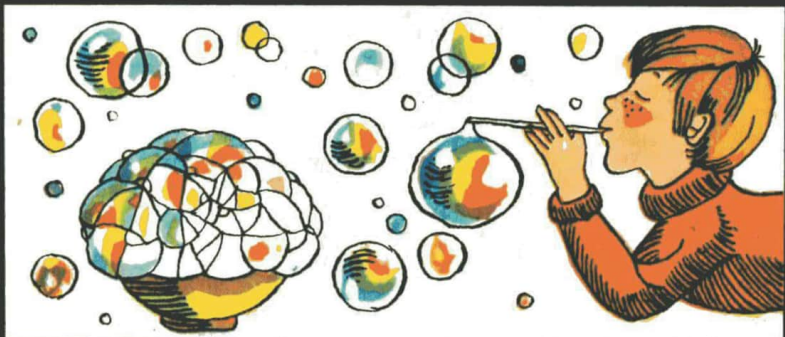




Spiele und Experimente

Gerhard Niese



Gerhard Niese

Spiele und Experimente

Der Kinderbuchverlag Berlin

Illustrationen von Heinz-Karl Bogdanski

VORWORT

„Ein Bleistift balanciert auf der
Fingerspitze.“

Wohl jedes Mädchen und jeder Junge hat schon dieses Kunststück versucht, und wie groß waren die Freude und der Stolz, wenn es gelang! Darüber 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 solcher Kunststücke werden aufgedeckt. Gleichsam spielend werden mit einfachsten, von jedem Leser sofort auszuprobierenden Versuchen die Gesetze der Physik erläutert. Sicher nicht alle Gesetze. Diese Seiten ersetzen kein Lehrbuch der Physik. Nur die einfachsten und dabei interessanten Versuche werden genannt. Damit dringen wir in vier wichtige Teilgebiete der Physik ein: Am Beginn stehen Versuche aus der Mechanik. Wir beobachten Kraftwirkungen (oder: Wirkungen der Kräfte). Warum fällt der Kreisel nicht um? Warum schwimmt ein Körper? Wie kann man mit Hilfe des Pendels die Erdumdrehung nachweisen? Mit diesen und anderen Fragen lernen wir Kräfte und Bewegungen bei festen, flüssigen und gasförmigen Körpern kennen.

Die Wärmelehre ist ein weiteres interessantes Gebiet der Physik. Kältemischungen von -18°C , Dämpfe und Nebel, Eis und rotglühende Herdplatten 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 der Physiker in der Akustik. Wie die Töne entstehen, wie sie in den Schallplatten „konserviert“ werden, worauf das Echo beruht, das lernen wir hier durch Experimente verstehen, die jeder 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 Reflexionsgesetz zu „entdecken“, Lichtbündel 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 konnten berücksichtigt werden, dies würde über den Rahmen dieses Buches hinausgehen.

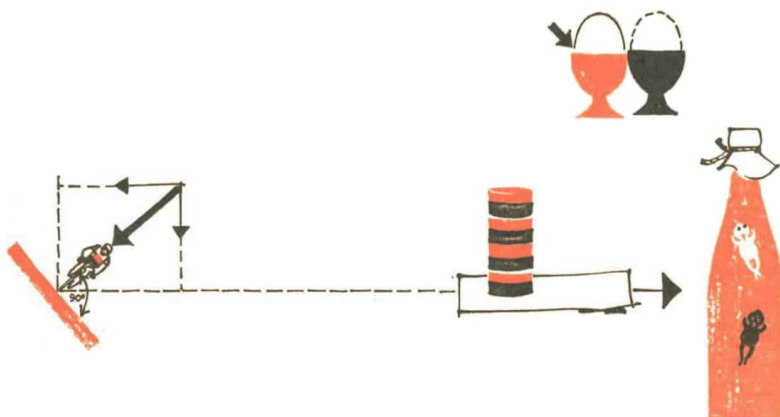
Das Buch soll zum aufmerksamen Beobachten, zum durchdenken, verstandenen Experiment und zur Handfertigkeit im Umgang mit einfachem Werkzeug und selbstgebastelten Geräten hinführen.

Von der Beobachtung, von der Erfahrung geht jedes Wissen, jede Erkenntnis aus.

Deshalb sollte der Leser die Versuche möglichst mehrmals 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. Möge dieses Buch ein wenig dazu beitragen, Freude am Forschen und Erkennen zu wecken.

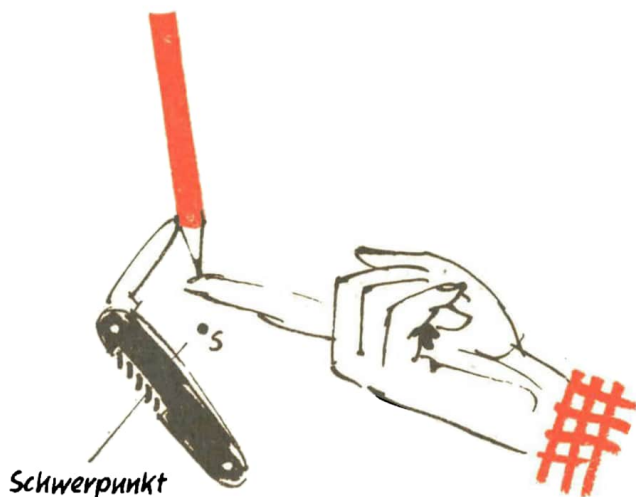
AUS DER MECHANIK



KRAFT UND BEWEGUNG

Der balancierende Bleistift

Das „Balancieren“ des Bleistiftes wird ermöglicht durch das eingestochene Taschenmesser. Das Taschenmesser ist schwerer als der Bleistift. Dadurch verlagert sich der Schwerpunkt des aus Stift und Messer bestehenden Gesamtkörpers unter den Unterstützungspunkt. Den Schwerpunkt eines Körpers müssen wir unterstützen, damit der Körper, der ja infolge der Schwerkraft sonst nach unten fallen würde, in allen Lagen im Gleichgewicht bleibt. Bemerkenswert ist, daß sich der Schwerpunkt des Gesamtkörpers hier außerhalb befindet. Bei den meisten Kör-



pern hingegen, zum Beispiel bei einem Stab oder einer Kugel, liegt der Schwerpunkt im Inneren, bei der Kugel genau im Mittelpunkt. Eigentlich darf man von Balancieren nur dann sprechen, wenn der Schwerpunkt über dem Unterstützungspunkt 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 gesetzt wird, so kehrt er immer wieder in die dargestellte Lage zurück. Auch das Stehaufmännchen beruht auf dem genannten Gesetz.



Kleine Geheimnisse

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



Eine kleine Pappschachtel rollt, sich putzig überschlagend, das Plättbrett hinunter. Zappelnd kommt sie unten an, und es dauert ein Weilchen, bis sie zur Ruhe kommt.

In die Zigarrenkiste haben wir vorher unbemerkt ein genügend schweres Gewichtstück 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 Pappschachtel 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 das 1-Kilogramm-Stück durch ein 100-

Gramm-Stück im Gleichgewicht gehalten. Das wird durch einen Holzstab erreicht, der drehbar gelagert ist. Durch Ausprobieren finden wir rasch die Stelle, die wir als Unterstützungspunkt für die Hand und zugleich als Drehachse wählen müssen, damit der belastete Stab im Gleichgewicht bleibt. Ist der Stab 55 cm lang, so finden wir, daß die Drehachse 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 der Drehachse nennt man Hebelarme. Am langen Hebelarm wirkt also eine kleine Kraft und am kurzen Hebelarm eine große. 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 1 : 10. Ein Hebel ist also ein drehbar gelagerter Stab, durch den wir mit kleinen Kräften eine große Wirkung erzielen können. Mit einem geeigneten Hebel kann der Mensch ohne große Anstrengung schwere Stein- oder Stahlblöcke anheben oder umkanten.

