umgewandelt werden. Umgekehrt kann aus Wärme mechanische Arbeit entstehen. Ein Beispiel hierfür ist die Dampfmaschine. Die wechselseitige Umwandlung von Bewegung in Wärme und umgekehrt läßt eine innere Verwandtschaft von Wärme und Bewegung vermuten. Man hat sogar gefunden, daß Wärme und Bewegung wesensgleich sind. Jeder Stoff, zum Beispiel ein Gas, besteht aus kleinsten Teilchen, den Molekülen, die sich wieder aus einzelnen Atomen zusammensetzen. Da die Luft im wesentlichen ein Gemisch

aus Stickstoff und Sauerstoff ist, so besteht die Luft also aus Stickstoff- und Sauerstoffmolekülen. Die Wissenschaft hat erkannt, daß sich alle Moleküle in ständiger Bewegung befinden und daß sich die Moleküle der Luft und anderer Gase immer besonders lebhaft bewegen. Die Moleküle der Luft fliegen wild und regellos durcheinander. Je heißer die Luft ist, um so größer ist die Geschwindigkeit ihrer Moleküle. Bei Zimmertemperatur haben die Stickstoff- und Sauerstoffmoleküle die erstaunliche Geschwindigkeit von rund 500 m in der Sekunde. Die Wärme irgendeines Körpers ist gleichbedeutend mit der Bewegungsgeschwindigkeit seiner Moleküle. Je heißer uns ein Körper erscheint, um so größer ist die Geschwindigkeit seiner Moleküle.

SCHALL

Es schwingt und klingt

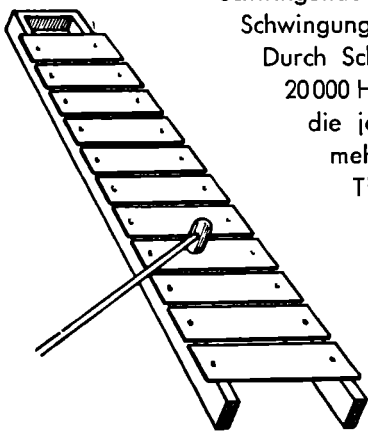
Durch den Anschlag eines Kinderxylophons werden die Stahlplättchen in Schwingung versetzt. Sie schwingen auf und nieder und erzeugen Luftwellen, Schallwellen. Die Luftteilchen in der Nähe der Schallquelle (des schwingenden Plättchens) empfangen regelmäßige Stöße und geben sie nach allen Seiten an ihre Umgebung weiter, und dabei erreichen sie auch unser Trommelfell. Je kürzer das Stahlplättchen ist, um so schneller schwingt es hin und her und um so höher ist der entstehende Ton.

Die a-Saite der Violine hat, wie man sagt, eine Schwingungszahl von 440 Hertz. „Hertz“ bedeutet soviel wie „Schwingungen in der Sekunde“. Diese Einheit wurde mit dem Namen Hertz (abgekürzt Hz) bezeichnet zu Ehren des großen deutschen Physikers Heinrich Hertz, der die elektrischen Wellen entdeckte, die man zum Beispiel für den Rundfunk benutzt. 1 Kilohertz (abgekürzt kHz) ist der Fachausdruck für 1000 Schwingungen in der Sekunde. Die hohen Schwingungszahlen der Rundfunkwellen werden in kHz angegeben.

Schwingende Körper erzeugen Töne, wenn ihre Schwingungszahl zwischen 20 und 20 000 Hz liegt.

Durch Schwingungen unter 20 Hz und über 20 000 Hz entstehen zwar auch Luftwellen, die jedoch vom menschlichen Ohr nicht mehr empfunden werden.

Verschiedene Tiere, Hunde zum Beispiel, empfinden auch Schallschwingungen über 20 000 Hz noch als Töne. Darauf beruht eine bestimmte Art von Hundepfeifen, deren Ton wohl



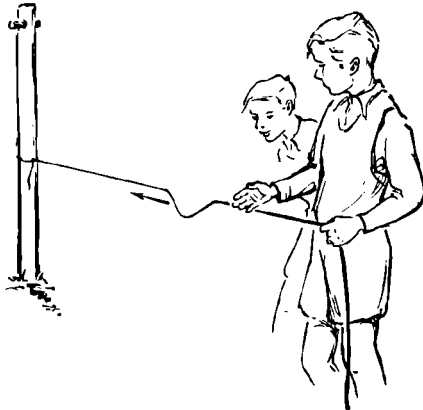
Jedes Stahlplättchen dieses Kinderxylophons gibt beim Anschlag einen anderen Ton. Der Ton a entspricht einer Schwingungszahl von 440 Hertz

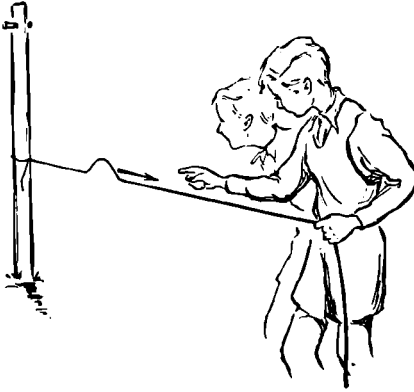
vom Hund, aber nicht mehr vom menschlichen Ohr gehört wird, weil die Schwingungszahl oberhalb von 20000 Hz liegt.

Ein schlauer Kopf hat einmal eine solche Hundepfeife verwendet, um einen vielbestaunten rechnenden Hund auf der Varietébühne vorzuführen. Diesem Hund wurden aus dem Publikum kleine Rechenaufgaben gestellt, wie $2 \cdot 3$; $7 - 4$ oder $\sqrt{9}$ (lies: Wurzel aus 9. Das bedeutet eine Zahl, die, mit sich selbst malgenommen, 9 ergibt). Nach kurzem „Nachdenken“ löste der Hund etwa die Aufgabe $\sqrt{9}$, indem er dreimal kurz aufbellte. Niemals machte der Hund einen Fehler in seinen Rechnungen. In Wirklichkeit hatte der Vorführende seinen Hund so dressiert, daß er jedesmal kurz bellte, wenn der Pfiff einer Pfeife von über 20000 Hz ertönte, die also vom Publikum nicht gehört wurde. Der Vorführer hatte diese Pfeife, die mit einem Gummiball angeblasen wurde, in der Hosentasche versteckt. Er brauchte nur dreimal nacheinander auf den Gummiball zu drücken – und schon bellte sein rechnender Hund insgesamt dreimal und hatte somit die Rechenaufgabe richtig „gelöst“.

Seilwellen

Schlagen wir mit der flachen Hand auf eine nicht allzu straffgespannte Wäscheleine, so entsteht ein Wellental, das im Seil weiterläuft





Am Wäschepfahl wird das Wellental zurückgeworfen und kehrt als Wellenberg zurück

Führen wir jedoch den Schlag von unten gegen das Seil, so entsteht ein Wellenberg, der beim Zurückwerfen am Wäschepfahl in ein Wellental verwandelt wird.

Die Wellenberge und -täler wandern im Seil mit einer bestimmten Fortpflanzungsgeschwindigkeit, die von den Eigenschaften des benutzten Seiles abhängig ist. Die einzelnen Teilchen des Seiles bewegen sich bei dieser Wellenwanderung nur auf und nieder. Die eigenartige Umwandlung des Wellentales in einen Wellenberg beim Zurückwerfen wird als Phasenänderung bezeichnet.

Die fortschreitende Seilwelle ist ein Beispiel für eine sogenannte lineare Welle, bei der die einzelnen Teilchen einer geraden Linie auf- und niederschwingen. Die kreisförmigen Wasserwellen, die auf der glatten Oberfläche eines Teiches entstehen, wenn ein kleiner Stein hineinfällt, sind Flächenwellen, bei denen die einzelnen Punkte einer Fläche auf- und niederschwingen.

Schallwellen sind Raumwellen. Hier wandern allerdings keine Wellenberge und -täler, sondern Luftverdichtungen und Luftverdünnungen. Diese Verdichtungen und Verdünnungen breiten sich wellenförmig in alle Richtungen des Raumes aus.

Das Licht stellt ebenfalls einen Wellenvorgang dar. Auf das Wesen dieser Wellen kann hier nicht näher eingegangen werden. Während unsere Seilwelle in 1 sec etwa 20 m zurücklegt, legt die Schallwelle in 1 sec 333 m, die Lichtwelle in 1 sec sogar 300 000 km zurück.

Spiel am Ufer

Von der Einschlagstelle des Steines geht im ruhigen Gewässer eine Kreiswelle aus, die nach außen wandernd immer größer und flacher wird.

Tauchen wir einen Pfahl in regelmäßigen, rasch aufeinanderfolgenden Zeitabständen ins Wasser, so entsteht ein System von Kreiswellen (Bild auf der folgenden Seite). Wir haben den Eindruck, daß mit den Wellenbergen Wassermengen nach außen wandern. Werfen wir jedoch vor dem Versuch eine Anzahl kleiner Holzstücke auf die ruhige Wasseroberfläche, so stellen wir fest, daß die Holzteilchen

Ein Stein fiel ins Wasser





System
von Kreiswellen

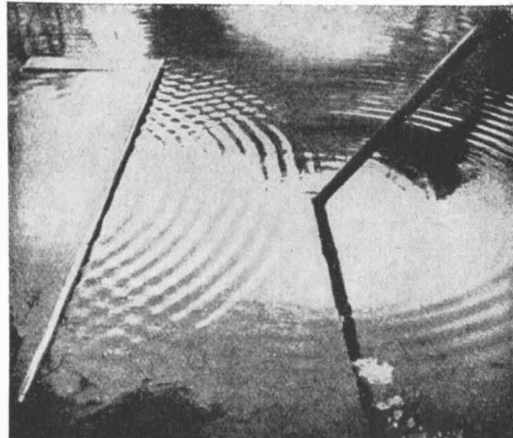
von den Wellen nicht nach außen gespült werden, sondern, an Ort und Stelle verbleibend, nur auf- und niederschwanken. Tatsächlich ist mit einer solchen Wellenwanderung kein Wassertransport nach außen verbunden. Jedes Wasserteilchen, das von einer solchen Welle erfaßt wird, schwingt an Ort und Stelle nur auf und nieder. Lediglich durch das gleichzeitige Erblicken der verschiedenen Schwingungszustände an der Wasseroberfläche entsteht der Eindruck, daß sich die Wassermassen wellenförmig nach außen verschieben.

Das können wir auch sehr schön beobachten, wenn ein großer

Dampfer auf dem Strom vorüberfährt. Vom Bug geht eine hohe Welle aus, die über den Strom nach den Ufern wandert. Sind am Ufer einige Ruderboote festgemacht, so werden sie von dieser Welle erfaßt. Die Boote werden aber nicht etwa vom Wellenberg seitlich verschoben, sondern sie heben und senken sich nur einige Male an Ort und Stelle.

Wir legen auf die Wasseroberfläche ein großes Brett und erzeugen in seiner Nähe mit dem Pfahl wieder Kreiswellen. Die Kreiswellen werden am Brett zurückgeworfen. Sie sind so geformt, als kämen sie von einem Punkt, der sich ebensoweit hinter dem Brett befindet, wie der eintauchende Pfahl sich vor dem Brett befindet. Das erinnert uns an den Spiegel. Beim Blick in den Spiegel am Waschtisch befindet sich unser Spiegelbild scheinbar ebensoweit hinter dem Spiegel, wie wir vor dem Spiegel stehen. Auch das Licht hat Wellennatur. Das Zurückwerfen der Lichtwellen am Spiegel erfolgt in gleicher Weise wie die Zurückwerfung der Wasserwellen am Brett.

Die kreisförmigen Wasserwellen und die zurückgeworfenen Wellen durchdringen einander. Wie im Bild deutlich zu sehen ist, erfolgt



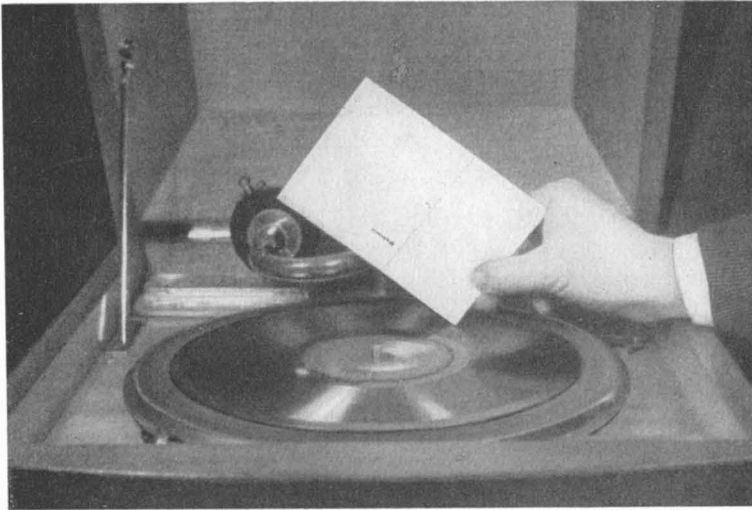
Zurückwerfung
von Kreiswellen
an einem Brett

dies ohne jede Störung. An denjenigen Stellen jedoch, die gleichzeitig vom Wellenberg der einen Welle und vom Wellental einer zurückgeworfenen Welle erfaßt werden, gleichen sich Wellenberg und Wellental aus. Die Wasseroberfläche ist in diesem Augenblick an dieser Stelle in Ruhe. Diese Übereinanderlagerung und gegenseitige Aufhebung von Wellenbewegungen wird vom Physiker als Interferenz bezeichnet. Auf Interferenz beruhen jene eigenartigen Erscheinungen der Optik, bei denen zwei sich überlagernde Lichtwellen einander auslöschen und Dunkelheit ergeben können.

Eine Postkarte macht Musik

Wir lassen die Schallplatte auf dem Grammophon anlaufen, legen jedoch die eigentliche Schalldose beiseite. Zum Abspielen der Schallplatte verwenden wir eine Postkarte, am besten eine steife Leinwandpostkarte mit scharfer Ecke. Wir halten sie mit einer Ecke auf die äußerste Tonspur der Platte. Die Postkarte erzeugt schönste Orchestermusik, sie gibt Gesang oder eine Rede wider, je nachdem, welche Platte wir aufgelegt haben. Die von der Postkarte erzeugte Musik und Sprache ist zwar leise, aber recht deutlich und sauber. Wir können die ganze Schallplatte mit der Postkarte abspielen, wenn wir durch geeignete Führung mit der Hand dafür sorgen, daß wir mit der Karte immer auf der spiralförmig nach innen eingeschnittenen Tonspur bleiben.

Auf der Schallplatte sind Tonspuren eingeschnitten, durch welche die Postkarte in Schwingungen versetzt wird. Die schwingende Postkarte tönt, das heißt, sie erzeugt durch ihre Schwingungen Schallwellen, die in unser Ohr dringen. Unser Trommelfell wird ebenfalls in Schwingungen versetzt. Die Gehörnerven leiten den empfangenen



Eine Postkarte gibt Musik oder Gesang wider, wenn man sie an Stelle der Schalldose mit einer Ecke auf die kreisende Schallplatte hält

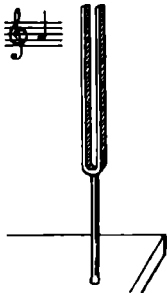
Reiz zum Gehirn weiter, wo uns die Tonempfindung als Musik oder Sprache bewußt wird.

Der gleiche Vorgang findet statt, wenn die Schallplatte mit der vorgesehenen Schalldose abgespielt wird. Die Nadel wird durch das Gleiten auf der eingeschnittenen Tonspur in Schwingungen versetzt. Sie überträgt ihre Schwingungen auf eine Membrane. Das ist ein gespanntes Häutchen, das zur Tonerzeugung besonders geeignet ist. Bei der Schallplattenaufnahme findet der umgekehrte Vorgang statt. Die Tonschwingungen werden auf eine Schnittnadel übertragen, die ihre Schwingungen in eine weiche Wachsplatte einzeichnet. Entsprechend der besprochenen Wachsplatte werden dann metallische Preßstempel hergestellt, mit denen man den üblichen Hartplatten die gleichen Tonspuren einprägt.

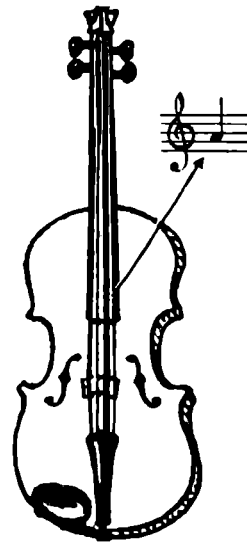
Tönende Tischplatte

Die Zinken der angeschlagenen Stimmgabel schwingen in 1 sec mehrere hundertmal hin und her. Die Stimmgabel zum Beispiel, mit der man die a-Saite der Violine stimmt, macht 440 Schwingungen in der Sekunde. Die Schwingungen erfolgen derart, daß die Zinken sich einander zuneigen und voneinander abwenden. Dabei werden die Luftteilchen abwechselnd zusammengedrückt und dann wieder entspannt, so daß Luftverdichtungen und Luftverdünnungen entstehen. Diese wandern wie Wellenberge und Wellentäler in Form von Schallwellen nach allen Richtungen in den Raum.