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

Viele Werkzeuge, Einrichtungen, Geräte und Instrumente beruhen auf der Hebelwirkung: Zange, Schere, Schraubendreher, Schraubenschlüssel, Nußknacker, Büchsenöffner, Türklinke, Schlüssel, Dezimalwaage und andere.



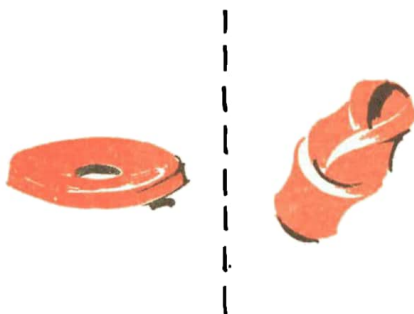
Kaum eine andere Erfindung ist so einfach, sinnreich und vielgestaltig in ihrer Anwendung wie der Hebel. Seit Jahrtausenden schon benutzt ihn der Mensch.

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 Kraft bietet beispielsweise eine Gummidichtung, wenn man einen Teil des äußeren Gummirandes durch das Loch in der Mitte hindurchsteckt. Legen wir den Gummi jetzt auf den Tisch, so springt er nach wenigen Sekunden 20 bis 30 cm hoch und stellt seine frühere Gestalt wieder her.

„Gummi“ ist der volkstümliche Ausdruck für Kautschuk. Das Fremdwort „Kautschuk“ bedeutet übersetzt „fließendes Holz“. Diese Bezeichnung ist sehr





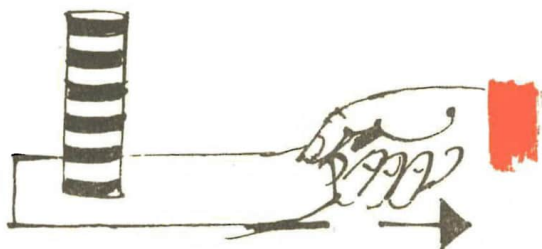
sinnvoll, denn Naturkautschuk wird aus dem eingedickten Milchsafte tropischer Pflanzen gewonnen. Seine wertvolle Eigenschaft erhält der Kautschuk durch bestimmte Füllstoffe, vor allem Schwefel, und durch längeres Erhitzen. Dieser technische Prozeß wird als Vulkanisation bezeichnet.

Künstlicher Kautschuk wird aus Kalk und Kohle hergestellt.



Trägheit

Ziehen wir ganz langsam am Papier, so wird die Säule mit weggezogen. Bei einer raschen Bewegung jedoch ziehen wir das Papier unter der Säule weg, und die Säule bleibt an Ort und Stelle stehen. Alle



Körper haben die Eigenschaft, in Ruhe oder gleichförmiger Bewegung zu verharren, wenn auf sie keine Kraft einwirkt. 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

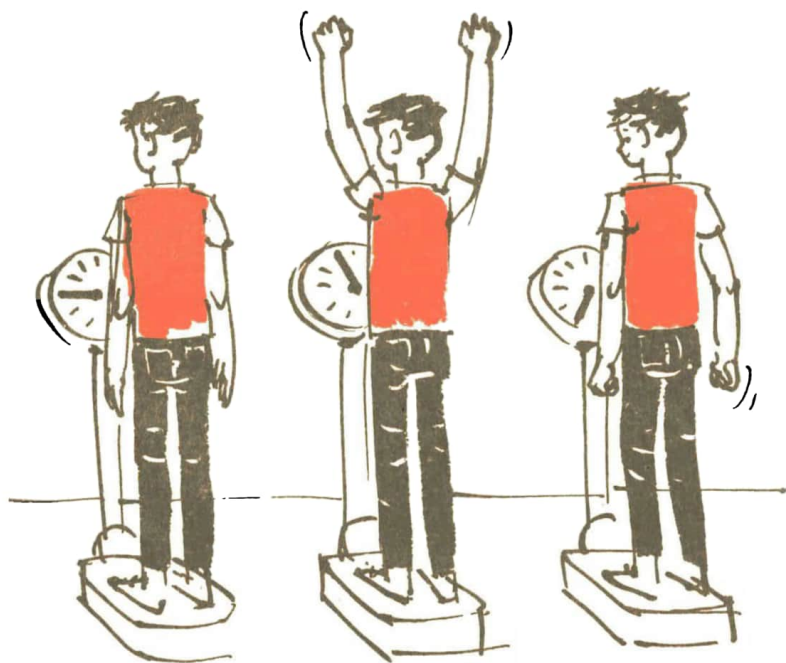


werden muß. Bei zu raschem Anfahren einer Lokomotive kann der Trägheitswiderstand so stark werden, daß die Kupplung reißt und die Waggonen stehenbleiben. Auch in unserem Versuch wurde das Papier so schnell weggezogen, daß gewissermaßen die Kupplung zwischen dem Papier und der Säule riß und somit die Säule nicht weggezogen werden konnte. Wenn der Bäcker das Brot in den Backofen schiebt, zieht er den Schieber ruckartig zurück, daß das Brot nicht mitkommt und auf der Ofenplatte bleibt.

Wenn die Straßenbahn zu plötzlich anfährt, werden wir entgegen der Fahrtrichtung geschleudert, weil unser Körper dem Trägheitsgesetz unterliegt und an Ort und Stelle verbleiben will. Beim scharfen Bremsen der Straßenbahn jedoch werden wir ruckartig in Fahrtrichtung bewegt, weil unser Körper in seinem bisherigen Bewegungszustand verharren will.

Wirkung und Gegenwirkung

Stehen wir zunächst ganz ruhig auf der Waage, so zeigt sie unser Gewicht an. Stoßen wir dann die Arme rasch nach oben, so vermuten wir wohl, daß dabei das angezeigte Gewicht geringer wird, weil die Bewegung nach oben 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 Auf-



wärtsheben der Arme erhält demgemäß unser Körper einen Rückstoß nach unten, der sich in einem vergrößerten Druck auf das Trittbrett der Waage auswirkt.

Stoßen wir jedoch die Arme rasch nach unten, so erhält unser Körper einen Rückstoß 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 Kahn's ans Ufer, so erhält der Kahn einen Stoß 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 entgegengesetzten Kraftstoß erhält, der die Katze 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 und stellen fest: Die Münze fällt rasch senkrecht nach unten, während das Papierschnitzel langsam schräg nach unten wirbelt. Es scheint also, als ob schwere Körper schneller fallen als leichte.

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

Der Widerspruch im Ergebnis dieser beiden Versuche ist durch den Luftwiderstand zu erklären, den das

Papierschnitzel wegen seiner Form nicht so leicht überwindet wie die Münze. Die Oberfläche des Papiers ist sehr groß im Verhältnis zu seinem Gewicht. Pressen wir aber das Papierschnitzel zu einer winzigen Kugel zusammen, dann fällt es fast ebenso schnell wie die Münze.