Zunächst klingt die angeschlagene Stimmgabel sehr leise. Drückt man ihren Stiel jedoch auf die Tischplatte, so wird der Ton so laut, daß er im ganzen Zimmer zu hören ist. Allerdings verklingt jetzt der Ton sehr schnell. Durch den auf- und niederschwingenden Stiel der Stimmgabel wird auch



Die zunächst leise klingende angeschlagene Stimmgabel erzeugt einen lauten Ton, wenn man sie auf die Tischplatte stellt



Die a-Saite der Violine (zweite Saite von rechts) macht 440 Schwingungen in der Sekunde

ein Teil der Tischplatte in gleichartige Schwingungen versetzt. Jetzt werden also Schallwellen nicht nur von der Stimmgabel, sondern auch von der Tischplatte erzeugt.

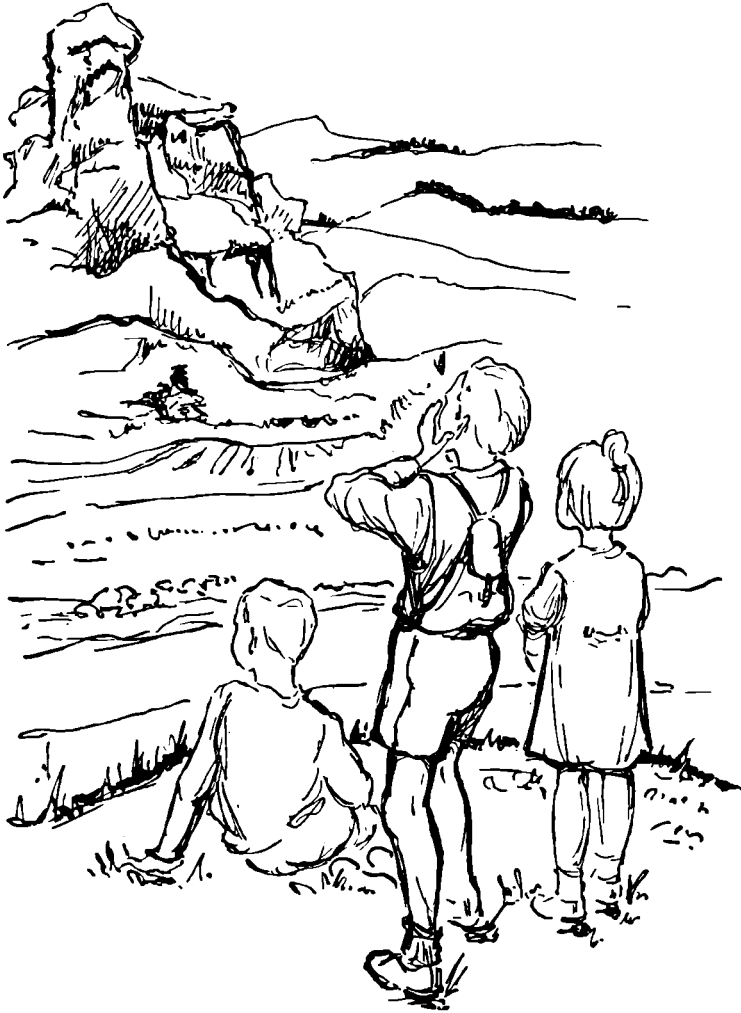
Solches Mitschwingen von anderen Körpern kann auch, ohne unmittelbare Berührung, durch Schallwellen veranlaßt werden. Besonders kräftig schwingt dann nur derjenige Körper mit, der die gleiche Eigenschwingung hat wie die Schallquelle. Singt man etwa einen Ton kräftig in ein Klavier hinein, so erklingt, bei Benutzung des rechten Pedals, der gleiche Ton leise aus dem Klavier zurück. Von dem Augenblick an, in dem die Stimme des Sängers verstummt, kann man das einige Sekunden lang deutlich hören. Es schwingt also nur diejenige Klaviersaite mit, die die gleiche Schwingungszahl besitzt wie der gesungene Ton.

In der Technik kann das unerwünschte Mitschwingen von anderen Körpern gleicher Schwingungszahl unter Umständen gefährlich werden und Zerstörungen veranlassen. Zimmerdecken und Schiffswände können einstürzen, eiserne Träger können reißen, wenn sie ins Mitschwingen geraten, zum Beispiel durch die Erschütterungen einer in ihrer Nähe befindlichen und mit gleicher Schwingungszahl schwingenden Dampfmaschine.

Das Mitschwingen auf Grund gleicher Schwingungszahlen wird als Resonanz bezeichnet. Der Techniker muß unerwünschte Resonanz sorgsam vermeiden.

Vom Echo

Die Schallwelle, die wir mit unserem Hallo-Ruf erzeugen und ausenden, erreicht auch den gegenüberliegenden Berg Rücken und wird von dort zurückgeworfen. So kommt die Schallwelle wieder an unser Ohr, und wir hören das Echo.



Geheimnisvoll mutet es an, wenn schweigende Wälder oder Felswände unseren Hallo-Ruf erwidern

Wird der Schall, der sich in allen Richtungen des Raumes ausbreitet, bei geeignetem Gelände von mehreren, verschieden weit entfernten Wänden zurückgeworfen, so entsteht ein mehrfaches Echo.

Befinden wir uns 170 m vor einer Felswand, so hören wir das Echo genau 1 sec nach unserem Ruf. Die Schallwelle hat also zur Hin- und Rückwanderung 1 sec gebraucht. 340 m wurden insgesamt in 1 sec durchmessen. Die Schallgeschwindigkeit für Luft beträgt somit 340 m je Sekunde.

Die Schallgeschwindigkeit in der Luft ist jedoch von der Temperatur abhängig. Bei einer Durchschnittstemperatur von 18° beträgt sie 340 m, bei 0° nur 333 m je Sekunde.

Um ein Echo zu hören, müssen wir mindestens 17 m von der zurückwerfenden Wand entfernt sein. In diesem Falle trifft das Echo nach einem Schallweg von 34 m, also nach $\frac{1}{10}$ sec, wieder ein. Diese Mindestzeit ist notwendig, damit das Ohr den Echoruf vom ursächlichen Ruf zu unterscheiden und zu trennen vermag. Befinden wir uns näher an der zurückwerfenden Wand, so hören wir kein deutliches getrenntes Echo, sondern nur einen Nachhall, der sich unserem Ruf anhängt. Im leeren Zimmer ist dieser Nachhall immer festzustellen.

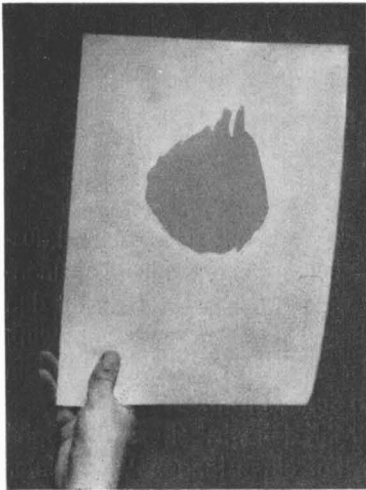
Auch im Wasser kann ein Echo entstehen, denn auch im Wasser breiten sich Schallwellen allseitig aus, gelangen auf den Boden zum Beispiel eines Sees und werden von ihm zurückgeworfen. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls ist im Wasser wesentlich größer als in der Luft. Sie beträgt 1450 m in der Sekunde. Wenn an der Wasseroberfläche eine Knallpatrone gezündet wird, so eilt die Knallwelle in die Tiefe und wird am Boden zurückgeworfen. Wird das dadurch entstehende Echo nach 2 sec gehört, so ist daraus zu schließen, daß der See 1450 m tief ist. Mit dem Echo können also Meerestiefen bestimmt werden. Diese Methode mit den zugehörigen Abhör- und Zeitmeßapparaten wird als Echolot bezeichnet.

LICHT

Ein Fettfleck

Papier empfinden wir als weiß, wenn fast alle auftreffenden Lichtstrahlen vom Papier zurückgeworfen und zerstreut werden. Im Gegensatz hierzu empfinden wir Samt dann als schwarz, wenn er praktisch alles auffallende Licht verschluckt (absorbiert) und fast kein Licht zurückwirft (reflektiert).

Durch einen Fettfleck wird Papier lichtdurchlässig (durscheinend). Das bedeutet, daß das durchfettete Papier einen erheblichen Teil des auffallenden Lichtes eindringen und hindurchdringen läßt. Der Fettfleck wirft also nur einen Teil des auffallenden Lichtes zurück. Deshalb muß er dunkler aussehen als das umliegende trockene weiße Papier.



Ein Fettfleck auf weißem Papier erscheint dunkel



Hält man das Papier jedoch gegen das Licht, so wird der Fettfleck hell

Halten wir den Fettfleck jedoch gegen das Licht, so dringt durch den Fettfleck mehr Licht als durch das umliegende trockene Papier. Der Fettfleck erscheint somit heller als seine Umgebung.

Steht in weiterem Abstand vor und hinter dem Fettfleck je eine brennende Kerze, so kann man durch Hin- und Herbewegen des Papiers zwischen den Kerzen erreichen, daß der Fettfleck erst dunkel und dann hell aussieht. Bei einer ganz bestimmten Übergangstellung von dunkel zu hell verschwindet der Fettfleck. Bei dieser Einstellung wird der Fleck von beiden Seiten gleichstark beleuchtet. Der Fettfleck erscheint somit in der gleichen Helligkeit wie das Papier und ist deshalb unsichtbar. Brennen beide Kerzen gleich hell, so verschwindet der Fettfleck, wenn er genau in der Mitte zwischen den beiden Kerzen steht. Haben die beiden Kerzen verschiedene Helligkeit, so verschwindet der Fettfleck, wenn das Papier näher an der schwächer leuchtenden Kerze steht.

Spiel mit dem Sonnenstrahl

Das, was ihr auf Seite 97 seht, haben wir wohl alle schon einmal ausprobiert. Wir müssen uns dabei nur hüten, jemandem die Sonnenstrahlen direkt ins Gesicht zu lenken, denn das grelle Licht tut den Augen weh und schadet ihnen. Bei diesem Spiel haben wir unbewußt das Spiegelgesetz angewandt. Das ist ein Gesetz, das wir bei jedem Lichtstrahl beobachten, der auf einen Spiegel trifft.

Das feine Lichtbündel, der Sonnenstrahl, den wir bei unserem Spiel mit dem Taschenspiegel auffangen, hat einen langen Weg hinter sich. Er kommt auf gerader Strecke direkt von der Sonne, die rund 150 Millionen Kilometer von der Erde entfernt ist. Das Licht, das von der Sonne aus dieser großen Entfernung auf unseren Taschenspiegel

geworfen wird, hat auch eine große Geschwindigkeit. Man hat durch Messungen gefunden, daß das Licht in 1 sec rund 300 000 km zurücklegt. Demnach braucht der Sonnenstrahl für seinen Weg von der Sonne zur Erde – wie jeder rasch ausrechnen kann – nur rund $8\frac{1}{2}$ min.

Das Licht, das wir eben jetzt mit dem Taschenspiegel auffangen, wurde also vor $8\frac{1}{2}$ min von der Sonne ausgesandt. Und mit derselben Geschwindigkeit von 300 000 km in der Sekunde verläßt das gespiegelte Licht auch wieder unseren Taschenspiegel und läuft gradlinig weiter nach einem Ziel, das wir dem Lichtstrahl durch geeignete Spiegelhaltung vorschreiben.

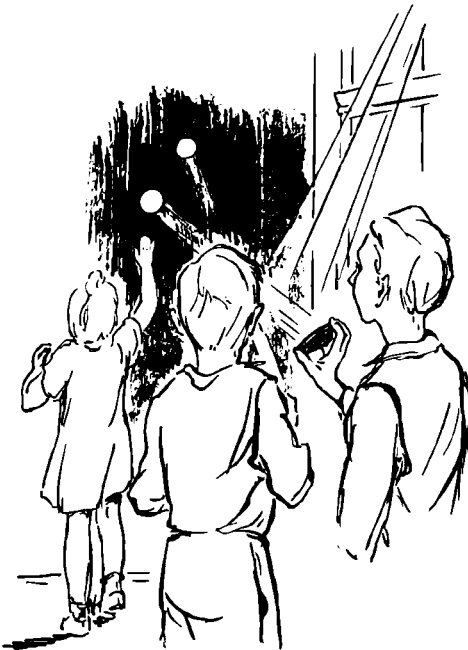
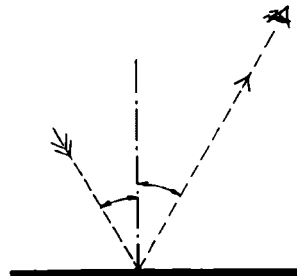


Abb. links: Mit einem kleinen Taschenspiegel können wir Sonnenstrahlen auffangen und sie nach unserem Willen lenken und steuern, wohin wir wollen

Abb. unten: Spiegelgesetz (Reflexionsgesetz): Einfallender Lichtstrahl, Spiegelsenkrechte und gespiegelter Lichtstrahl liegen immer in einer Ebene. Der Winkel zwischen gespiegeltem Lichtstrahl und der Spiegelsenkrechten ist genauso groß wie der Winkel zwischen einfallendem Lichtstrahl und der Spiegelsenkrechten



Spiegeldicke

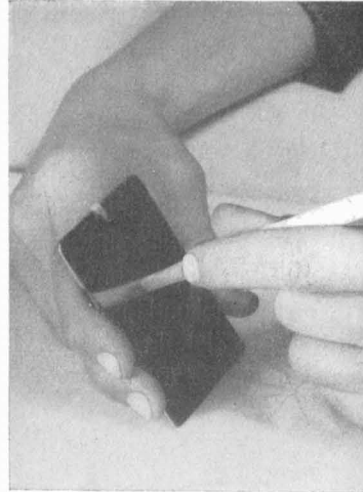
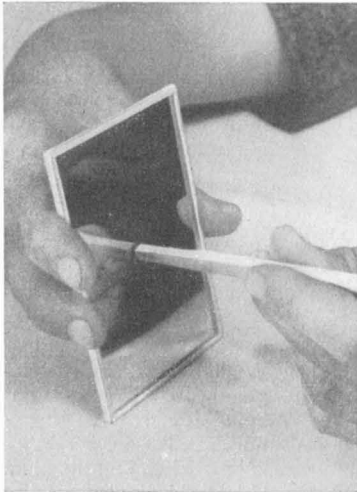


Abb. oben: Bei einem Metallspiegel (ohne Glas) berührt das Hölzchen sein Spiegelbild

Abb. links: Hält man ein Hölzchen an einen Glasspiegel, so liegt zwischen der Spitze des Hölzchens und ihrem Spiegelbild ein Zwischenraum

Die Dicke eines Spiegels kann man rasch ermitteln. Ein Spiegelbild erscheint immer ebensoweit hinter der spiegelnden Fläche, wie der Gegenstand sich vor der spiegelnden Fläche befindet. Bei einem Glasspiegel befindet sich die spiegelnde Silberschicht auf der Rückseite der Glasscheibe. Das angedrückte Hölzchen befindet sich also ebensoweit vor der spiegelnden Silberschicht, wie die Glasscheibe dick ist. Das Spiegelbild des Hölzchens erscheint dann in der gleichen

Entfernung hinter der spiegelnden Fläche. Schätzt man also den Abstand zwischen Hölzchen und Spiegelbild und teilt ihn durch 2, so erhält man die Spiegeldicke.

Bei einem Metallspiegel jedoch liegt die spiegelnde Fläche unmittelbar auf der Vorderseite. Aus diesem Grunde berührt das hier angelegte Hölzchen sein Spiegelbild.

Spiegelschrift

Ein ganzer Brief läßt sich sehr rasch in Spiegelschrift schreiben, wenn wir Kohlepapier verwenden, wie es für Schreibmaschinendurchschläge gebraucht wird. Ein Blatt Kohlepapier wird auf die Schreibunterlage gelegt, und zwar so, daß die Farbschicht – entgegen dem üblichen Gebrauch – oben liegt. Auf das Kohlepapier werden zwei Blatt Briefpapier gelegt. Jetzt schreiben wir auf das obere Blatt mit Bleistift in üblicher Weise den Briefftext. Dabei achten wir darauf, daß

Die oberen zwei Zeilen dieser Spiegelschrift kann man immerhin lesen, wenn man, langsam von rechts anfangend, Buchstabe um Buchstabe entziffert. Es ist aber fast ausgeschlossen, eine Spiegelschrift zu lesen, die in Handschrift geschrieben ist. Dazu braucht man schon einen Spiegel

Wir lehren, lernen und
kämpfen für den Frieden!

Wir lehren, lernen und
kämpfen für den Frieden!

die beiden Blätter des Briefpapiers sich nicht gegeneinander verschoben. Auf der Rückseite des zweiten Bogens steht dann das Geschriebene in Spiegelschrift.

Unsere normale Schrift läuft von links nach rechts, die Spiegelschrift jedoch von rechts nach links. In entsprechender Weise wie die Schrift erscheint auch jeder Gegenstand in seinem Spiegelbild verändert. Jedes Spiegelbild ist, wie man sagt, seitenvertauscht.

Wir selbst sehen uns im Spiegel nie so, wie uns die anderen sehen. Das Spiegelbild ist seitenvertauscht. Heben wir den rechten Arm, so hebt das Spiegelbild den linken Arm. Tragen wir den Scheitel links, so hat unser Spiegelbild den Scheitel rechts. Daran haben wir uns schon so gewöhnt, daß wir kaum noch daran denken. Das können wir beobachten, wenn sich jemand vor dem Spiegel den Scheitel zieht oder wenn sich Vater rasiert. In der rechten Hand hält er das haarscharfe Rasiermesser und rasiert sich damit die linke Backe. Es stört ihn dabei gar nicht, daß er seine Bewegungen mit einem Spiegelbild überwacht, dessen linke Hand die rechte Backe rasiert. Wir haben uns längst daran gewöhnt, daß alle Spiegelbilder seitenvertauscht sind.

Wir werden im Gegenteil ratlos, wenn wir uns einmal nicht-seitenvertauscht im Spiegel sehen.

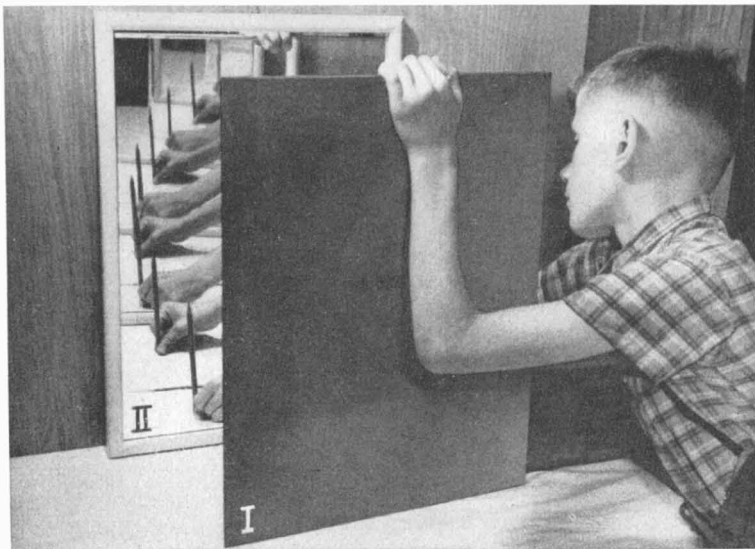
Zwischen zwei Spiegeln

Im Spiegel II (nebenstehende Abbildung), in den wir hineinblicken, sehen wir nicht nur ein Spiegelbild des aufgestellten Bleistiftes, sondern auch den Spiegel I samt dem von ihm entworfenen Spiegelbild. So entstehen wechselseitig immer neue Spiegelbilder, die immer kleiner werden und sich zum Kreis schließen oder aber eine geradlinige lange Kette bilden, wenn die beiden Spiegel parallel zueinander liegen.

Je kleiner der Stellwinkel ist, um so größer ist die Zahl der beobachteten Spiegelbilder.

Ein beliebtes Spielzeug, das wohl alle kennen, ist das Kaleidoskop. Blickt man hinein, so sieht man wundervoll farbige, regelmäßige, teppichähnliche Muster, die bei jeder Drehung des Kaleidoskops in ihren Bestandteilen durcheinanderfallen und ein neues Muster bilden.

In der Pappröhre des Kaleidoskops befinden sich zwei oder drei Spiegelglasstreifen, die im Winkel aneinandergelehnt sind. In dem Winkel zwischen den Spiegeln liegt ein buntes Durcheinander von farbigen Glassplintern, das sich bei jeder Drehung anders anordnet

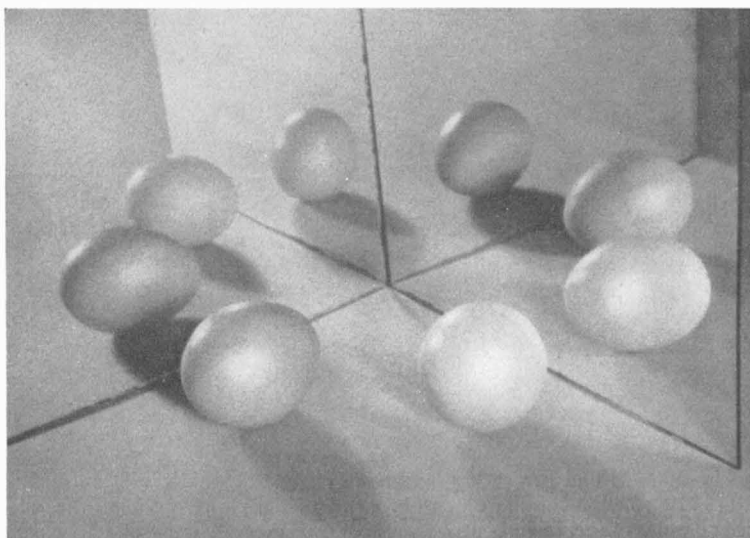


Zwei Spiegel, I und II, werden in einem Winkel zueinander gestellt. Stellt man in den Zwischenraum einen Bleistift, so sieht man viele Bleistifte, die sich zu einem Kreis schließen

und mit seinen Spiegelbildern ein immer wechselndes reizvolles farbiges Muster ergibt.

Belustigend wirken die Spiegel in den sogenannten Irrgärten, die man auf Jahrmärkten findet. In einem solchen Irrgarten, den man durch einen schmalen Gang betritt, sind, möglichst versteckt, zahlreiche große Spiegel angebracht. Durch die vielen Spiegelbilder wird man irregeleitet. Immer wieder glaubt man, den richtigen Weg einzuschlagen oder einen Ausgang gefunden zu haben, und immer wieder stößt man dabei gegen einen Spiegel, den man nicht bemerkte und der den vermeintlichen Ausgang versperrt.

Hier sind zwei Spiegelscheiben im rechten Winkel aneinandergestellt. Man sieht acht Eier. Zwei davon sind aber nur eßbar. Die anderen sechs sind „Spiegeleier“



Nicht-seitenvertauschte Spiegelbilder

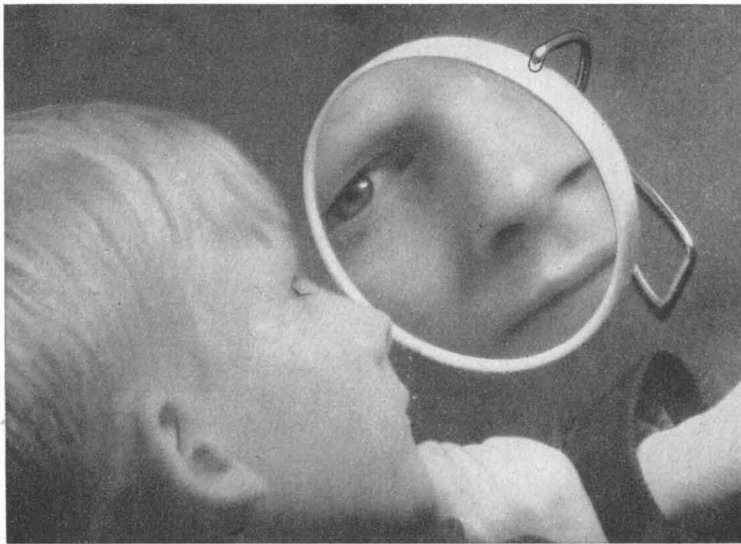


Mit zwei Spiegeln können wir auch unser nicht-seitenvertauschtes Spiegelbild betrachten

Rechtwinklig zum Wandspiegel halten wir einen Handspiegel, in dem wir unser seitenvertauschtes Spiegelbild erblicken. Drehen wir den Handspiegel etwas in der Richtung zum Wandspiegel, so erscheint im Handspiegel ein neues, nicht-seitenvertauschtes Spiegelbild. Gleichzeitig sehen wir im Wandspiegel ein zweites Spiegelbild vor uns, das ebenfalls nicht-seitenvertauscht ist.

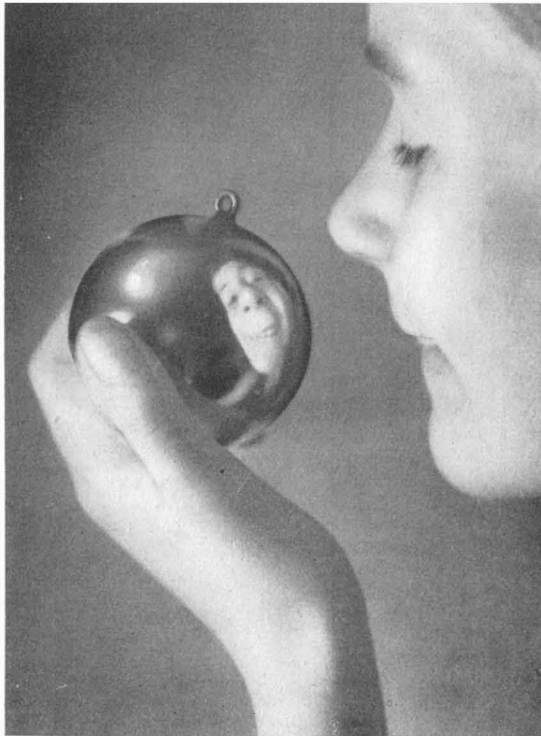
Tragen wir den Scheitel links, so tragen diese beiden Spiegelbilder den Scheitel ebenfalls links. Kneifen wir das rechte Auge zu, so kneifen diese beiden Spiegelbilder ebenfalls das rechte Auge zu. An solche Spiegelbilder sind wir nicht gewöhnt. Wir wollen einmal versuchen, uns vor unserem wirklichkeitstreuen Spiegelbild zu käm- men und den Scheitel zu ziehen. Da geraten wir in die seltsamsten Schwierigkeiten. Es ist uns einfach unmöglich, den Scheitel zu ziehen – obwohl wir gerade hier ein wirklichkeitstreu- es Spiegelbild betrachten –, weil wir an seitenvertauschte Spiegelbilder gewöhnt sind. Erfahrung und Gewohnheit spielen also beim Gebrauch des Spiegels eine wesentliche Rolle.

Gewölbte Spiegel



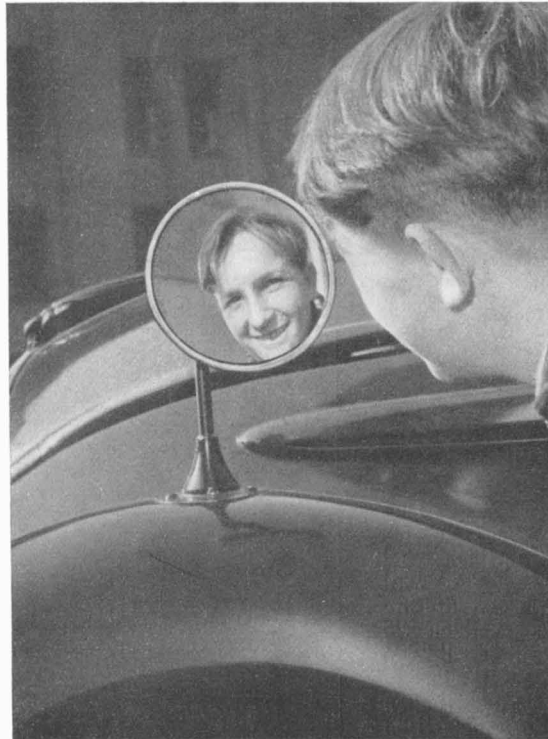
Der Rasierspiegel erzeugt ein aufrechtes vergrößertes Spiegelbild

Eine
Weihnachts-
baumkugel
erzeugt
aufrechte
verkleinerte
Spiegelbilder,
die lustige
Verzerrungen
aufweisen



Der Rasierspiegel ist ein Hohlspiegel (Konkavspiegel), der nach innen gewölbt ist. Jeder Hohlspiegel ist aufzufassen als ein Stück einer gläsernen Hohlkugel, deren Innenseite versilbert ist. Wenn wir nahe an den Rasierspiegel herantreten, sehen wir ein aufrechtes vergrößertes Bild.

Ein erhabener Spiegel (Konvexspiegel) ist ein nach außen gewölbter Spiegel, der als ein Stück einer außen versilberten Glaskugel an-



Als Rückspiegel
an Kraftwagen
und Motor-
rädern ver-
wendet man
erhabene
Spiegel

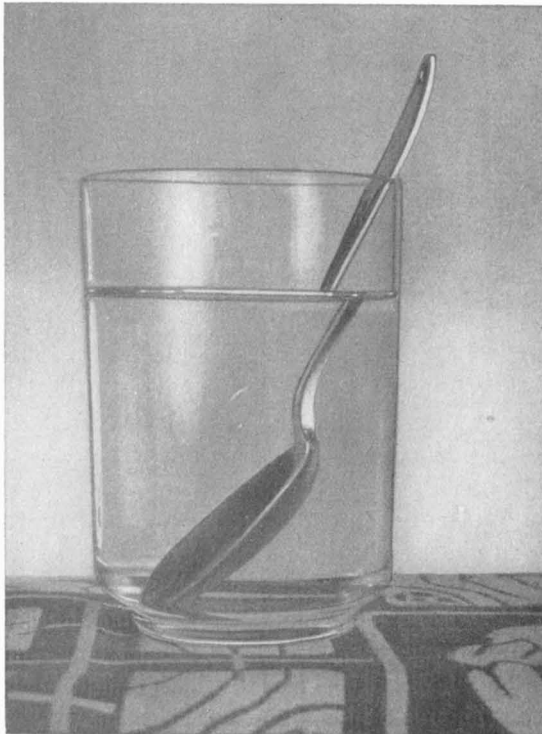
gesehen werden kann. Erhabene Spiegel liefern immer aufrechte verkleinerte Spiegelbilder.

Auf Jahrmärkten findet man oft sogenannte Lachkabinette, in denen wir unser eigenes Spiegelbild in den verschiedensten komischen Verzerrungen betrachten können. In einem zylindrisch geformten Spiegel, dessen Zylinderachse senkrecht steht, erscheinen wir lang und spindeldürr; in einem Zylinderspiegel, dessen Achse waagrecht liegt, dagegen zwergenhaft klein und unförmig dick.

Gebrochenes Licht

Es sieht so aus, als sei der Kaffeelöffel im Wasserglas zerbrochen. Aber das ist nur eine Täuschung. Lichtbündel (Lichtstrahlen) pflanzen sich geradlinig fort. Wenn Sonnenstrahlen durch die herabgelassene Jalousie ins abgedunkelte Zimmer fallen, können wir ihren schnurgeraden Verlauf beobachten, weil Staubteilchen in der Bahn des Lichtstrahles aufblitzen.

Lichtstrahlen
erfahren beim
Eindringen in
eine Flüssigkeit
und beim
Verlassen der
Flüssigkeit eine
Richtungs-
änderung.
Deshalb er-
scheint der Löffel
im Wasserglas
gebrochen





Mit einem Stab können wir feststellen, daß die Tiefe eines klaren Baches immer größer ist, als wir sie schätzen

Trifft ein Lichtstrahl auf Wasser, so wird er an der Eindringstelle geknickt, bevor er im Wasser geradlinig weiterläuft. Beim Austritt aus dem Wasser wird er nochmals geknickt. Die Lichtstrahlen, die von dem im Wasser befindlichen Löffelstiel ausgehen, werden beim Austritt aus dem Glas gebrochen. Dadurch entsteht die Täuschung.

Eine ähnliche Beobachtung machen wir, wenn wir einen Stab schräg ins Wasser halten und schräg von oben betrachten. Wir erblicken dann einen Stab, der an der Wasseroberfläche geknickt zu sein scheint. Das untere Stabende erscheint gehoben.

Sehen wir einen Fisch im Bache schwimmen, so unterliegen wir der gleichen Täuschung. Der Fisch scheint näher an der Wasseroberfläche zu sein, als er sich tatsächlich befindet. Er schwimmt immer in einer tieferen Schicht, als es uns erscheint.

Auch die Steine auf dem Grunde des klaren Baches erscheinen gehoben. Wir schätzen stets eine geringere Tiefe, als wir sie nachher mit einem eingetauchten Stock feststellen, weil wir gewohnt sind, die Gegenstände in der geradlinigen Verlängerung des Lichtstrahls zu sehen, der in unser Auge fällt. Schätzen wir etwa die Tiefe eines klaren Baches auf $1\frac{1}{2}$ m, so dürfen wir nicht überrascht sein, beim Hineingehen ins Wasser keinen Grund zu finden.