Wird auf eine größere Münze ein kleines Papierschnitzel gelegt und die Münze fallen gelassen, so bleibt das Papier auf der Münze liegen und fällt ebenso schnell nach unten wie die Münze.

Bei diesem Versuch wird der Luftwiderstand für das fallende Papierschnitzel praktisch ausgeschaltet. Er zeigt, daß beide Körper gleich schnell fallen. Alle Körper fallen gleich schnell, wenn kein Luftwiderstand vorhanden ist. Gewicht und Form der Körper spielen dann keine Rolle. Der Physiker weist das nach, indem er in langen, luftleer gepumpten Glas-





röhren verschiedene Gegenstände gleichzeitig fallen läßt. Im luftleeren Raum fällt selbst eine Daunenfeder genauso rasch wie ein großer Stein.

Die Ursache dafür, daß alle Körper senkrecht nach unten fallen, ist die Anziehungskraft der Erde.

Pendel

Hebt man ein Pendel ein wenig aus seiner Ruhelage und läßt es dann los, so schwingt es hin und her. Die Zeit eines vollständigen Hin- und Herganges wird

Schwingungszeit genannt. Stellen wir zum Beispiel mit dem Sekundenzeiger der Armbanduhr fest, daß das Pendel für 6 volle Schwingungen 3 Sekunden (s) braucht, so ist die Schwingungszeit $3\text{ s} : 6 = 0,5\text{ s}$. Infolge der Reibung im Aufhängepunkt und des Luftwiderstandes werden die Ausschläge immer kleiner, bis schließlich das Pendel zum Stillstand kommt. Trotz kleiner werdenden Ausschlags bleibt, wie wir feststellen können, die Schwingungszeit unverändert. Die Größe des Ausschlags 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 die Masse des Pendels vergrößert oder verkleinert,



findet man, daß die Schwingungszeit die gleiche bleibt. Ausschlag und Masse haben also keinen Einfluß auf die Schwingungszeit. Wohl aber hat die Pendellänge entscheidenden Einfluß. Durch Versuche mit verschieden langen Pendeln können wir uns überzeugen, daß die Schwingungszeit um so größer ist, das Pendel also 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 Abläufen des Uhrwerkes durch ein schwingendes 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 richtig gehen soll, muß das Pendel also langsamer schwingen. Das wird erreicht, indem man das verschiebbare scheibenförmige Massestück an der Pendelstange eine Kleinigkeit nach unten verschiebt und somit das Pendel verlängert.

Berühmter Pendelversuch

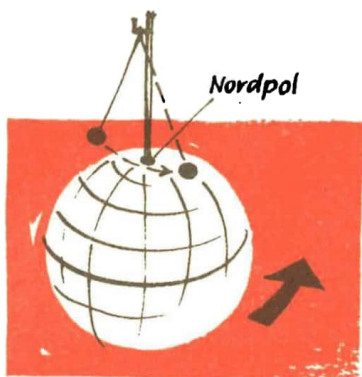
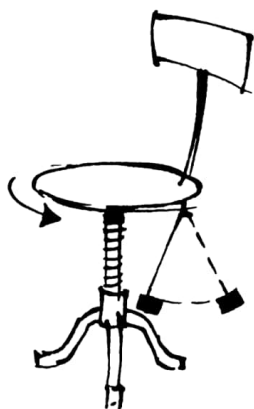
Drehen wir langsam einen Drehstuhl, an dem ein schwingendes Pendel hängt, so macht das Pendel diese Drehung nicht mit, sondern behält seine Schwingungsebene bei.

Ein Pendel am Faden schwingt unverändert immer in ein und derselben Ebene. Auch wenn das Aufhängestell gedreht wird, schwingt das Pendel weiter in seiner bisherigen Schwingungsebene.

Wenn man dagegen am Nordpol der Erdkugel ein großes Fadenpendel schwingen ließe, so würde man feststellen, daß sich die Schwingungsebene des Pendels im Uhrzeigersinn dreht. Da wir aber auf Grund von Versuchen wissen, daß tatsächlich ein Pendel immer seine Schwingungsebene beibehält, so ist die scheinbare Änderung der Schwingungsebene des Pendels am Nordpol nur so zu erklären, daß sich die Erde unter dem Pendel im Gegenuhrzeigersinn, also von West nach Ost, dreht. Ein ähnlicher Versuch wurde im Jahre 1850 erstmalig von dem französischen Physiker Foucault in Paris durchgeführt. Foucault verwendete ein 67 m langes Pendel mit einer Pendelkugel von 28 kg Masse. Ein so langes und schweres Pendel mußte man nehmen, um ein stundenlanges

Schwingen des Pendels zu gewährleisten. Foucault zeigte, daß die Schwingungsebene dieses Pendels sich im Uhrzeigersinn drehte. Die Winkelgeschwindigkeit des Pendels ist in Paris allerdings kleiner als am Nordpol, da die geographische Breite des Versuchsortes einen Einfluß hat. Am Nordpol würde sich die Schwingungsebene des Pendels innerhalb von 6 Stunden um 90° drehen.

Mit diesem berühmten Foucaultschen Pendelversuch kann man beweisen, daß sich die Erde in 24 Stunden einmal um ihre Achse dreht.



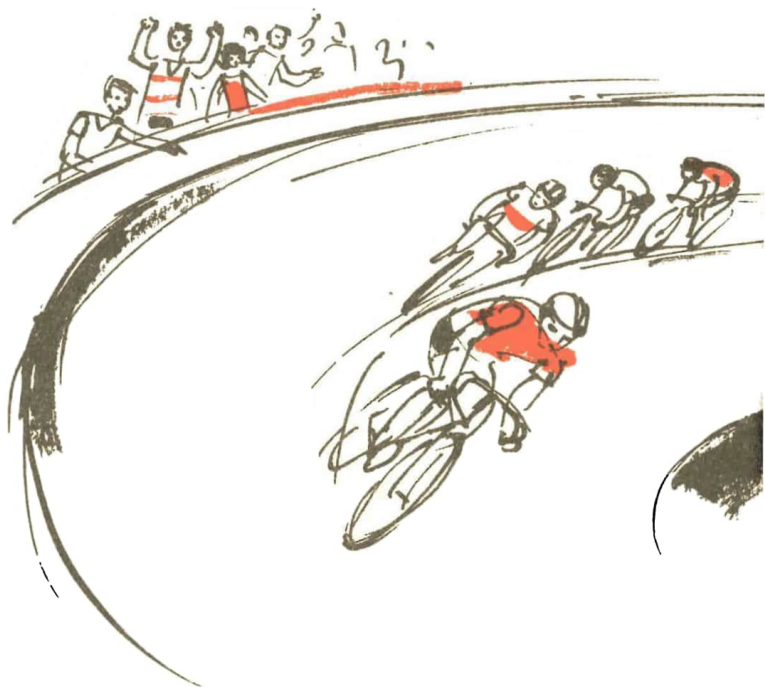
Zentrifugalkraft

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

Bei jeder Kreisbewegung tritt eine nach außen wirkende Kraft auf, die Zentrifugalkraft oder Fliehkraft genannt wird. Jeder hat diese Kraft schon am eigenen Leibe gespürt, am deutlichsten beim Karussellfahren. Die Zentrifugalkraft ist um so größer, je größer die Bahngeschwindigkeit ist. (Bahngeschwindigkeit heißt die Geschwindigkeit eines Körpers, der sich auf einer Kreisbahn bewegt.) In unserem Versuch wird die Zentrifugalkraft so groß, daß selbst die nach unten wirkende Schwerkraft überwunden wird und somit das Wasser im Glase verbleibt, auch wenn die Glasöffnung nach unten zeigt.