Halte in der Badewanne eure Hände einmal waagrecht und einmal senkrecht unter die Wasseroberfläche und beobachtet, wie sie ihre Form zu verändern scheinen!

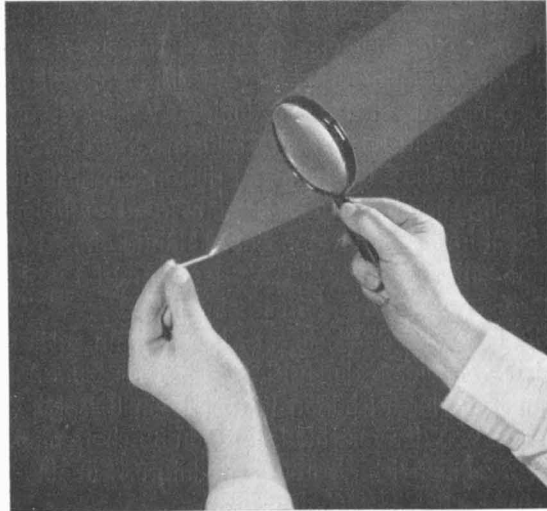
Die Brechung des Lichtes ist immer dann zu beobachten, wenn das Licht von einem durchsichtigen Körper (zum Beispiel Luft) in einen anderen durchsichtigen Körper (zum Beispiel Wasser) eintritt. Sie hängt von der verschiedenartigen Beschaffenheit der Stoffe ab. Das Licht pflanzt sich also nur gradlinig fort in einem Mittel von gleichmäßiger Beschaffenheit.

Auf der Brechung des Lichtes beim Eintritt in kunstvoll geschliffene Linsen und Prismen und beim Austritt aus ihnen beruhen fast alle neuzeitlichen Errungenschaften der Optik, wie Fernglas und Fernrohr, Lupe, Brille und Mikroskop, die Objektive der Fotoapparate oder Kinematografen.

Brennpunkt

Im Leseglas (Lupe) befindet sich eine beiderseits nach außen gewölbte Linse. Solche Linsen werden erhabene (bikonvexe) Linsen oder Sammellinsen genannt. Fällt auf eine solche Linse paralleles Sonnenlicht, so wird es beim Durchgang durch die Linse derart gebrochen, daß es kegelförmig vereinigt (gesammelt) wird. Die Spitze dieses Kegels ist der Brennpunkt. Je stärker die Linse gewölbt ist,

Bei hellem
Sonnenschein
kann man mit
einem Leseglas
ein Streichholz
entzünden



um so näher liegt der Brennpunkt an der Linse. Die Entfernung des Brennpunktes von der Linse wird Brennweite genannt.

Sonnenstrahlen, die im Brennpunkt einer Lupe vereinigt wurden, erzeugen beim Auftreffen auf einen Gegenstand eine so hohe Temperatur, daß man ohne weiteres damit ein Streichholz entzünden oder ein Loch in Papier sengen kann, ja es unter Umständen auch anbrennen kann. Fängt man den Brennpunkt auf weißem Papier auf, um ihn näher zu betrachten, so erscheint er als grellblendendes Licht. Was wir da sehen, ist nichts anderes als ein kleines Bild der Sonne, das durch die Linse erzeugt wird.

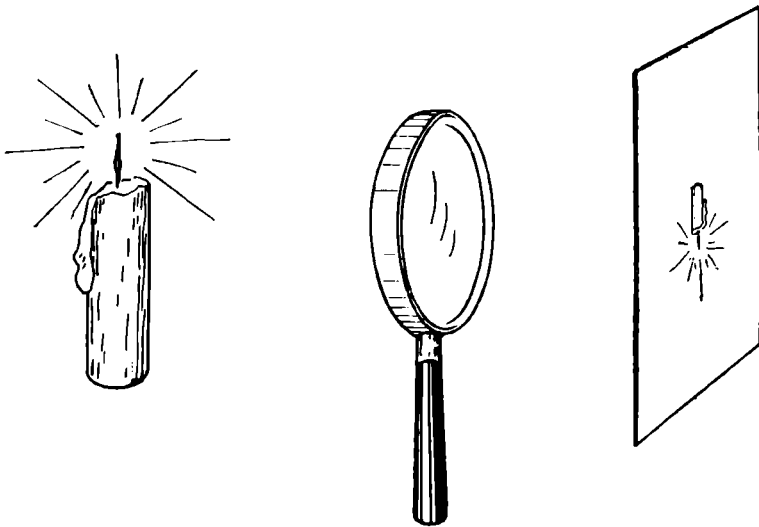
Führen wir die Brennpunktversuche erst mit rotem Licht und dann mit blauem Licht durch, so sehen wir deutlich, daß die Brennweite für blaues Licht kleiner ist als für rotes Licht. Blaues Licht wird von der Linse somit stärker gebrochen als rotes.

Hohlspiegel (wie der Rasierspiegel) vereinigen paralleles Licht ebenfalls in einem Brennpunkt.

Reelle Bilder

Der Versuch wird im dunklen Zimmer angestellt. Die brennende Kerze soll etwa einen Meter von der Lupe entfernt sein. Das Bild entsteht wenige Zentimeter hinter der Lupe. Durch Hin- und Herbewegen der Lupe finden wir rasch die Entfernung, in der eine scharfe Abbildung entsteht.

In gleicher Weise kann man am Tage auch das Zimmerfenster und das gegenüberliegende Haus abbilden. Dabei darf es im Zimmer nicht allzu hell sein, weil sonst das lichtschwache Bildchen von der Zimmerhelligkeit überstrahlt wird. Dieser Versuch gelingt deshalb am besten in der Dämmerstunde.



Eine Lupe oder ein Leseglas erzeugt hier ein umgekehrtes verkleinertes leuchtendes Bildchen einer brennenden Kerze, das man auf weißem Papier auffangen kann. Geht man mit der Lupe etwas näher an die Kerze heran, so entwirft die Linse ein umgekehrtes vergrößertes Bild der Kerze

Solche auffangbaren Bilder werden vom Physiker als reelle Bilder bezeichnet, im Gegensatz zu nicht-reellen Bildern, die wir im Spiegel erblicken, aber nicht auffangen können.

Auch unser Auge enthält ein Linsensystem mit einer erhabenen Linse. Sie erzeugt umgekehrte verkleinerte Bilder von den betrachteten Gegenständen. Die Bilder liegen auf der Netzhaut, welche die innere Rückwand des Augapfels auskleidet. Die Verzweigungen und Enden des Sehnerves, die in der Netzhaut liegen, übermitteln diesen Bildeindruck unserem Gehirn und werden uns dadurch bewußt gemacht.

Am freigelegten tierischen Auge hat man die auf der Netzhaut entstehenden Bildchen genau beobachtet und studiert. Man kann zum Beispiel vor dem Auge eines frisch geschlachteten Ochsens eine brennende Kerze aufstellen. Durch einen Schnitt wird die Netzhaut freigelegt. Dann sieht man auf der Netzhaut das umgekehrte verkleinerte Bildchen der brennenden Kerze.

Es erscheint merkwürdig, daß wir aufrechte Gegenstände sehen, obwohl tatsächlich alle auf der Netzhaut entstehenden Bilder umgekehrt sind. Daß die aufrechte Deutung der umgekehrten Netzhautbilder durch unser Bewußtsein lediglich auf Gewohnheit und Erfahrung beruht, wurde von einem Forscher durch einen interessanten Versuch bestätigt. Dieser Gelehrte stellte sich eine Brille her, die in Verbindung mit der Augenlinse aufrechte Bilder auf der Netzhaut erzeugt. Der Forscher trug diese Brille ununterbrochen, etwa acht Tage lang. Vom ersten Aufsetzen der Brille an sah er alles umgekehrt. Alles, was er sah, stand also scheinbar auf dem Kopf. Am ersten Tage hatte der Forscher die größten Schwierigkeiten. Jede Bewegung, jeder Schritt und jede Handbewegung gaben Anlaß zu Irrtümern. Alle Gegenstände sah er auf dem Kopf stehend und auch seitenvertauscht. Wollte der Forscher etwa einen Gegenstand anfassen, den er rechts zu sehen glaubte, so suchte er vergeblich und machte durch Abtasten die Erfahrung, daß der Gegenstand sich links befand. Gesichtssinn und Tastsinn, alte Gewohnheit und neue Erfahrung standen im Widerspruch. Der Forscher mußte erst wieder lernen, das Gesehene

richtig zu deuten, das heißt so zu deuten, wie es der Tastsinn bestätigt. Das dauerte einige Tage. Dann gewann er seine Sicherheit in allen Bewegungen und im räumlichen Urteilen zurück.

Als der Forscher nach acht Tagen die Umkehrbrille wieder absetzte, unterlag er zunächst den gleichen Irrtümern wie bei Beginn dieses eigenartigen Versuches. Er war von neuem unfähig, räumlich richtig zu urteilen, er war unsicher bei jeder Bewegung. Erst nach einer gewissen Zeit des Umlernens und des Eingewöhnens hatte sich der Gesichtssinn wieder auf wirklichkeitstreue Deutung umgestellt.

Durch dieses interessante Experiment, das gewiß sehr anstrengend war, wurde erwiesen, daß die richtige Deutung der umgekehrten Netzhautbilder lediglich auf Erfahrung und Gewohnheit beruht.

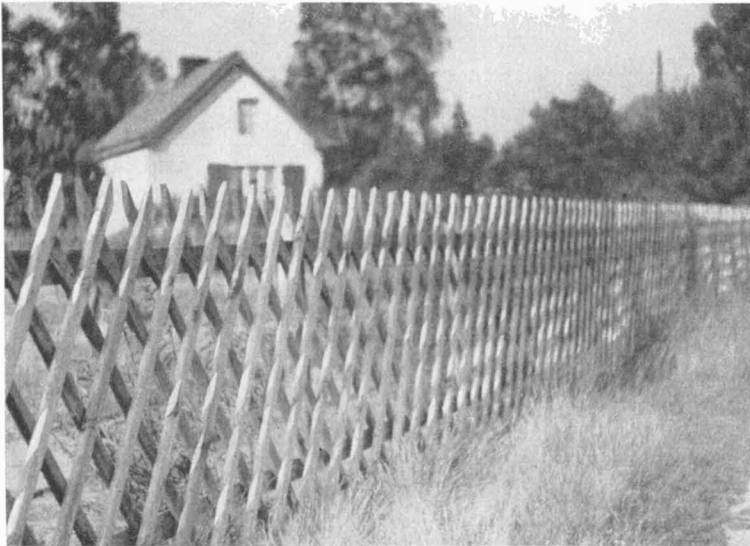
Die Blende der Kamera

An der folgenden Aufnahme eines Gartenzaunes ist zu bemängeln, daß die Latten des Zaunes lediglich in der nächsten Umgebung der eingestellten Entfernung von 3 m scharf abgebildet sind. Das Bild wurde aufgenommen mit der größtmöglichen Blendenöffnung (Bild S. 115 unten). Die Bezeichnung „Blende 2,8“ bedeutet, daß bei dieser Einstellung der Durchmesser des Blendenloches den 2,8ten Teil der Brennweite des Objektivs beträgt. Hat das Objektiv eine Brennweite von 8 cm, so hat also bei Blende 2,8 die Blendenöffnung einen Durchmesser von nicht ganz 3 cm. Bei Blende 4 beträgt der Durchmesser der Öffnung 2 cm. Bei Blende 8 hat in diesem Falle das Blendenloch einen Durchmesser von nur 1 cm.

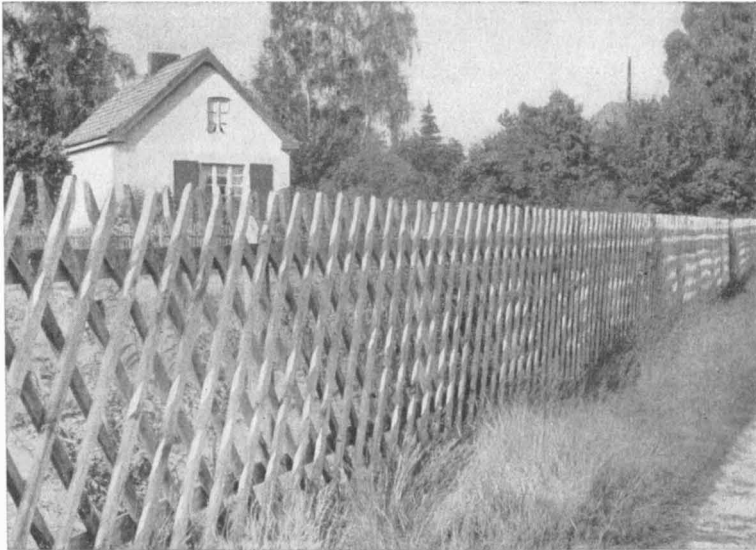
Fast alle Latten des Gartenzaunes werden scharf (Bild S. 115 oben) abgebildet, wenn die Aufnahme mit Blende 22 gemacht wird. Da bei dieser Einstellung die Blendenöffnung kleiner ist als bei der ersten Aufnahme, so fällt jetzt weniger Licht in die Kamera. Deshalb müssen wir länger belichten. Die zweite Aufnahme wurde deshalb $\frac{1}{25}$ sec belichtet.

Eine kleine Blende ergibt Tiefenschärfe. Das ist eine wichtige Regel für den Fotografen. Dabei müssen wir beachten, daß die kleinste Blende des Objektivs durch die Zahl 36, die größte Blende durch die Zahl 2,8 gekennzeichnet ist.

Wie ist die Erzielung von Tiefenschärfe durch eine Blende zu erklären? Bringen wir die Schrift eines Buches bis auf etwa 8 cm an das Auge heran, so erscheint die Schrift verschwommen und wird unleserlich. Halten wir jetzt zwischen Schrift und Auge eine Postkarte, in die wir mit einer Stecknadel ein Loch gestochen haben, so wird die Schrift bei der Betrachtung durch dieses Loch wieder deutlich und lesbar. Die verwaschene Schrift wird scharf durch die vorgehaltene kleine Blende. Warum? Die äußeren Lichtstrahlen, welche die verwaschenen Ränder der Buchstaben verursachen, werden zum großen



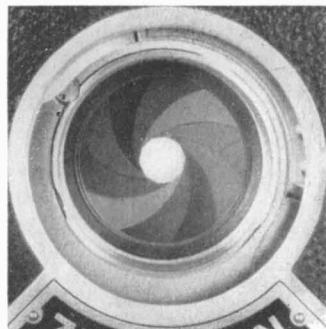
Dieser Gartenzaun wurde aufgenommen mit folgender Einstellung:
Entfernung 3 m, offene Blende (2,8), Belichtungszeit $\frac{1}{400}$ sec



Das Bild erhält „Tiefenschärfe“ bei Benutzung der Blende 22

Teil „abgeblendet“, das heißt an der Randung des Loches aufgehalten. Sie gelangen also gar nicht ins Auge. Dadurch wird die Schrift wieder deutlich.

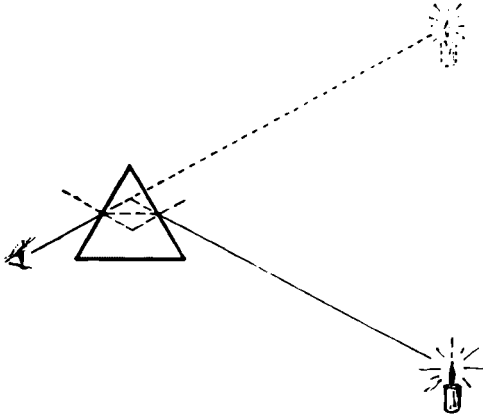
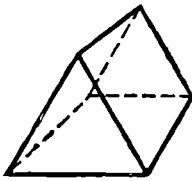
In ähnlicher Weise ist es zu erklären, daß durch die Benutzung einer kleinen Blende die Tiefenschärfe einer Fotografie erzielt wird.