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

Wir merken aber im allgemeinen gar nichts von dieser Bewegung, weil sich unsere gesamte Umgebung in gleicher Weise mitdreht. Die Bahngeschwindigkeit ist jedoch ganz erheblich. Stehen wir am Äquator, so „fahren“ wir mit der Erde in einer Geschwindigkeit von etwa 460 m/s; denn die 40 000 km lange Äquatorlinie 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 Bahngeschwindigkeit.



Die Erde führt außer dieser Drehbewegung aber noch eine weitere Bewegung aus.

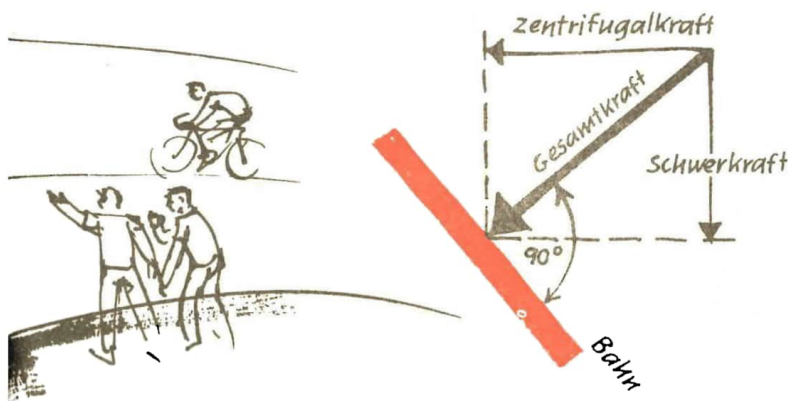
Die sich drehende Erde verbleibt im Weltall nicht am gleichen Ort, sondern bewegt sich im Laufe eines Jahres auf einer riesigen Ellipsenbahn einmal um die Sonne. In dieser Bewegung hat die Erde die Geschwindigkeit von 30 km/s.

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

Da die Erde sich in steter Drehung befindet, wirkt auf jeden Gegenstand der Erdoberfläche die Zentrifugalkraft ein.

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.

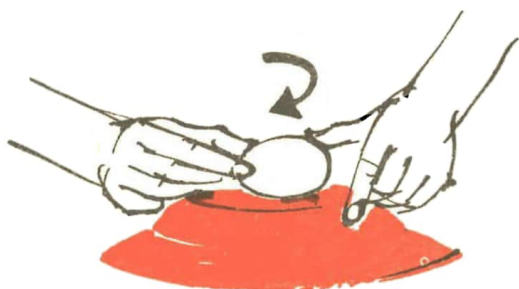




Kreisel

Solange sich der Kreisel schnell dreht, bleibt 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 wird, beginnt der Kreisel unter dem Einfluß der Schwerkraft immer stärker zu taumeln, bis er schließlich umfällt.

Wirft man einen steifen Hut in die Luft, so überschlägt er sich. Versetzt man ihn aber dabei in Drehung, behält er seine senkrechte Drehachse 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 Varietébühne wird beim Jonglieren, beim Werfen von Ringen, Tellern und Messern dieser Effekt ausgenutzt.

Auch ein Hühnerei kann kreiseln. Versetzen wir das Ei auf einem umgekehrten Teller in Drehung, so stellt es sich nach einigen Sekunden plötzlich 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 bremst zu stark, so daß eine ausreichende Drehgeschwindigkeit nicht erzielt werden kann. Durch dieses Aufrichten des Eies beim Kreiseln kann also geprüft werden, ob ein Ei roh oder gekocht ist.

FLÜSSIGKEITEN

Verbundene Gefäße

In dem großen Behälter 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 waagerecht, auch wenn man das Gefäß neigt. In verbundenen Gefäßen liegen die Oberflächen einer Flüssigkeit immer in einer waagerechten Ebene. Anwendung findet dieses Gesetz im Wasserstandsglas, an dem man den Wasserstand in einem geschlossenen Wasserkessel ablesen kann. Auch die Anlage von Wasserleitungen beruht darauf. Der Wasserspiegel im Wasserturm muß immer höher liegen als die höchsten Wasserabzapfstellen, die versorgt werden sollen.





Druck und Überdruck

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 herrscht im Wasserrohr der Leitung ein gewisser Druck. Das Wasser drückt auf jeden Quadratzentimeter der Rohrwandung mit einer Kraft von etwa 70 Newton (Kurzzeichen: N). Der Druck wird in der Technik in Pascal (Kurzzeichen: Pa) angegeben. Beim Druck von 1 Pa wirkt auf jeden Quadratmeter eine Kraft von 1 N. In der Wasserleitung herrscht also ein Druck von rund 700 000 Pa oder 700 Kilopascal (Kurzzeichen: kPa). Da andererseits der Luftdruck im Zimmer rund 100 kPa beträgt, haben wir in der Wasserleitung gegenüber dem Luftdruck einen Überdruck von 600 kPa.

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 Stockwerk eines Hauses geringer als im Erdgeschoß. Im aufgepumpten Fahrradreifen herrscht ein Überdruck von etwa 250 kPa, im Hochdruckreifen eines Kraftwagens 250 kPa bis 600 kPa, im Dampfkessel der Lokomotive 1,4 Megapascal (Kurzzeichen: MPa). Die Sauerstoffflasche, die beim Schweißen verwendet wird, hat, frisch gefüllt, einen Überdruck von mehr als 15 MPa. Bläst man mit dem Munde aus Leibeskräften zum Beispiel gegen ein Stück Papier, so erreicht man einen Überdruck von etwa 10 kPa.

($1 \text{ N} \approx 0,1 \text{ kp}$; $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 \approx 0,00001 \text{ Atmosphäre}$ [Kurzzeichen at].)

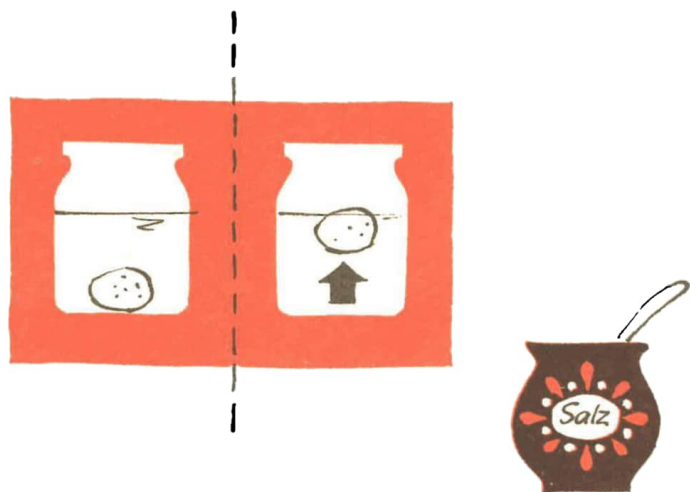
Ein Körper schwimmt

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, der größte Physiker und Mathematiker des Altertums, stellte um 250 v. u. Z. das nach ihm benannte Archimedische Gesetz auf: „Ein Körper verliert in einer Flüssigkeit so viel an Gewicht, wie die von ihm verdrängte Flüssigkeitsmenge wiegt.“ Dieser Gewichtsverlust ist gleich einer Kraft, die in der Flüssigkeit auf den Körper wirkt und die wir Auftrieb

nennen. Wenn ein Körper schwimmt, wird er 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, genausoviel wie der gesamte schwimmende Körper. Ein schwimmender Körper wird also immer nur so tief in die Flüssigkeit einsinken, bis das Gewicht der verdrängten Flüssigkeitsmenge genauso 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.