Die verstellbare Blende am Objektiv der Kamera gibt eine mehr oder weniger große runde Öffnung frei, durch die das Licht in den Apparat eindringt

Farbenzerlegung

Wir legen einen weißen Papierstreifen von 1 cm Breite und 10 cm Länge auf dunkler Unterlage auf den Tisch. Das Prisma wird derart gehalten, daß seine lange Kante ungefähr parallel zur langen Seite des Papierstreifens liegt. Blickt man jetzt durch das Prisma nach dem Papierstreifen, so erscheint der weiße Papierstreifen gehoben. Zugleich ist das Weiß in ein prächtiges Farbenband zerlegt, dessen Farben ineinander verschmelzen. Diese Farben werden Regenbogenfarben genannt. Wir unterscheiden folgende Farbgruppen: Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett. Der bunte Farbenfächer wird als Spektrum bezeichnet. Durch das Prisma wird das weiße Licht der Papierstreifen in seine farbigen Bestandteile zerlegt. Weiß ist ein Gemisch aller Farben des Spektrums. Die Entfächerung des Lichtes durch das Prisma beruht auf der Brechung des Lichtes im Glas. Die einzelnen Farben werden verschieden



Ein solcher Glaskeil wird Prisma genannt. Gelegentlich sieht man ein solches Prisma auf dem Schreibtisch als Briefbeschwerer. Früher wurden ähnliche geschliffene Gläser zur Zerstreuung des Lichtes und als Verzierung an Kronleuchtern verwendet

Beim Blick durch ein Prisma erscheinen die betrachteten Gegenstände infolge der starken Lichtbrechung im Glas beträchtlich gehoben. Zugleich sieht man prächtige Farben, mit denen die betrachteten Gegenstände gesäumt erscheinen

stark gebrochen und somit getrennt. Auf dem betrachteten Papierstreifen liegt Rot unten, Violett oben. Violett erscheint also am stärksten gehoben. Violett wird demnach stärker gebrochen als Rot.

Wir kennen das Spektrum alle vom Regenbogen. Wir können ihn nur beobachten, wenn die Sonne hinter uns und die Regenwand vor uns steht. Das Auftreten des Regenbogens ist im wesentlichen, ähnlich wie im Prisma, durch Brechung und Zerlegung des Sonnenlichtes in den einzelnen Tröpfchen der Regenwand zu erklären.

Blau und Gelb gibt Weiß

Zwei Farben, die zusammen Weiß ergeben, werden Ergänzungsfarben oder Komplementärfarben genannt, eben weil die eine Farbe die andere zu Weiß ergänzt. Komplementärfarben sind Blau und Gelb, Rot und Grün, Orange und Violett.

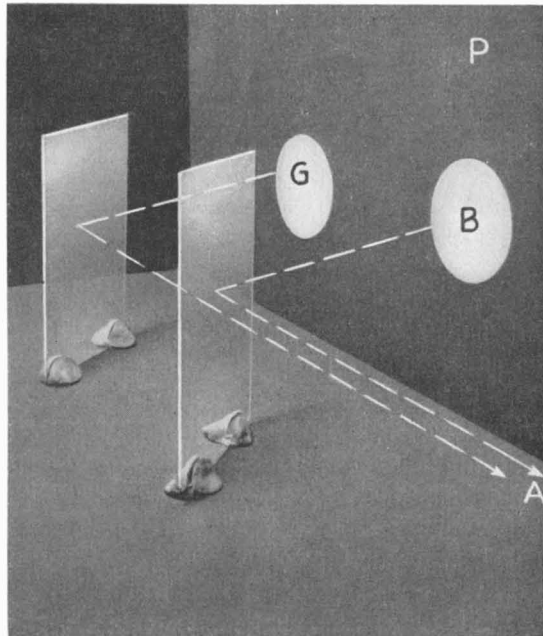
Wie wir wissen, ist Weiß ein Farbgemisch. Wenn man aus weißem Licht den blauen Anteil herausnimmt, so ergeben die restlichen Farben zusammen Gelb. So ist es zu erklären, daß auch reines Blau und reines Gelb zusammen Weiß ergeben. Entsprechend ergeben Rot und Grün zusammen Weiß.

Beim Lesen der Überschrift dieses Kapitels wird mancher unserer Leser zunächst gestutzt haben, denn vom Farbenkasten sind wir gewohnt, daß Blau und Gelb zusammen Grün und nicht Weiß ergeben. Malerblau und Malergelb ergeben beim Mischen immer Grün; blaues Licht und gelbes Licht hingegen ergeben zusammen Weiß.

Die kleinsten Teilchen von blauem Farbpulver verschlucken beim Auftreffen von weißem Licht alle farbigen Anteile außer Blau und etwas Grün. Blau und ein kleiner Teil Grün werden also zurück-

geworfen. Gelbe Farbkörperchen hingegen verschlucken von auffallendem weißem Licht alle Farbenanteile außer Gelb und einem Teil Grün. Werden gelbe und blaue Farbkörperchen gemischt, so verschluckt die Mischung demgemäß alle Farbenanteile außer Grün. Nur Grün wird zurückgeworfen. Deshalb sieht die Mischung von Malergelb und Malerblau grün aus.

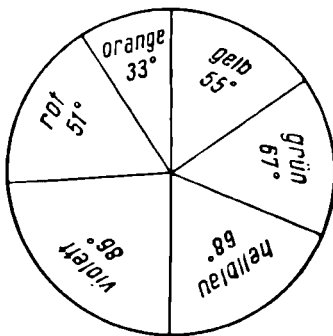
An einer senkrecht aufgestellten schwarzen Pappe (P) werden der gelbe Papierkreis G und der gleich große blaue Papierkreis B aufgeklebt. Beide werden gut beleuchtet. Vor den beiden farbigen Kreisen ist je eine Glasplatte unter Zuhilfenahme von



Plastilin (Knetmasse) senkrecht aufgestellt. Jede Glasplatte entwirft ein Spiegelbild des neben ihr stehenden farbigen Kreises in der Richtung nach A. Durch geeignetes Richten der beiden Glasplatten bei gleichzeitiger Beobachtung aus der Richtung A lässt es sich leicht erreichen, daß die beiden Spiegelbilder sich decken. Das blaue Spiegelbild und das gelbe Spiegelbild ergeben im Falle der Deckung einen weißen Kreis. Blau und Gelb geben Weiß (falls es reine Farben sind; sonst ist das Weiß getrübt)

Der Farbenkreisel

Durch bestimmte einfache Maßnahmen kann der Physiker im Laboratorium den bunten Farbenfächer der Spektralfarben, den er aus einem Prisma erhält, wieder zusammenraffen, so daß wieder das ursprüngliche weiße Licht entsteht. Der Versuch zeigt ebenfalls die Wiedervereinigung der Spektralfarben zu Weiß. Da die verwendeten Farben nicht so rein und leuchtend sind wie im Farbenfächer des Prismas, so ist es nicht verwunderlich, daß bei ihrer Zusammenraffung auch kein reines leuchtendes Weiß, sondern nur ein weißliches Grau entsteht. Die Farben werden in dem Versuch verschmolzen durch eine Eigentümlichkeit unseres Gesichtssinnes. In rascher Folge vermittelt die gedrehte Farbscheibe dem Auge wechselnde Farbeindrücke. Jeder einzelne Farbeindruck wird auch nach dem Verschwinden der betreffenden Farbe noch kurze Zeit nachempfunden. Beim raschen Drehen der Scheibe werden die verschiedenen Farbeindrücke gleichzeitig durch die Sehnerven an unser Gehirn weitergeleitet. Gleichzeitige Empfindung der verschiedenen Spektralfarben aber vermittelt den Eindruck von weißem Licht.



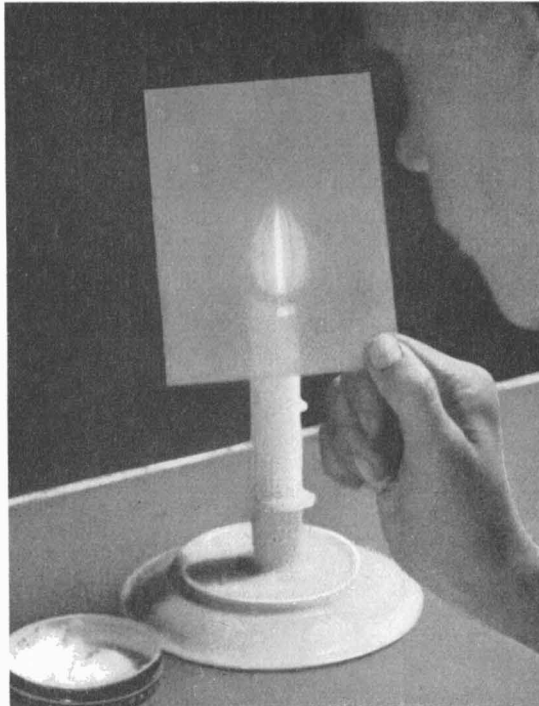
Dieser Farbenkreis wird auf weißen Karton gezeichnet. Dabei werden die Wasserfarben aus dem Malkasten dünn aufgetragen. Der Kreis wird ausgeschnitten. Sticht man durch den Mittelpunkt des Kreises eine Stecknadel und versetzt man den Farbenkreisel auf der Nadelachse in rasche Drehung, so verschwinden die Farben. Die Scheibe erscheint weißlich-grau.

Künstliche Mondhöfe

Wir bestreichen eine Glasscheibe, vielleicht eine ausgediente Fotoplatte, mit einer hauchdünnen Schicht Hautkrem.

In der Drogerie kaufen wir für einige Pfennige eine kleine Tüte Bärlappsporen. Das ist ein leichtes, gelbes Pulver, das aus den Sporen des Bärlappgewächses (des sogenannten Schlangemooses) besteht.

Blickt man durch eine Glasplatte, auf die eine dünne Schicht Bärlappsporen aufgelegt wurde, nach einer brennenden Kerze, so sieht man die Lichtquelle umgeben von prächtigen, farbig gesäumten Höfen



Wir schütten die Bärlappsporen auf ein Blatt Zeitungspapier und drücken die angefettete Glasscheibe darauf. Dann heben wir die Glasplatte wieder hoch und klopfen sie leicht mit dem Finger ab. An der dünnen Fettschicht bleibt dann nur eine feine Schicht von Bärlappsporen hängen.

Wir halten jetzt die Glasscheibe nahe ans Auge und blicken durch die Scheibe nach einer brennenden Kerze. Wir sehen die Kerzenflamme umgeben von drei prächtigen, farbig gesäumten Nebelringen, die als Höfe bezeichnet werden. Rot liegt in jedem Ring außen, Blau innen.

Die Durchmesser der Höfe sind um so größer, je weiter man von der Lichtquelle entfernt ist.

In ähnlicher Weise entstehen bei Nebelwetter derartige Höfe um Straßenlaternen oder Eisenbahnleuchtsignale. Auch beim Blick durch beschlagene erleuchtete Schaufenster können wir solche Erscheinungen beobachten.

An klaren Abenden sehen wir oft solche nebelähnlichen, farbig gesäumten Höfe rings um den Mond. Sie entstehen nur, wenn der gasförmige Wasserdampf in der Luft zu kleinsten Tröpfchen von etwa gleicher Größe verdichtet (kondensiert) wurde.

Wesentlich für das Zustandekommen all dieser Erscheinungen ist der Blick durch ein sehr feines Gitter, das durch Anhäufung kleinster Teilchen gebildet wird (Bärlappsporen, Wassertröpfchen). An diesem Gitter werden die Lichtstrahlen gebeugt, das heißt aus ihrer Geradlinigkeit abgelenkt in Richtung nach dem beobachtenden Auge. Es gelangen somit nicht nur die Lichtstrahlen der direkten Blickrichtung ins Auge, sondern auch weiter außen verlaufende Lichtstrahlen, die nun jenen Außenhof vortäuschen.

Die Mondhöfe sind also nicht etwa Lichterscheinungen, die tatsächlich wie ein leuchtender Kranz den Mond umgeben, sondern derartige Höfe entstehen für unser Auge lediglich dann, wenn die Lichtstrahlen durch ein Netz von feinsten Teilchen gebeugt werden.

Sonnenstäubchen

Sonnenstrahlen
werden im
abgedunkelten
Zimmer sichtbar
durch unzählige
feinste Stäub-
chen, die in der
Bahn der
Sonnenstrahlen
schwimmen und
schweben



Diese Beobachtung zeigt uns, daß in der Zimmerluft, in der wir leben und atmen, viele winzige Staubteilchen vorhanden sind. Im grellen Sonnenstrahl, der ins Zimmer dringt, können wir die langsam schwebende Bewegung jedes einzelnen Staubteilchens genau verfolgen. Diese Stäubchen sind so klein und so leicht, daß sie praktisch gar

nicht nach unten fallen, sondern durch die Wärmebewegung und Wärmeströmung der Luftteilchen in einem Schwebезustand gehalten werden.

Im allgemeinen sind diese Staubteilchen wegen ihrer geringen Größe nicht sichtbar. Sie blitzen erst im grellen Sonnenlicht auf, wenn man sie gegen einen dunklen Hintergrund beobachtet. Ihr Sichtbarwerden beruht keineswegs unmittelbar auf der grellen Beleuchtung, sondern hat seine Ursache in der Beugung des Lichtes an diesen kleinsten Staubteilchen. An solchen kleinsten Körperchen wird das Licht in ähnlicher Weise gebeugt wie etwa in winzigen Lücken eines feinen Gewebes oder einer Schicht von Bärlappsporen.

Blicken wir durch das Gewebe eines Regenschirmes oder durch das Gespinnst einer Hühnerfeder nach einer Lichtquelle, so beobachten wir sogar eine farbige Lichterscheinung, die viel größer ist als die betrachtete Lichtquelle.

Ähnlich ist es bei den Sonnenstäubchen. Am Sonnenstäubchen blitzen durch Beugung Lichter auf, die viel größer sind als das Staubkorn selbst. Erst durch diese vergrößernde Lichterscheinung rückt das Stäubchen in den Bereich des Sichtbaren. Was wir da im Sonnenstrahl schweben sehen, das ist also gar nicht das Sonnenstäubchen. Das ist viel zu klein. Es wird erst durch die hofähnlichen Beugungerscheinungen vergrößert und damit sichtbar.

Diese Beobachtung hat eine große wissenschaftliche Bedeutung durch ihre Anwendung beim Ultramikroskop.

In diesem Ultramikroskop werden kleinste Körperchen durch starkes seitliches Licht angestrahlt, Körperchen, die an und für sich so winzig sind, daß sie selbst mit dem besten Mikroskop nicht erkannt werden können. Diese kleinsten Körperchen werden erst sichtbar durch die vergrößernden Beugungerscheinungen, die das seitliche Licht erzeugt.

Zwar werden dabei Einzelheiten der winzigen Körperchen nicht erkannt, aber die aufblitzenden Beugungerscheinungen geben Kunde von ihrem Vorhandensein.

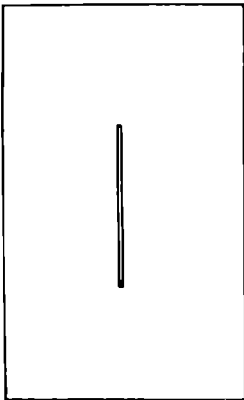
Licht und Licht gibt Dunkelheit

Mit einem scharfen Taschenmesser schneiden wir in ein Stück Schreibpapier einen Spalt von 2 bis 3 cm Länge. Wir halten den Spalt in etwa 15 cm Entfernung vor das rechte Auge. Das linke Auge kneifen wir zu. Blicken wir durch den aufrechten Spalt nach dem hellen Himmel oder ins Mattglas einer Glühlampe, so sehen wir im hellerleuchteten Spalt eine ganze Anzahl von dunklen Linien.

Beim Gang durch den engen Spalt wird ein Teil des Lichtbündels gebeugt, das heißt aus seiner Geradlinigkeit mehr oder weniger stark seitlich abgelenkt. Im Raum hinter dem Spalt verteilt sich das Licht und breitet sich wellenförmig aus. Wo die dunklen Linien auftreten, löschen sich solche einander überlagernde Lichtwellen gegenseitig aus.

Das ist nur möglich, weil sich das Licht als Welle fortpflanzt. Bei Wasserwellen kann man ebenfalls gegenseitige Aufhebung von zwei verschiedenen Wellen beobachten. Wenn eine Stelle der Wasseroberfläche eines Teiches von zwei Wellen erfaßt wird, so legen sich die beiden Wellen übereinander.

Wenn die eine Welle gerade einen Wellenberg herangeführt hat, die andere Welle aber im gleichen Augenblick ein gleich großes Wellental, so heben sich Wellenberg und Wellental gegenseitig auf. Die Wasseroberfläche



Blickt man durch einen engen Spalt nach einer Lichtquelle, so werden im hellerleuchteten Spalt dunkle Linien sichtbar. An dieser Stelle haben sich verschiedene durcheinanderflutende Lichtwellen gegenseitig ausgelöscht

bleibt somit an dieser Stelle in Ruhe, obwohl sie gleichzeitig von zwei Wellen erfaßt wird.

Ähnlich ist die Entstehung der dunklen Streifen im hellen Spalt zu erklären. An diesen Stellen herrscht Dunkelheit, weil der Wellenberg der einen Lichtwelle immer durch das Wellental einer anderen Lichtwelle ausgelöscht wird.

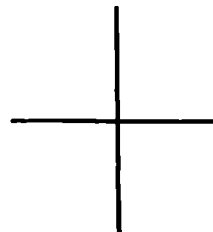
In der Physik werden die beobachteten dunklen Streifen als Interferenzstreifen bezeichnet.