Eine rohe Kartoffel sinkt im Wasser unter, weil sie schwerer ist als die Wassermenge, die sie verdrängt. Lösen wir jedoch einige Eßlöffel voll Salz in dem Wasser, so steigt die Kartoffel auf und schwimmt. Weil Salzwasser eine größere Dichte hat als Süßwasser, wird im Salzwasser die gleiche Verdrängung schon bei einem geringeren Einsinken erreicht als im





Süßwasser



Salzwasser

Süßwasser. Je konzentrierter die Salzlösung in unserem Versuch gemacht wird, um so weniger tief taucht die schwimmende Kartoffel in die Flüssigkeit ein.

Und nun einmal



scharf nachdenken!



Zwei gleiche Eimer sind bis zum Rand mit Wasser gefüllt. Aber auf dem Wasser des einen Eimers schwimmt noch ein dickes Scheit Holz.

Welcher Eimer ist schwerer?

Spiel im Selterswasser

Vor uns steht ein Glas sprudelndes Selterswasser. Wir werfen eine Weinbeere hinein. Sie liegt am Boden. Sofort scheiden sich an der Beere kleine Gasbläschen aus. Wie winzige Luftballons haften sie an der Beere. Bald haben sich so viele Bläschen angesetzt, daß sich die Beere in Bewegung setzt und in lustiger Ballonfahrt nach oben steigt. An der Flüssigkeitsoberfläche platzen die Ballons, und Kohlendioxid entweicht aus



dem Glase. Dadurch verringert sich der Auftrieb der Beere, und sie taucht wieder zum Boden des Glases. Das Spiel wiederholt sich. Es ist lustig anzusehen, wie die Weinbeere auf und nieder taucht.

Selterswasser wird aus natürlichem Wasser hergestellt, in das man unter Druck ein Gas, das Kohlendioxid, hineinpreßt. Je größer der Druck ist, um so mehr Kohlendioxid löst sich im Wasser zu Kohlensäure. 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 wieder als Kohlendioxid. Besonders leicht scheidet es sich an festen Körpern wieder aus, die mit der Flüssigkeit in Berührung kommen. Deshalb entstehen Bläschen an der Weinbeere und auch an der Glaswandung.

Der Wasserhahn tropft

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

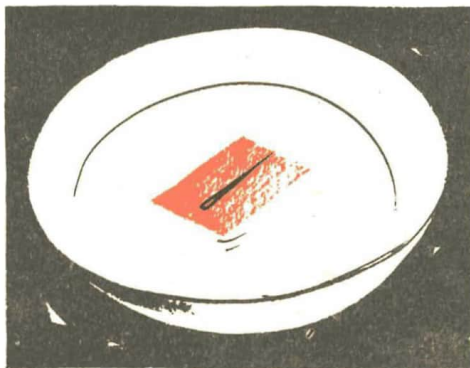
Ähnlich wie in einem elastischen Gummihäutchen sind auch die Teilchen einer Flüssigkeitsoberfläche durch Anziehungskräfte aneinander gebunden, die einer Verformung der Oberfläche entgegenwirken. Diese Spannung der Oberfläche bewirkt, daß zum Eindringen in eine Flüssigkeit ein bestimmter Widerstand überwunden 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 eine Art Schwimmen ist, sondern auf Ausnutzung der Oberflächenspannung beruht, wird uns durch folgenden Versuch verständlich: Wir füllen eine Glasschale 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. Sie schwimmt nicht etwa im üblichen Sinn dieses Wortes; denn ein Körper schwimmt nur dann auf dem Wasser, wenn sein Gewicht kleiner oder gleich dem der von ihm verdrängten Wassermenge ist. Die Nähnadel aber besteht aus Stahl; sie ist schwerer als die ihrem Rauminhalt entsprechende Wassermenge. Nach dem Archimedischen Gesetz müßte sie zu Boden sinken. Sie wird in unserem Versuch von der Oberflächenspannung des Wassers getragen.

Gelegentlich geht beim Versuch das Papierblättchen erst nach längerer Zeit unter. Wir können nachhelfen, indem wir mit einem Bleistift die eine Ecke des Blättchens vorsichtig unter die Wasseroberfläche drücken und dadurch das Sinken des Blättchens einleiten.

Regentropfen und alle frei fallenden Wassertropfen werden von der Oberflächenspannung zusammengehalten. Sie 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.

Seifenblasen

Wenn wir ein Kunststofftrinkröhrchen in Seifenlauge tauchen und dann wieder herausnehmen, hat sich am eingetauchten Ende eine Seifenblasenhaut gespannt. Blasen wir in das Röhrchen hinein, so entsteht eine schöne kugelförmige Seifenblase. Durch eine ruckartige Bewegung mit dem Trinkröhrchen wird die Seifenblase abgelöst und schwebt dahin. Plötzlich platzt sie! Nur ein Sprühregen von feinsten Tröpfchen ist übriggeblieben.

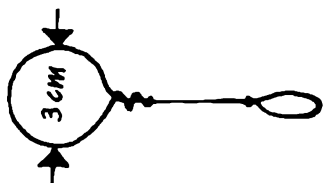
Betrachten wir einmal ganz genau eine Seifenblase, die zunächst noch glasklar und durchsichtig ist. Wir beobachten auf und in ihr verkleinerte Spiegelbilder von uns selbst und von umliegenden Gegenständen.



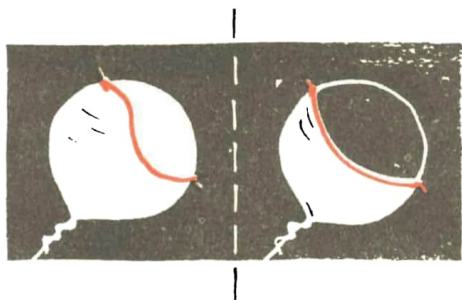
Manche dieser Spiegelbilder stehen aufrecht, andere hingegen auf dem Kopf. Wenn wir die Seifenblase größer und größer und damit ihre Haut immer dünner machen, treten prächtige Farben auf. Ähnliche Farben an dünnen Schichten können wir auch, wenn es geregnet hat, bei Ölflecken auf dem nassen Straßenpflaster beobachten.

Das weiße Tageslicht besteht aus den Regenbogenfarben. Spiegelt sich das Licht an der Wand von dünnen durchsichtigen Schichten und Häutchen, wird, je nach Dicke der Schicht, ein Teil der Farben durch Lichtwellenüberlagerung (Interferenz) ausgelöscht. Dadurch werden die restlichen Farben sichtbar.

Die Dicke der Seifenblasenhaut beträgt im allgemeinen nur 0,01 mm bis 0,0001 mm. Trotzdem hat ein Seifenblasenhäutchen eine erstaunliche Zusammenhangskraft. Biegen wir aus dünnem Draht einen Ring von etwa 3 cm Durchmesser mit Haltegriff und tauchen ihn in die Seifenlauge, so sehen wir beim Herausnehmen, daß sich über den Ring eine ebene Seifenhaut gespannt hat. Pusten wir, nicht allzu stark, gegen diese Haut, so biegt sie sich durch, ohne zu platzen, etwa wie eine dünne Gummihaut.



Befestigen wir vor dem Eintauchen an zwei gegenüberliegenden Stellen des Drahringes die Enden eines kurzen Zwirnsfadens, der nur wenig länger als der



Durchmesser des Ringes sein soll, so schwimmt nach dem Eintauchen der Faden in der Seifenblasenhaut.

Erhitzen wir die Spitze einer Nähnadel in einer Kerzenflamme und stechen wir damit in die Seifenblasenhaut hinein, so platzt sie. Aber nur auf der einen Seite des Fadens! Ruckartig spannt sich dabei der Faden zu einem Kreisbogen, und es entsteht ein sichelförmiges Seifenblasenhäutchen.

Blasen wir mit einem Trinkröhrchen kräftig in die Seifenlauge hinein, so entsteht ein ganzes Gewirr von aneinanderhängenden Seifenblasen. Zunächst erscheint uns dieses Gespinnst aus dünnen Flüssigkeitshäutchen wohl unregelmäßig. Bei genauerem Hinsehen erkennen wir jedoch einen Aufbau von überraschender Gesetzmäßigkeit, der uns an den geometrisch regelmäßigen Bau der Kristalle erinnert. Wir sehen da Schnittkanten, in denen einzelne Häutchen aneinandergrenzen oder sich schneiden. In einer solchen Schnittkante schneiden sich immer nur drei Häutchen. Jeweils vier Schnittkanten schneiden sich immer in einem Punkt. Nie mehr, nie weniger! Über-

zeugt euch selbst, beobachtet genau und zählt nach! Wie steht es mit den Winkeln, unter denen sich drei Häutchen in einer Kante schneiden? Was ist über die Winkel zu sagen, die die in einem Punkt sich schneidenden vier Kanten miteinander bilden? Diese Winkel sind jeweils gleich groß. Streng symmetrisch ist der Seifenblasenschaum aufgebaut, auch wenn die Bläschen, wie im Seifenschaum beim Waschen, so klein sind, daß wir diese Regelmäßigkeit nicht ohne weiteres erkennen. Besonders deutlich können wir diese Regelmäßigkeit im Seifenblasengewirr erkennen, wenn uns ein Raucher dabei hilft. Wir bitten ihn, mit dem Trinkröhrchen mitten in das Gewirr hineinzustechen und dann etwas Tabakrauch durch das Röhrchen hineinzublasen. Es sieht sehr spaßig aus, wenn diese Blase



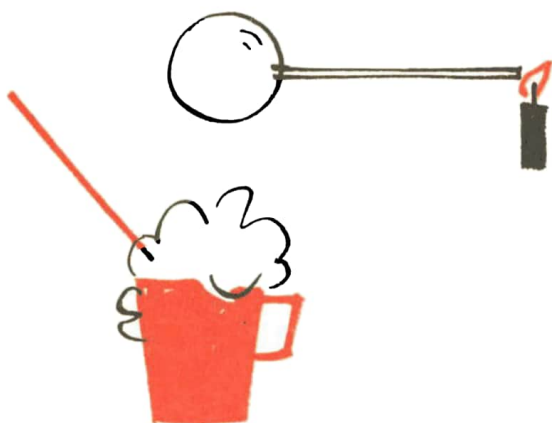


mit Rauch größer und größer aufgeblasen wird. Dann liegt mitten in dem glasigen Gespinnst eine rauchgefüllte, milchigweiß aussehende Seifenblase, die sich von den benachbarten Blasen gut abhebt. Durch diese kleine Hilfsmaßnahme können wir leichter abzählen und beobachten.

Alle diese gesetzmäßigen Regelmäßigkeiten beruhen auf der Oberflächenspannung in der Seifenblasenhaut. Die Teilchen der Flüssigkeit werden in der Seifenblasenhaut durch Kräfte zusammengehalten, die ähnlich wie in einem dünnen Gummihäutchen wirken. Diese Kräfte wirken dem inneren Druck entgegen, so daß die Oberfläche der Seifenblase möglichst klein bleibt. Eine Seifenblase wird deshalb immer kugelförmig; denn die Mathematik lehrt, daß die Kugel derjenige Körper ist, der bei gegebenem Rauminhalt die denkbar kleinste Oberfläche hat. Andere Wirkungen

der Oberflächenspannung wurden bereits im vorhergehenden Kapitel erläutert.

Da die Seifenblase aus einer dünnen Flüssigkeitshaut besteht, wirkt bei ihr die Oberflächenspannung auf beiden Seiten der Haut. Infolgedessen herrscht innerhalb der Seifenblase ein Druck. Wir können ihn leicht nachweisen, wenn wir mit einem weiten Glasrohr eine Seifenblase machen und dann das offene Ende gegen eine kleine brennende Kerze halten. Dabei ist deutlich zu erkennen, daß aus der Seifenblase ein Luftstrom entweicht, der die Kerzenflamme etwas beiseite bläst. Die Seifenblase selbst wird dabei kleiner und kleiner. Der Druck im Inneren einer großen Seifenblase ist kleiner als der Druck in einer kleinen Seifenblase. Genauere Untersuchungen zeigen, daß der Druck im Inneren der Seifenblase nicht nur von der Oberflächenspannung, sondern auch von der Krümmung der Seifenblasenhaut abhängt; und zwar ist der Druck um so größer, je stärker die Krümmung ist. Eine große Kugel ist weniger gekrümmt als eine



kleine Kugel. Je kleiner eine Seifenblase ist, um so stärker ist ihre Oberfläche gekrümmt und um so größer ist der in ihrem Inneren herrschende Druck.



Ein Tintenklecks

Tauchen wir weiches Löschpapier in einen Tintenklecks, so wird dieser rasch aufgesaugt.

Entgegen allen Gesetzen der Schwerkraft steigt die Tinte im Löschpapier langsam aufwärts. Es muß in dem saugfähigen Papier also irgendeine Kraft wirksam sein, durch die die nach unten wirkende Schwerkraft überwunden und die Tinte 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 durch ein Gespinnst von feinsten Röhrchen aufgelockert, 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.

Welche Kraft ist es wohl, durch die die Tinte wie ein Fahrstuhl in einem Fahrstuhlschacht gehoben wird?



Die Moleküle der Rohrwandung 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 nichtbenetzenden Flüssigkeiten, wie zum Beispiel Quecksilber, die im Gegensatz zu

Wasser am Glas nicht haften, da bei ihnen die Kohäsionskraft größer ist als die Adhäsionskraft.

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 im menschlichen Körper die feine haarröhrenähnliche Verästelung der Blutgefäße. Mit dem Blut werden den einzelnen Zellen durch Haarröhrenwirkung die zum Leben notwendigen Nährstoffe zugeführt.

Ist das Glas leer?

Auf die Wasseroberfläche legen wir eine Korkscheibe, auf der wir noch eine kleine Figur oder einen Kerzenstumpf befestigt haben. Über den Kork stülpen wir ein leeres Becherglas und drücken es sacht unter die Wasseroberfläche.