Zauberei am Spalt

In ein Stück Papier wird mit der scharfen Spitze des Taschenmessers ein Spalt von etwa 3 cm Länge geschnitten. Diesen schmalen Spalt halten wir senkrecht unmittelbar vor das rechte Auge und kneifen das linke Auge zu. Blicken wir durch den Spalt auf das Kreuz, so verschwindet bei etwa 30 cm Abstand der senkrechte Strich, so daß nur noch der waagerechte Strich zu sehen ist. Das betrachtete Kreuz muß durch Sonnenlicht oder den Schein einer Lampe gut beleuchtet sein.

Dieser Versuch beruht ebenfalls auf der Beugung des Lichtes in einem schmalen Spalt. Das auf der Netzhaut unseres Auges entstehende Bild des aufrechten Striches wird durch abgelenktes weißes Licht aufgehellt und damit unsichtbar gemacht.

Betrachtet man dieses Kreuz durch einen schmalen Spalt, so verschwindet scheinbar der senkrechte Strich



Augenwimpern als Beugungsgitter



Betrachtet man mit fast geschlossenem Augenlid einen beleuchteten Spalt, so kann man farbige Beugungserscheinungen beobachten

Eine ganze Anzahl von Versuchen hat uns gezeigt, daß das Licht in schmalen Spalten, in kleinen Öffnungen und am Rand von kleinen Körpern gebeugt wird. Besonders deutlich und schön werden diese Beugungserscheinungen immer dann, wenn dem Licht gleichzeitig eine ganze Anzahl von kleinen Öffnungen oder winzigen Körpern entgegengehalten wird.

Auch an einem dünnen Haar können Beugungserscheinungen des Lichtes beobachtet werden. Steht gleich eine ganze Reihe dünner Härchen zur Verfügung, die ungefähr in gleichen Abständen gleichgerichtet nebeneinander stehen, wie zum Beispiel die Reihe der Wimpern unseres Augenlides, so ist die auftretende Beugungserscheinung besonders leicht zu beobachten.

Aus einer dünnen Pappe oder Postkarte schneiden wir mit einem scharfen Taschenmesser einen schmalen Streifen von etwa 2 mm Breite und 2 cm Länge heraus, so daß ein ziemlich breiter Spalt entsteht. Mit dem ausgestreckten rechten Arm halten wir diesen Spalt unmittelbar an das Mattglas der Schreibtischlampe. Das linke Auge kneifen wir zu. Mit dem rechten Auge blicken wir nach dem hellerleuchteten Spalt. Dabei schließen wir die Augenlider so weit, daß die Wimperhärchen in unsere Blickrichtung gestellt werden und wir durch die Härchenreihe hindurchblinzeln. Dann sehen wir links und rechts vom erleuchteten Spalt je drei farbig gesäumte Streifen. Jeder Streifen ist außen rot und innen blau, weil der rote Bestandteil des weißen Lichtes immer stärker gebeugt wird als der blaue Bestandteil. Zwischen dem roten und blauen Rand sind auch die Farben Gelb und Grün sichtbar.

Die Reihe der Augenwimpern dient hier als sogenanntes Beugungsgitter. Durch dieses Beugungsgitter wird das Licht gebeugt und gleichzeitig in seine farbigen Bestandteile zerlegt. Das derartig durch Beugung zerlegte Licht wird Beugungsspektrum genannt. In unserem Versuch sehen wir links und rechts vom Spalt also je drei Beugungsspektren.

„Lebende“ Bilder

Dieses kleine Spiel ist einer der Vorläufer des Kinos.

Auf die Blätter eines Notizblocks zeichnen wir einen Verkehrspolizisten, der einen Arm heben soll. Auf der ersten Seite hat er den Arm noch gesenkt, und auf jedem folgenden Blatt ist er ein Stück höher gehoben. Die eine zusammenhängende Bewegung ist also aufgelöst in viele Einzelbilder. Beim raschen Abschnurren des Notiz-



So schnurrt die kleine
Kino-Zaubervorstellung in
der rechten oberen Ecke
unseres Notizbuches ab

blocks entsteht der Eindruck einer fortlaufenden Bewegung, eines „lebenden“ Bildes.

Unser Kino arbeitet im wesentlichen nicht anders. Wenn ein Film genügend schnell vorgeführt wird, merkt der Betrachter gar nicht, daß er lauter Einzelbilder sieht, zwischen denen kurze Pausen liegen. Diese Tatsache beruht auf einer bestimmten Eigentümlichkeit unseres Gesichtssinnes. Wenn zwei verschiedene Lichteindrücke schnell einander folgen, so werden sie von unserem Gesichtssinn nicht mehr unterschieden. Sie gehen für unser Auge ineinander über. Dieser sogenannte „kinematografische Effekt“ wird beim Kino ausgenutzt, indem alle $\frac{1}{24}$ sec ein neues Bild erscheint, das von unserem Gesichtssinn nicht als getrenntes neues Bild aufgenommen wird, sondern mit den vorherigen und den folgenden zu dem Bewegungseindruck zusammengefügt wird.

Ein einfacher Versuch zeigt uns diesen Effekt in eindrucksvoller Weise. Wenn wir im Dunkeln ein glimmendes Streichholz rasch im Kreise schwenken, sehen wir tatsächlich einen leuchtenden Kreis in-

folge der Nachbilder, die wir von den verschiedenen Stellungen der Lichtquelle erhalten.

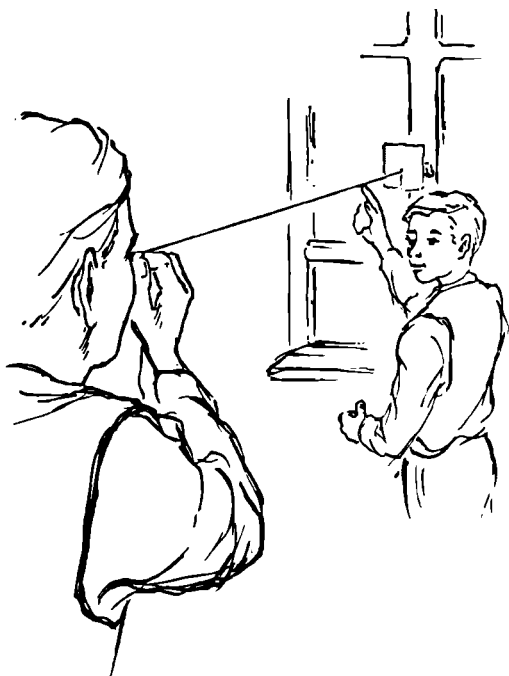
Im Kino, vor allem in Kulturfilmen, werden gelegentlich sogenannte Zeitlupenaufnahmen gezeigt. Da sieht man zum Beispiel einen Reiter beim Pferderennen in unnatürlicher, eigenartig anmutender Langsamkeit über die Hürde springen. Solche Aufnahmen dienen meist dem Studium von Einzelheiten einer in Wirklichkeit sehr rasch verlaufenden Bewegung. Bei Benutzung der Zeitlupe macht der Aufnahmeapparat in 1 sec etwa 240 Aufnahmen, die dann im Kino in etwa 10 sec abrollen.

Umgekehrt arbeitet der Zeitraffer. Er macht etwa stündlich eine Aufnahme, beispielsweise von der Entfaltung einer Blüte. Der ganze Vorgang, der in Wirklichkeit vielleicht mehrere Tage dauert, wird dann auf der Leinwand in wenigen Sekunden vorgeführt.

Nahpunkt und Fernpunkt

Am Fensterriegel oder an der Türklinke befestigen wir einen Zwirnsfaden, der einige Meter lang ist. Das andere Fadenende nehmen wir in die Hand, ziehen den Faden straff und halten ihn dicht ans rechte Auge. Wir kneifen das linke Auge zu und zielen mit dem rechten Auge am Faden entlang. Eine schnurgerade Linie ist zu sehen. Haben wir einen schwarzen Faden genommen, so setzen wir kurz vor dem Fensterriegel ein eingeschnittenes weißes Papier auf den Faden, damit er sich gut gegen den weißen Hintergrund abhebt.

Der Faden ist nicht überall gleichmäßig scharf zu sehen. Das dem Auge nächstliegende Fadenstück verschwimmt. Unser Auge kann sich zwar auf verschiedene Entfernungen einstellen, aber diese Anpassungsfähigkeit ist begrenzt. Gegenstände, die nur 3 oder 4 cm



Zielen wir mit dem Auge an einem gespannten Zwirnsfaden entlang, so ist nicht die ganze Fadenlänge scharf zu sehen

vom Auge entfernt sind, sehen wir nur unscharf und verschwommen. Erst von etwa 10 cm an sehen wir den Faden scharf. Der dem Auge am nächsten liegende Punkt, auf den es sich noch scharf einstellen kann, von dem an wir also scharf sehen, wird Nahpunkt genannt. Beim Normalsichtigen liegt der Nahpunkt 8 bis 10 cm vom Auge entfernt. Ein Weitsichtiger findet seinen Nahpunkt in beispielsweise 40 cm Entfernung. Die weitere Fadenlänge wird von einem Normalsichtigen scharf gesehen. Bei einem Kurzsichtigen jedoch verschwimmt der Faden wieder, vielleicht in 3 m Entfernung. Der am weitesten entfernte Punkt, den wir noch scharf erkennen können, wird Fernpunkt genannt. Die Entfernung des Nahpunktes und des Fernpunktes vom Auge ermitteln wir am besten zusammen mit einem Gehilfen, dessen ausgestreckter Zeigefinger von uns an den betreffenden Punkt dirigiert wird. Der Gehilfe mißt dann die Entfernungen ab. Der Entfernungsbereich, der scharf gesehen wird, liegt also zwischen Nahpunkt und Fernpunkt.

Im Alter wird jeder Mensch mehr oder weniger weitsichtig, das heißt, der Nahpunkt rückt vom Auge ab. Wer in der Jugend das Buch immer zu nahe an die Augen hält, kann dadurch kurzsichtig werden; das heißt, der Fernpunkt, der beim Normalsichtigen sehr weit draußen liegt, rückt näher ans Auge heran. In beiden Fällen wird der Sehbereich eingengt. Er kann wieder erweitert werden durch Aufsetzen einer Brille.

Umschaltbare Augenlinse

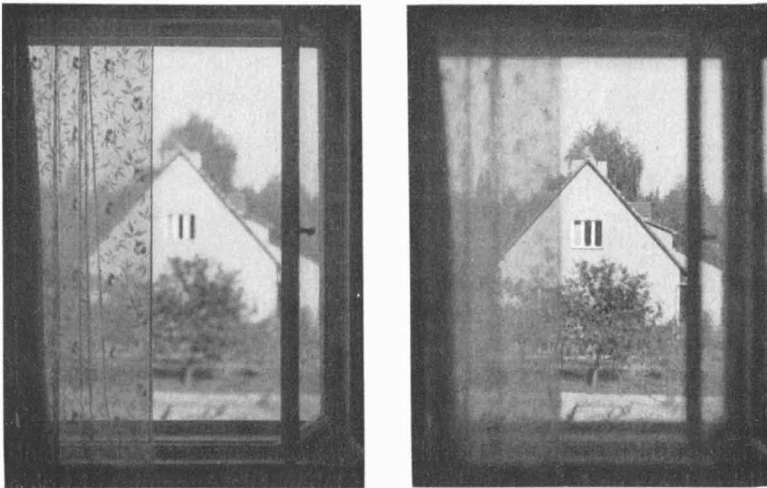


Abb. links: Blickt man aus dem Innern des Zimmers auf die Gardine am Fenster, so sieht man das gegenüberliegende Haus nur verschwommen
Abb. rechts: Fixiert man jedoch durch die Gardine hindurch das gegenüberliegende Haus, so sieht man das betrachtete Haus scharf, die Gardine jedoch erscheint unscharf

Dieser Sehversuch zeigt, daß wir immer nur eine bestimmte gewünschte Entfernung scharf sehen. Das Auge hat die Fähigkeit, sich selbsttätig jeweils auf die betreffende Entfernung einzustellen.

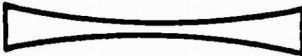
Ähnlich wie in einem Fotoapparat befindet sich in unserem Auge eine glasklare, beiderseits nach außen gewölbte Linse. Sie wird von der sogenannten Regenbogenhaut oder Iris ringförmig umschlossen. Die gläserne Linse der fotografischen Kamera ist starr und hat eine unveränderliche Wölbung. Die Linse im menschlichen Auge jedoch ist dehnbar und kann mehr oder weniger stark gewölbt werden. Blicken wir in die Ferne, so ist die Augenlinse ziemlich flach. Lesen wir hingegen ein Buch, so wird die Linse durch die Augenmuskeln stärker gewölbt.

Richten wir, wie im obigen Versuch, unseren Blick rasch wechselnd erst auf die Gardine, dann auf das Haus, dann wieder auf die Gardine und so fort, so empfinden wir deutlich, daß die dazu notwendige Umstellung der Augenlinse anstrengend ist und uns bald lästig wird. Blicken wir im Zimmer umher, dann wird die Augenlinse durch unsere kleinen Augenmuskeln selbsttätig auf die jeweils erforderliche Wölbung eingestellt. Wir nennen ein solches unwillkürliches Reagieren auf einen Reiz einen Reflex.

Brillengläser

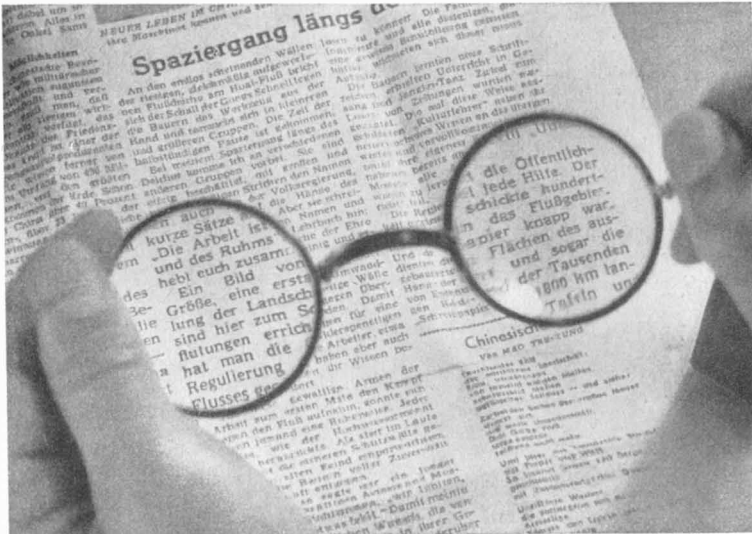
Das menschliche Auge ist ein optisches System, dessen lichtdurchlässige Schichten aus der Hornhaut, dem Kammerwasser, der eigentlichen Linse und dem Glaskörper bestehen. Die Augenlinse ist eine erhabene (konvexe) Linse, die beim Blick in die Nähe stark gewölbt ist. Beim Blick in die Ferne wird die Augenlinse durch einen Augenmuskel um so mehr verflacht, je weiter der betrachtete Gegenstand entfernt ist.

Das kurzsichtige Auge ist entweder zu lang gebaut (angeborene Kurzsichtigkeit), oder es hat die Fähigkeit verloren, seine Augenlinse beim Blick in die Ferne entsprechend zu verflachen. In beiden Fällen entsteht das Bild nicht auf, sondern vor der Netzhaut, und der Kurzsichtige sieht es verschwommen. Dieser Fehler wird durch vorge-setzte Hohlinsen (Konkavlinen) korrigiert. Das sind Zerstreuungslinsen, die durch ihren entgegengesetzten Schliff die zu starke Wöl-bung der Augenlinse ausgleichen.

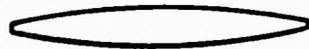


Die Brillengläser der Kurzsich-tigen wirken verkleinernd





Die Gläser der Weitsichtigen wirken wie Vergrößerungsgläser



Beim weitsichtigen Auge hingegen ist entweder der Augapfel zu kurz gebaut (man spricht dann von Übersichtigkeit), oder es hat die Fähigkeit verloren, seine Augenlinse für die Betrachtung von nahen Gegenständen entsprechend zu wölben. Das Bild entsteht hinter der Netzhaut.

Diese ungenügende Wölbung wird ergänzt durch die Wölbung von erhabenen (konvexen) Linsen, die der Weitsichtige in der Brille trägt.

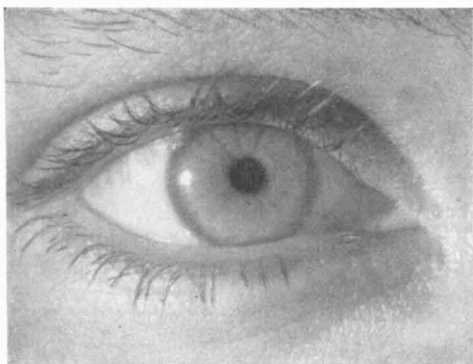
Die Pupille

Die Pupille ist das Sehloch unseres Auges. Durch die Pupille dringt das Licht ins Auge hinein. Unmittelbar hinter der Pupille steht die Augenlinse. Die Pupille ist ringförmig von der Regenbogenhaut (Iris) umschlossen. Das ist ein strahlenförmig angeordnetes Gebilde, das blau, braun, grün, grau oder sogar rot aussehen kann.