Es ist strenggenommen 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 uns zwar ganz selbstverständlich. Doch wir müssen daran denken, daß auch die Luft ein solcher Körper ist, der Raum ausfüllt.

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

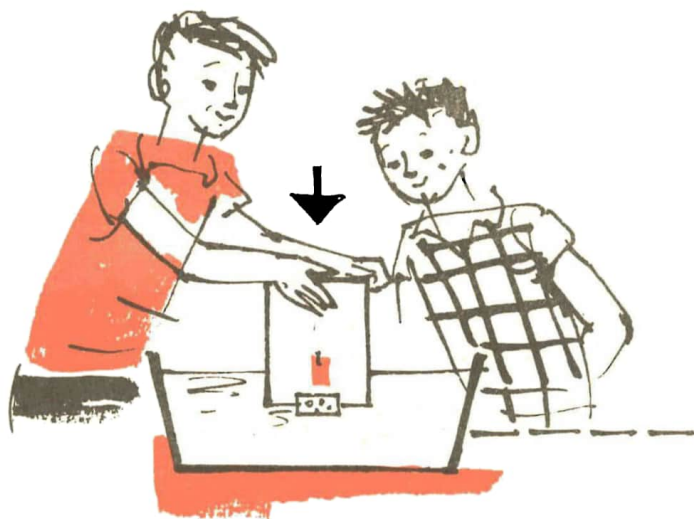
Mit unserem Versuch zeigten wir zugleich das Modell einer Taucherglocke, wie sie zu Unterwasserarbeiten verwendet wird.

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 drückt sie etwas zusammen.

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

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

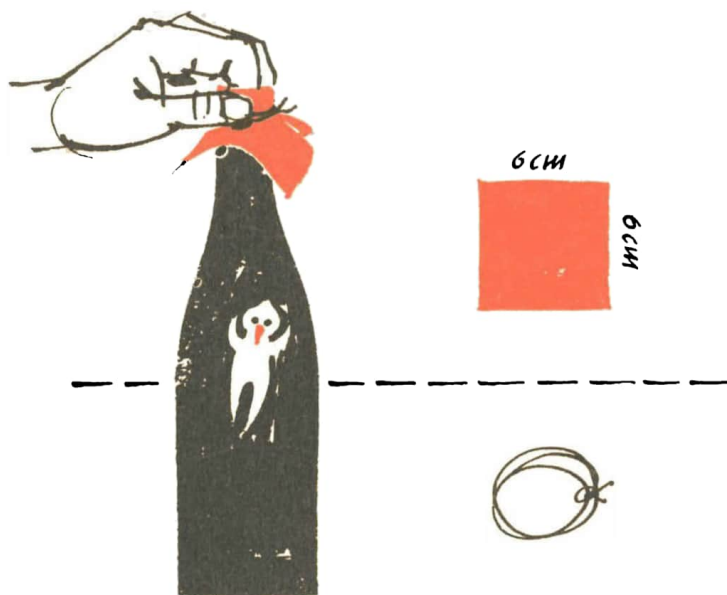


Der kartesische Taucher

Der kartesische Taucher, auch Flaschenteufelchen genannt, ist ein kleines, leichtes Glasfigürchen, das innen hohl ist. Der Schwanz ist diesem Teufelchen in Form eines feinen, dünnen Glasröhrchens um den Leib gewickelt, das am Ende ein winziges Loch hat. Legen wir den Taucher aufs Wasser, so schwimmt er in waagerechter Lage. Warum? Weil er mit Luft gefüllt ist. Allerdings ragt der Taucher in dieser Schwimmelage nur wenig aus dem Wasser heraus. Die Figur ist etwas leichter als ein gleich großes Volumen Wasser.

Machen wir unseren Flaschenteufel tauchfertig! Dazu brauchen wir eine Flasche, möglichst aus klarem, nicht gefärbtem Glas, und ein Stück Gummi, am besten





von einem alten Fahrradschlauch, etwa 6 cm mal 6 cm groß. Die Flasche füllen wir bis oben an mit Wasser und setzen den Taucher senkrecht in den Flaschenhals. Der Taucher schwimmt wieder. Er ragt mit halbem Kopf über den Wasserspiegel heraus. Der enge Flaschenhals hält ihn aufrecht.

Jetzt legen wir den Gummi auf die Öffnung der Flasche, straffen ihn und binden ihn mit einem Stück Bindfaden fest um den Flaschenhals. Die bis oben an mit Wasser gefüllte Flasche ist dann mit dem Gummiläppchen verschlossen. Nun kann der kartesische Taucher starten. Wir drücken mit dem Zeigefinger auf den Gummi, und schon sinkt der Taucher. Nur langsam sinken lassen! Nur wenig drücken! Und dabei den Taucher beobachten, ganz scharf beobachten! Jetzt geschieht nämlich das, was wir wissen

wollen. Wer den Taucher beim ersten Sinken genau beobachtet, wird feststellen, daß er sich dabei mit Wasser füllt. Das ist deutlich zu sehen. Wenn der Taucher unten angekommen ist, steht das Wasser in der Glasfigur etwa bis zum Hals. Durch das eingeflossene Wasser wurde der Taucher schwerer, deshalb ist er in die Tiefe gesunken. Das eingeflossene Wasser ermöglicht der Figur, in senkrechter Lage zu sinken, denn der untere Teil der Figur wird durch das Wasser schwerer. Jetzt wollen wir den Taucher wieder steigen lassen. Wir verringern also den Druck auf den Gummi. Was sehen wir dabei im Inneren der Figur? Beim Aufsteigen weicht das Wasser aus dem Inneren des Tauchers zurück. Wenn der Taucher auf dem Boden der Flasche steht, reicht das Wasser im Inneren der Figur etwa bis zum Hals. Wie weit ist er mit Wasser gefüllt, wenn er wieder oben im Flaschenhals angekommen ist?

Wenn wir auf den Gummi drücken, üben wir auf das Wasser einen Druck aus, der sich im Wasser nach allen Seiten fortpflanzt. Infolge dieses Druckes im Wasser fließt durch das dünne Schwanzröhrchen Wasser in die Figur hinein. Die Luft im Inneren wird zusammengepreßt. Nehmen wir den Finger vom Gummi weg, so drückt diese verdichtete Luft wieder Wasser aus dem Inneren der Figur hinaus. Dadurch wird der Taucher leichter und steigt empor.

Doch nicht alles Wasser wird wieder hinausgedrückt. Die Anhangskraft (Adhäsionskraft) zwischen Wasser und Glas ist der Grund, weshalb sich im kartesischen Taucher noch Wasser befindet, wenn er wieder im Flaschenhals angekommen ist. Wir können eine kleine Vorstellung mit dem kartesischen Taucher geben. Er



kann hüpfen und tanzen, wenn wir den Druck auf den Gummi ruckartig ändern. Der Glasbläser hat sich genau überlegt, wie die Ausflußöffnung des Haarröhrchens liegen muß, um ein rasches, tanzähnliches Drehen des Männchens zu erreichen. Das waagrecht ausströmende Wasser dreht durch seinen Rückstoß den Taucher.

Bei besonders starkem Druck legt sich die Figur auf den Boden der Flasche. Nach unserem Willen richtet sie sich dann wieder auf. Besonders lustig sieht das aus, wenn wir die Flasche waagrecht halten. Mit mehreren Tauchern in der Flasche können wir die reinste Ballettvorstellung zeigen. Manche Straßenhändler, die früher mit solchen Vorführungen ihre kartesischen Taucher zum Kauf anboten, waren wahre Künstler auf diesem Gebiet.