Eine bemerkenswerte Eigenschaft der Regenbogenhaut können wir im Spiegel beobachten. Im etwas abgedunkelten Zimmer blicken wir in den Spiegel und schätzen den Durchmesser der Pupille vielleicht auf etwa 4 mm.

Halten wir jetzt – unter steter weiterer Beobachtung des Auges im Spiegel – eine Taschenlampe dicht ans Auge und schalten sie ein, so kommt sofort Bewegung in die Regenbogenhaut. Die Regenbogenhaut zieht sich zusammen und verkleinert damit das Sehloch. Automatisch stellt sich die Regenbogenhaut auf die verschiedenen Helligkeiten ein. Je heller es ist, um so mehr schließt sich die Pupille, und umgekehrt öffnet sich die Pupille um so weiter, je dunkler es ist. Die Regenbogenhaut ist also die Blende, die die Größe des in das Auge eindringenden Lichtstroms selbsttätig reguliert.

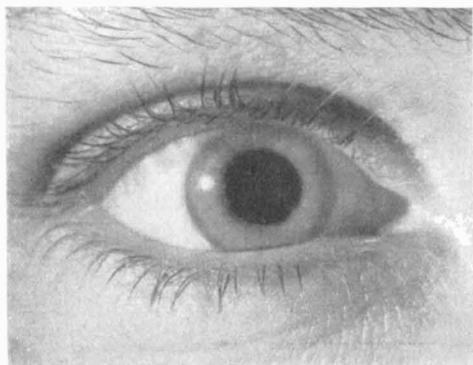
Sitzen wir im dunklen Zimmer und schalten das Licht ein, dann sind wir einen Augenblick geblendet. Denn im Dunkeln war die Öffnung der Pupille groß, und beim plötzlichen Einschalten des Lichtes drang plötzlich ein zu großer Lichtstrom ins Auge. Erst wenn sich die Pupille entsprechend verkleinert hat und die empfindlichen Sehnerven der Netzhaut sich auf die Lichtfülle eingestellt haben, verschwindet der Eindruck des Blendens. Umgekehrt ist es, wenn wir aus dem hellen Zimmer ins Dunkle hinaustreten. Wir können da zunächst kaum etwas sehen. Wir müssen uns erst an die Dunkelheit gewöhnen. Das heißt, die Regenbogenhaut muß durch weite Öffnung der Pupille erst den Zutritt eines ausreichenden Lichtstroms ermöglichen. Bei „Nachtblinden“ spricht die Netzhaut auf diese schwachen Lichtstrahlen nicht mehr an oder doch erst nach mehreren Minuten.



**Im hellen Licht ist
die Pupille klein**

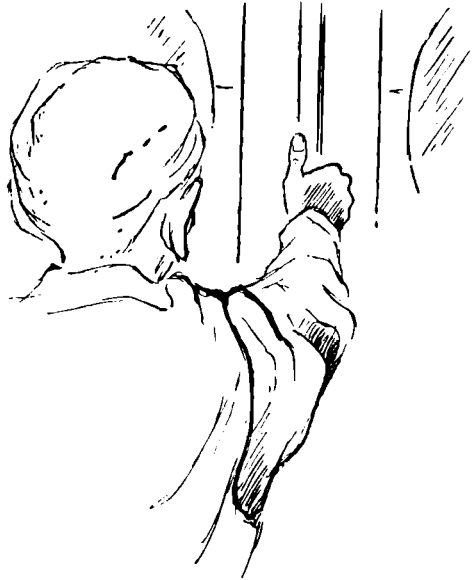


**Bei schwächerer
Beleuchtung
blendet sie auf...**



**...und geht bei
Halbdunkel auf
volle Öffnung**

Der Daumen springt

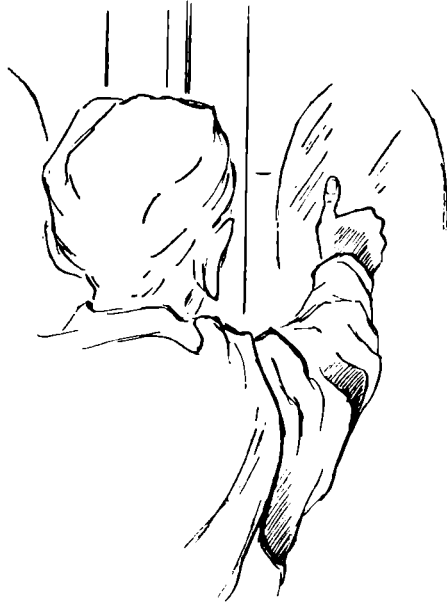


Blick mit dem rechten Auge

Linkes Auge zukneifen! Rechten Arm ausstrecken! Mit dem rechten Auge über den Daumen der rechten Hand nach dem linken Pfosten der Zimmertür zielen! Jetzt rechtes Auge schließen! Mit dem linken Auge zielen! Noch einige Male abwechselnd das eine Auge schließen und mit dem anderen Auge zielen!

Dabei springt scheinbar der Daumen vor dem Hintergrund der Tür hin und her.

Der Eindruck des springenden Daumens wird dadurch hervorgehoben, daß das linke Auge den Daumen an anderer Stelle vor der Tür sieht als das rechte Auge. Das muß notwendigerweise so sein, weil unsere Augen in einem bestimmten Abstand nebeneinander stehen und demzufolge beim Betrachten des rechten Daumens das linke Auge eine andere Blickrichtung hat als das rechte Auge. Die seitliche Sprungweite des Daumens ist um so größer, je näher wir ihn an das Auge heranhalten.



Blick mit dem linken Auge

Die beiden Bilder, die unsere beiden Augen von ein und demselben betrachteten Gegenstand entwerfen, sind also verschieden. Beim Sehen mit beiden Augen verschmelzen aber in unserem Bewußtsein die beiden verschiedenen Bilder zu einem einzigen Bildeindruck, zu einem räumlich gesehenen, plastischen Bild, das deutlich in der Tiefe gestaffelt ist. Auf der Verschiedenheit der beiden Bilder, die in unserem Auge entstehen, beruht das räumliche Sehen. Zum räumlichen Sehen gehören zwei Augen.

Versucht einmal, mit nur einem Auge eine Nadel einzufädeln! Das ist fast unmöglich, vorausgesetzt, daß der Kopf und die Nadel ganz ruhig gehalten werden. Und ein Zuschauer bei diesem Versuch wird sich belustigen, wenn er sieht, wie der Faden weit vor oder hinter der Nadel vorbeigeschoben wird.

Blicken wir mit nur einem Auge ins Gelände, etwa nach einer Baumgruppe, und halten unsern Kopf dabei völlig ruhig, so können wir

meist nicht entscheiden, welcher Baum am weitesten vorn und welcher am weitesten hinten steht. Mit beiden Augen jedoch ist das sofort zu erkennen.

Opernglas als Stereoskop

Der Versuch des springenden Daumens hat uns gezeigt, daß unsere Augen beim Blick in den Raum zwei Bilder entwerfen, die voneinander verschieden sind. Wenn wir umgekehrt zwei entsprechend verschiedene Fotos betrachten und dafür sorgen, daß jedes der



Betrachtet man diese beiden Bilder aus nächster Nähe mit dem Opernglas, aus dem man die Okulare herausgeschraubt hat, so sieht man ein plastisches Bild. Dabei muß ausprobiert werden, ob es zweckmäßig ist, in der üblichen Richtung oder in umgekehrter Richtung durch das Glas hindurchzublicken. Je nach der Eigenart des Opernglases ist die eine oder die andere Blickrichtung für diesen Versuch geeignet

beiden Bilder nur von einem Auge gesehen wird, so erhalten wir einen räumlichen Eindruck. Durch die Betrachtung mit dem Opernglas, aus dem wir die Okulare herausgeschraubt haben, wird eine Vergrößerung der betrachteten Bilder erzielt, und gleichzeitig wird erreicht, daß jedes Bild nur von demjenigen Auge gesehen wird, für das es bestimmt ist.

Solche Lichtbildpaare werden Stereoaufnahmen genannt (stereos, griechisch, heißt körperlich). Zu ihrer Betrachtung hat man besondere Apparate konstruiert, die eine überraschende Plastik liefern.

Stereoaufnahmen werden mit einer „zweiäugigen“ Kamera gemacht, deren beide Objektive in derselben Entfernung nebeneinanderstehen wie unsere Augen.

Wir können aber auch mit einer gewöhnlichen Kamera Stereoauf-



Stereoskop zum Betrachten von Stereoaufnahmen



Stereokamera

nahmen herstellen, wenn wir nacheinander zwei Aufnahmen machen und vor der zweiten Aufnahme die Kamera um etwa 10 cm seitlich verschieben.

Der blinde Fleck

Wenn wir mit nur einem Auge starr nach der Mitte des Kreuzes blicken, so sehen wir abseits im Blickfeld auch den schwarzen Kreis. Wir sehen ihn zwar nicht deutlich, weil wir während des ganzen Versuches unseren Blick unverändert nach der Kreuzmitte richten,



Linkes Auge zukneifen! Mit dem rechten Auge genau senkrecht auf die Kreuzmitte blicken! Abstand des Buches vom Auge langsam verändern! Bei etwa 25 cm Abstand wird der schwarze Kreis unsichtbar

aber wir bemerken mit dem Blick nach der Kreuzmitte gleichzeitig, daß der schwarze Kreis da ist. Verändern wir jetzt langsam die Entfernung vom Buch zum Auge, so gibt es eine Entfernung, bei der der schwarze Kreis plötzlich verschwindet. Sie liegt bei etwa 25 cm.

Es sei nochmals betont, daß es zum Gelingen des Versuches unbedingt notwendig ist, immer starr und unverwandt nur nach der Kreuzmitte zu blicken. Das fällt manchem insofern schwer, als er ja gleichzeitig seine Aufmerksamkeit darauf richtet, ob der abseits im Blickfeld liegende schwarze Kreis noch da ist oder schon verschwunden ist. Da kommt man schon in Versuchung, einmal hinüberzulegen nach dem schwarzen Kreis. Dann aber kann der schwarze Kreis nicht verschwinden. Er kann nur dann verschwinden, wenn er wohl im Blickfeld, aber nicht in der Blickrichtung liegt. Und das ist der Fall, wenn man die Vorschrift genau beachtet und immer nur nach der Kreuzmitte blickt.

Die rückwärtige innere Wand des Augapfels ist ausgekleidet mit der sogenannten Netzhaut. Das ist die flächenhafte Ausweitung des Sehnerves, der vom Gehirn kommt und von rückwärts in das Auge eintritt. Die Netzhaut wirkt, ähnlich wie die weiße Kinowand, als Lichtschirm, auf welchem durch die Augenlinse die draußen erblickte Wirklichkeit abgebildet wird. Auf der Netzhaut liegen die lichtempfindlichen Endstellen des Sehnervs, die jeden Lichteindruck sofort dem Gehirn und damit unserem Bewußtsein melden.

An der Stelle jedoch, an welcher der Sehnerv durch die Augenwand in das Innere des Auges eintritt, befinden sich keine solchen licht-

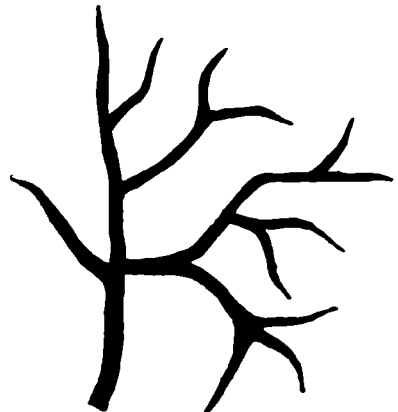
empfindlichen Organe. Wenn durch die Augenlinse auf jene Stelle ein Bild geworfen wird, kann es nicht gesehen werden. Wir sind an dieser Stelle blind. Deshalb wird diese Stelle als der „blinde Fleck“ bezeichnet.

In dem Augenblick, in dem der schwarze Kreis unseres Bildes verschwindet, liegt das Bild, das die Augenlinse von ihm entwirft, auf dem blinden Fleck.

Blutgefäße der Netzhaut, sichtbar gemacht

Im dunklen Zimmer halten wir eine brennende Kerze dicht seitlich an das rechte Auge. Aber Vorsicht, daß dabei die Haare nicht Feuer fangen! Das linke Auge halten wir zu. Wir richten den Blick auf die dunkle Fläche des Fußbodens. Jetzt beschreiben wir mit der brennenden Kerze kleine waagerechte Kreise in nächster Nähe des Auges. Der Blick bleibt dabei starr auf den Fußboden gerichtet. Wir dürfen nicht in die Kerze hineinblicken.

Es wird eine überraschende Erscheinung sichtbar. Auf einem fahlen, grauen Untergrund sehen wir ein baumartig verästelttes Netz von dicken schwarzen Linien. Das erkannte Bild scheint etwa $1\frac{1}{2}$ m vor



In baumartig verästelter Form sieht man bei dem oben geschilderten einfachen Versuch die Netzhautblutgefäße des eigenen Auges

uns im Raum zu liegen und hat beträchtliche Größe. Fast das gesamte Gesichtsfeld ist von der eigenartigen Figur erfüllt.

Was wir sehen, ist die Schattenfigur der Blutgefäße der Netzhaut, die ihrer Ernährung dienen. Die Lichtstrahlen, die von der Kerze schräg ins Auge fallen, werfen auf die lichtempfindliche Netzhaut den Schatten dieser Blutäderchen. Fälschlicherweise verlegen wir das Gesehene nach außen. Wir glauben die merkwürdige Figur im Raum vor uns schwebend zu sehen. Das ist insofern verständlich, als im allgemeinen alle Bilder auf der Netzhaut von Gegenständen außerhalb unseres Auges herrühren.

Dieser berühmte Versuch beweist, daß die lichtempfindliche Schicht der Netzhaut hinter den Blutäderchen liegt, denn sonst könnten ja keine Schatten der Blutgefäße entstehen.

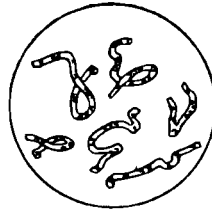
Es taucht die Frage auf, warum diese Aderschatten normalerweise nicht zu sehen sind. Wenn die Blutgefäße vor der lichtempfindlichen Schicht liegen, so müssen ja immer, bei jedem Eindringen von Licht ins Auge, diese Schatten auf der Netzhaut entstehen.

Bei dem alltäglichen Sehen liegen diese Schatten stets auf bestimmten Stellen der Netzhaut, und daran haben wir uns gewöhnt. Bei unserem Versuch hingegen werden die Schatten durch schräg einfallendes Licht auf ungewohnte Stellen der Netzhaut geworfen. Dadurch erregen sie unsere Aufmerksamkeit.

Schwimmkörperchen im Blickfeld

Wir stellen uns eine Lochblende her, indem wir mit einer Stecknadel ein Loch in eine Postkarte stechen. Dieses Loch halten wir ganz nahe ans Auge und blicken durch dieses Loch nach dem Mattglas einer elektrischen Lampe oder auch nach dem hellen Himmel. Das andere Auge kneifen wir zu.

Wir beobachten eigenartige Gebilde, die im Blickfeld unseres Auges schwimmen



Da sehen wir im hellen kreisförmigen Blickfeld eine ganze Anzahl von merkwürdigen, winzigen, kreisförmigen Gebilden. Sie gleiten langsam im Gesichtsfeld abwärts. Wir erkennen vereinzelte winzige Kreise und auch ganze Gruppen solcher Kreise. Bisweilen sehen wir auch Gebilde, die perlschnurähnlich aus lauter solchen kleinen Kreisen zusammengesetzt sind. Diese Flächen sind in den verschiedensten, anscheinend regellosen Formen gebogen und geringelt. Diese beweglichen Gebilde wurden von einem französischen Forscher als „mouches volantes“, im Deutschen als „fliegende Mücken“, bezeichnet. Wenn man im Sonnenbad liegt und nach dem Himmel blinzelt, kann man sehr schön diese „fliegenden Mücken“ beobachten. Wenn man ein solches Gebilde genau betrachten will, stört es, daß das Gebilde immer langsam nach unten aus dem Blickfeld gleitet. Ist ein solches Gebilde gerade am unteren Rande des Blickfeldkreises verschwunden und blickt man dann rasch nach oben, so schießen auch die „fliegenden Mücken“ schnell wieder hoch; sie schießen meist etwas über das Ziel hinaus und gleiten dann langsam im Blickfeld wieder herab. So kann man direkt mit den „Mücken“ spielen, indem man versucht, sie mit dem Blick zu fangen und dabei genau zu studieren.

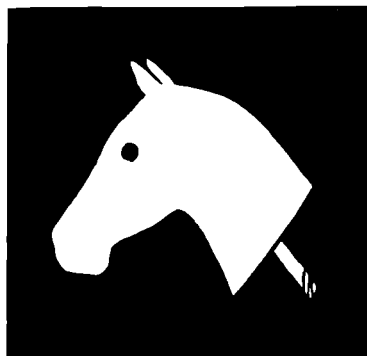
Diese Schwimmkörperchen sind kleine Gebilde, die in unserem Auginnern tatsächlich vorhanden sind. Es sind winzige kleine Trübungen in der gallertartigen, durchsichtigen Masse, die unseren Augapfel ausfüllt. Sie können durch sehr verschiedene Ursachen, beispielsweise durch kleinste Blutaustritte aus den Gefäßen der Netzhaut, hervorgerufen werden. Der Schwerkraft folgend, sinken sie nach jeder Bewegung des Augapfels in der gallertartigen Masse wieder

zu Boden. Eine Bedeutung als „Krankheit“ haben diese Trübungen nicht. Man hat diese „Mücken“ sogar vermessen und gefunden, daß die Breite dieser Perlschnüre etwa $\frac{1}{100}$ mm beträgt. Im hellen Blickfeld werfen diese „fliegenden Mücken“ Schatten auf die lichtempfindliche Schicht der Netzhaut und werden somit sichtbar.

Farbige Nachbilder

Wir blicken 10 sec lang starr und unbeweglich auf das Auge des obigen Steckenpferdes. Richten wir dann rasch unseren Blick auf weißes Papier oder an die Zimmerdecke – wobei wir wieder unbewegten Blickes eine Stelle fixieren –, so erscheint nach etwa 2 sec ein schwarzes Steckenpferd. Dieses „Nachbild“ hält etwa 10 sec lang an.

Beim Betrachten des weißen Steckenpferdes fällt weißes Licht auf eine bestimmte Stelle der Netzhaut. Die Enden des Sehnervs, die an



Wir beobachten ein Nachbild

dieser Stelle liegen, ermüden bald. Diejenigen Stellen der Netzhaut jedoch, auf denen der schwarze Hintergrund der Zeichnung abgebildet ist, ermüden nicht, weil auf sie fast gar kein Licht fällt.

Wenn dann beim Blick auf weißes Papier oder an die Zimmerdecke im gesamten Blickfeld weißes Licht einfällt, so geben die nicht ermüdeten Netzhautpartien das Weiß besonders kräftig wieder. Die ermüdeten Netzhautstrahlen jedoch sprechen zunächst gar nicht an, so daß wir ein schwarzes Steckenpferd erblicken.

Blicken wir 10 sec lang starr auf einen roten Tintenkleck und dann auf weißes Papier, so erscheint ein grüner Tintenkleck. Betrachten wir einen gelbgemalten Kreis, so erscheint ein blauer Kreis und umgekehrt.

Wenn wir lange Zeit auf Rot sehen, ermüdet der Sehnerv und wird für die Rotstrahlen unempfindlich. Blicken wir dann auf Weiß, so werden vor allem die in Weiß enthaltenen anderen Farben empfunden. Die in Weiß außer Rot enthaltenen anderen Farben ergeben aber zusammen Grün.

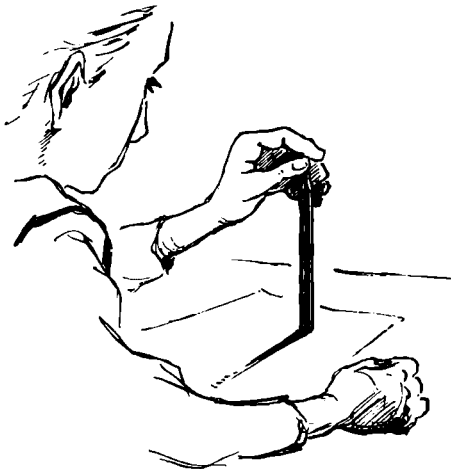
Die Ermüdungserscheinungen der lichtempfindlichen Netzhautschicht beruhen auf chemischen Veränderungen, die im Gewebe der Netzhaut beim Auftreffen von Licht stattfinden. Diese chemischen Veränderungen werden erst nach einer gewissen Zeit durch den nährenden Blutstrom wieder rückgängig gemacht.

Blaue Schatten

Der Schatten, den die Kerze auf das Papier wirft, wird lediglich vom Tageslicht getroffen. Die gesamte restliche Papierfläche hingegen wird sowohl vom Tageslicht als auch von der Kerze beleuchtet. Die Kerze sendet vor allem gelbes Licht aus, das von der Papierfläche

auch in unser Auge zurückgestrahlt wird. Dadurch tritt eine Ermüdung derjenigen Zäpfchen unserer Netzhaut ein, die auf Gelb ansprechen. Betrachten wir den vom Tageslicht getroffenen Schatten, so ist unser Auge infolge der genannten Gelbermüdung fast unempfindlich für den gelben Anteil des auf die Schattenfläche fallenden Tageslichtes, jedoch normal empfindlich für die Ergänzungsfarbe von Gelb, also Blau. Deshalb sehen wir einen blauen Schatten.

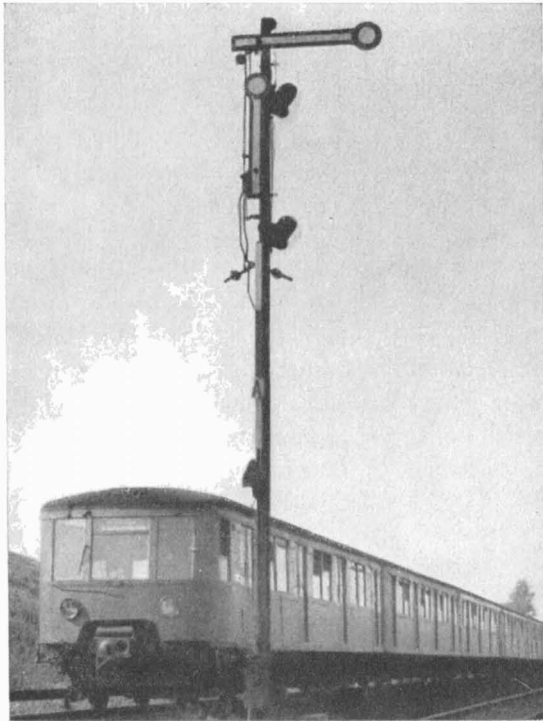
In der Winterlandschaft kann man des öfteren feststellen, daß der Schatten auf dem Schnee tiefblau aussieht. Diese Erscheinung ist vor allem am Morgen und am Abend zu beobachten, wenn die Sonnenstrahlung einen besonders hohen Prozentsatz an gelbem (und rotem) Licht enthält. Die Schneeoberfläche spiegelt besonders viel gelbes Licht zurück. Der Sachverhalt, der die blaue Farbe des Schattens verursacht, ist somit der gleiche wie im obigen Versuch.



In der Dämmerstunde wird in der Nähe des Fensters eine Kerze angebrannt. Wir lassen den Schatten eines Bleistiftes auf den weißen Buchdeckel fallen. Zu unserer Überraschung sieht der Schatten tiefblau aus

Farbenplastik

Die Signalmaste der Eisenbahn tragen nachts ein rotes und ein grünes Lichtsignal. Blickt man in der Dunkelheit nach den beiden farbigen Signallampen, die nebeneinander hängen, so erscheint die rote Lampe näher als die grüne Lampe



An den farbigen Schriftzügen der Leuchtreklame und beim Betrachten von Lichtreklamebildern im Lichtspielhaus können wir die gleiche Beobachtung machen: Das leuchtende Rot steht im Raum scheinbar immer ein ganzes Stück vor dem leuchtenden Blau oder Grün. Kleben wir auf schwarzen Karton eine größere Anzahl von grünen und roten Flecken und betrachten sie mit beiden Augen durch ein großes Leseglas, so scheinen die roten Flecken vor dem schwarzen Hintergrund zu schweben, während die grünen Farbkleckse anscheinend tiefer liegen.

Die Entstehung eines räumlichen Eindrucks an farbigen Zeichnungen wird Farbenplastik genannt. Man kann diese Farbenplastik oft an Gemälden, an bunten Bildern und Tapeten beobachten.

Die verschiedenen Farben, rot oder blau, werden von der Augenlinse verschieden stark gebrochen. Blau wird stärker gebrochen als Rot. Wenn nun in gleicher Entfernung vom Auge Rot und Blau nebeneinander zu sehen sind, so muß die Augenlinse beim Betrachten der roten Farbe stärker gewölbt werden als beim Betrachten der blauen. Dadurch entsteht für uns der Eindruck eines nähergelegenen Gegenstandes.

Eine überraschende Farbenplastik ist an einer abgestempelten roten Briefmarke zu beobachten, wenn man sie mit beiden Augen durch ein großes Leseglas betrachtet. Der Stempel scheint dann mindestens 3 mm vor der Marke frei im Raum zu schweben. Bunte Zigaretten-schachteln und andere farbige Reklamedrucke zeigen unter dem Leseglas sehr häufig ähnliche Erscheinungen der Farbenplastik.

„Bei Nacht sind alle Katzen grau“

Wenn uns eine nächtliche Wanderung durch einen Wald führt, so erkennen wir in unmittelbarer Nähe vielleicht noch die Umrisse der Baumstämme, wir sehen vielleicht noch Zweige und Blätter, die sich im Winde wiegen, aber wir bemerken nicht mehr das Grün der Blätter, das Braun der Baumrinde und nicht mehr das Rot der blühenden Heide am Wegrain. Mit fortschreitender Dunkelheit wird unsere Farbempfindung mehr und mehr ausgeschaltet, bis wir schließlich alles Erkennbare nur noch in einförmigem Grau sehen.

Die lichtempfindlichen Organe der Netzhaut unseres Auges sind die Stäbchen und Zäpfchen. Stäbchen und Zäpfchen funktionieren verschieden. Die Zäpfchen vermitteln Farbeindrücke, die Stäbchen sprechen nur auf Hell und Dunkel an. Die Stäbchen sind empfind-

Querschnitt durch die Netzhaut.

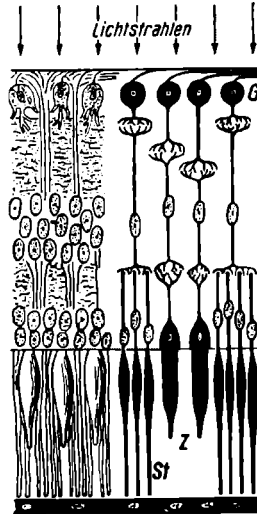
G = Ganglienzellen, St = Stäbchen, Z = Zäpfchen. Der lichtempfindliche Teil der Netzhaut ist merkwürdigerweise vom Licht abgewandt und enthält eine sehr große Anzahl von Stäbchen und Zäpfchen

licher als die Zäpfchen. Bei fortschreitendem Dunkelwerden wird deshalb zuerst unser Farbensinn ausgeschaltet.

Jeder hat schon die Erfahrung gemacht, daß das nächtliche Sehen bei schwacher Helligkeit einen unsicheren, unsteten Charakter besitzt. Man erkennt seitwärts plötzlich einen Schatten. Vielleicht ist es ein sonderbar geformter Baumstumpf. Wendet man erschreckt den Blick nach dort, um das auffällige Gebilde im direkten Blick näher

zu betrachten, so huscht das Gesehene lautlos weg und ist verschwunden. Ängstlichen Menschen wird dabei unheimlich zumute.

Aber alles geht mit rechten Dingen zu und findet eine natürliche Erklärung. Wenn wir einen Gegenstand im direkten Blick betrachten, so fällt sein Bild auf diejenige Stelle der Netzhaut, die der Pupille genau gegenüberliegt. Diese Stelle, die als „gelber Fleck“ bezeichnet wird, ist zwar die lichtempfindlichste Stelle der Netzhaut, sie ist jedoch nur mit Zäpfchen besetzt. Beim direkten Blick sehen wir also nur mit den farbenempfindlichen Zäpfchen. Im Dunkel der Nacht sind, wie wir eben feststellten, gerade diese Zäpfchen wegen ihrer geringen Empfindlichkeit außer Betrieb. Die Stäbchen jedoch, die also sämtlich außerhalb des gelben Fleckes liegen, funktionieren auch noch bei dieser geringen Helligkeit. Sie werden aber nur von Lichtstrahlen getroffen, die schräg in die Pupille einfallen. So kommt es, daß wir seitlich, im indirekten Blick, noch Gegenstände erkennen, die aber sofort verschwinden, wenn wir den Blick auf sie richten und sie somit mit dem gelben Fleck betrachten.



INHALTSÜBERSICHT

MECHANIK KRAFT UND BEWEGUNG

- 9 Der balancierende Bleistift
- 10 Kleine Geheimnisse
- 12 Hebel
- 13 Elastische Kräfte
- 14 Trägheit
- 16 Wirkung und Gegenwirkung
- 18 Von fallenden Körpern
- 20 Pendel
- 22 Berühmter Pendelversuch
- 23 Zentrifugalkraft
- 27 Kreisel

FLÜSSIGKEITEN

- 29 Verbundene Gefäße
- 30 ρ atü
- 31 Ein Körper schwimmt
- 33 Spiel im Selterswasser

- 35 Der Wasserhahn tropft
- 38 Ein Tintenklecks
- 39 Streichholzspiel

GASE

- 41 Ist das Glas leer?
- 42 Eierpusten
- 43 Barometer
- 45 Umgekehrtes Wasserglas
- 47 Stechheber
- 48 Luftleerer Raum
- 49 Luftverdünnter Raum
- 51 Luftdruck-Kraftprobe

STRÖMUNGSLEHRE

- 53 Saugwirkung eines Luftstromes
- 54 Rauchringe
- 56 Stromlinienkörper im fließenden Wasser

- WÄRMELEHRE** 61 Ausdehnung durch Wärme
- 62 Sprengwirkung des Eises
- 63 Dampf
- 65 Kältemischung
- 67 Eis unter Druck
- 69 Kölnischwasser kühlt
- 71 Nebel in der Seltersflasche
- 73 Wärmeleitung
- 75 Es „zieht“
- 77 Wärme und Bewegung

| | | |
|---------------|----|----------------------------|
| SCHALL | 81 | Es schwingt und klingt |
| | 82 | Seilwellen |
| | 84 | Spiel am Ufer |
| | 87 | Eine Postkarte macht Musik |
| | 89 | Tönende Tischplatte |
| | 90 | Vom Echo |

| | | |
|--------------|-----|---------------------------------------|
| LICHT | 95 | Ein Fettfleck |
| | 96 | Spiel mit dem Sonnenstrahl |
| | 98 | Spiegeldicke |
| | 99 | Spiegelschrift |
| | 100 | Zwischen zwei Spiegeln |
| | 103 | Nicht-seitenvertauschte Spiegelbilder |
| | 104 | Gewölbte Spiegel |
| | 107 | Gebrochenes Licht |
| | 109 | Brennpunkt |
| | 111 | Reelle Bilder |
| | 113 | Die Blende der Kamera |
| | 116 | Farbenzerlegung |
| | 117 | Blau und Gelb gibt Weiß |
| | 119 | Der Farbenkreisel |
| | 120 | Künstliche Mondhöfe |
| | 122 | Sonnenstäubchen |
| | 124 | Licht und Licht gibt Dunkelheit |
| | 125 | Zauberei am Spalt |
| | 126 | Augenwimpern als Beugungsgitter |
| | 127 | „Lebende“ Bilder |
| | 129 | Nahpunkt und Fernpunkt |
| | 131 | Umschaltbare Augenlinse |
| | 132 | Brillengläser |

- 135 Die Pupille
- 137 Der Daumen springt
- 139 Opernglas als Stereoskop
- 141 Der blinde Fleck
- 143 Blutgefäße der Netzhaut, sichtbar gemacht
- 144 Schwimmkörperchen im Blickfeld
- 146 Farbige Nachbilder
- 147 Blaue Schatten
- 149 Farbenplastik
- 150 „Bei Nacht sind alle Katzen grau“



**KENNT IHR
DIE SCHRIFTENREIHE**

„UNSERE WELT“?

GRUPPE 2 VON DER NATUR UND IHREN GESETZEN

Edgar Mädlow Wir besuchen eine Sternwarte

Dr. H. J. Müller Was Tiere erleben

Thieke/Klee Einfache chemische Versuche

Karl Friedel Unsere ersten Versuche mit Pflanzen

Dr. W. Rammner Tiere als Bestäuber der Pflanzen

Walter Hellwig Einfache Versuche mit Bakterien und Pilzen

Herbert Pfaffe Aus der Physik des Weltalls

Sigmar Spauszus Aus Salz wird Brot

Wolfgang Büttner Licht von den Sternen

Preis je Heft DM –,60



DER KINDERBUCHVERLAG BERLIN