Woher kommt nun der seltsame Name „kartesischer“ Taucher? René Descartes (sprich: däkart), der auf lateinisch Cartesius hieß, war ein berühmter französischer Philosoph und Mathematiker, der in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts lebte. Er führte unter anderem das rechtwinklige, das nach ihm benannte kartesische Koordinatensystem, dessen Achsen senkrecht aufeinanderstehen, in die Mathematik ein und begründete die analytische oder die rechnerische Geometrie. Nach diesem großen Gelehrten wird unser Taucher benannt. Descartes hat diesen Spielzeug entweder erfunden oder mindestens allgemein bekannt gemacht.

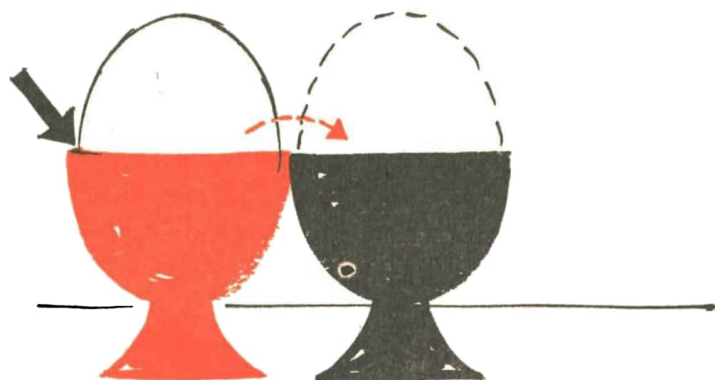
Eierpusten

Zwei Eierbecher werden dicht nebeneinandergestellt. In dem ersten Becher befindet sich ein hartgekochtes Ei. Pusten wir kräftig zwischen Ei und Becherrand, so wird bei geeignet geformtem Eierbecher 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.

Wer nicht so kräftig pusten kann, daß der Versuch gelingt, der nehme ein ausgeblasenes Ei!

Zusammengepreßte Luft hat, ähnlich wie eine Schraubenfeder, 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 bei Fahrrad oder Kraftwagen selbstverständlich erscheint.

Barometer

Mit dem Barometer wird der Luftdruck gemessen. Auf der Abbildung lesen wir den Zahlenwert 768 ab. Das heißt: Die Luft übt im Augenblick und am Ort der Messung den gleichen Druck aus wie eine 768 mm hohe Quecksilbersäule. Eine Quecksilbersäule, deren Grundfläche 1 cm^2 beträgt, wiegt bei 755 mm Höhe



fast 10 N. Der Druck, den 10 N auf 1 cm² ausüben, wurde früher als eine technische Atmosphäre bezeichnet. Die Lufthülle der Erde reicht bis zu 1 000 km hoch. Sie lastet vermöge ihres Gewichtes auf der Erdoberfläche mit dem gleichen Druck wie eine Quecksilbersäule von rund 760 mm Höhe.

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 15 000 cm². Somit drückt die Lufthülle auf unseren Körper mit der gleichen Kraft wie rund 15 000 1-Kilogramm-Stücke. 15 000 kg, das sind 150 Dezitonnen! 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 fast luftleere Blechdose, die vom schwankenden Luftdruck mehr oder weniger stark zusammengedrückt wird. Das Durchbiegen des Dosendeckels wird durch einen Mechanismus auf einen drehbaren Zeiger übertragen.

Den Luftdruck mißt man in der Maßeinheit Bar (Kurzzeichen: bar) oder Pascal, benannt nach dem berühmten französischen Mathematiker und Philosophen Blaise Pascal. 1 bar sind gleich 100 000 Pa.

Nehmen wir einmal das Barometer von der Wand und unternehmen 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 Skalenteil fällt – vorausgesetzt, unser Barometer arbeitet einwandfrei und spricht auf den geringsten Unterschied im Luftdruck an.

Man kann also ein Barometer als Höhenmesser verwenden.

etwa 10 m



Umgedrehtes Wasserglas

Wir füllen ein Trinkglas bis oben mit Wasser und 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.

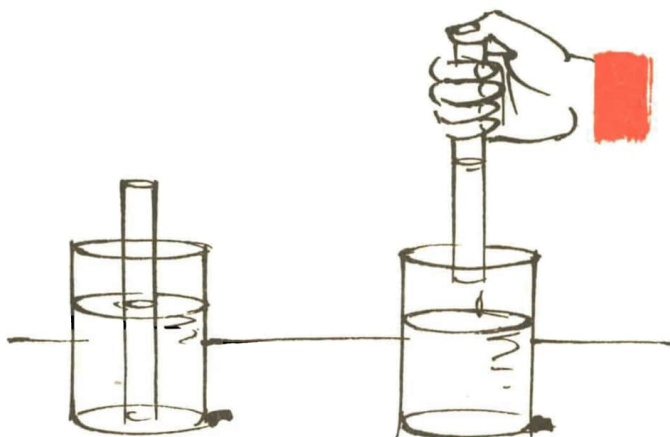
Das Wasser wird vom Luftdruck im Glas gehalten. Der Luftdruck wirkt an jeder Stelle nach allen Seiten, also auch nach oben. Das Papier dient nur zum Herstellen einer glatten Fläche.

Wenn wir dieses Glas jetzt mit der Öffnung nach unten auf den Küchentisch stellen, können wir sogar vorsichtig das Papier unter dem Glase wegziehen.



Nun steht ein gefülltes Wasserglas mit der Öffnung nach unten auf dem Tisch. Auch jetzt bleibt das Wasser im Glase.

Das ist gewiß nichts Alltägliches. Fordern wir einen Ahnungslosen auf, er möchte uns doch 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 ebenso hoch 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 ge-

halten. Da der Luftdruck nach allen Seiten wirkt, so drückt er auch 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 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 gewünschte Flüssigkeitsmenge von beispielsweise 50 ml.



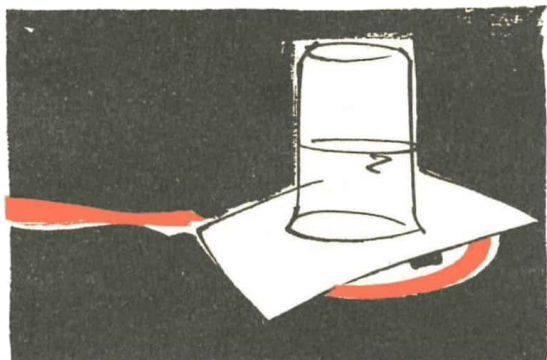
Luftverdünnter Raum

Wir können ein Einmachglas am Deckel anfassen und hochheben. Es gelingt uns nicht, den Deckel abzuhoben. 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 hinaus-



gedrängt. Beim anschließenden Abkühlen schlägt sich der größere Teil des Wasserdampfes als Wasser nieder, und es entsteht über dem Eingemachten ein stark luftverdünnter Raum. Die Außenluft drückt auf jeden Quadratzentimeter des Deckels ebenso stark wie das Gewicht eines 1-Kilogramm-Stücks. Hat der Deckel einen Durchmesser von 10 cm, so beträgt seine Fläche rund 80 cm^2 . Auf diesen Deckel wirkt der Luftdruck ebenso stark wie 80 1-Kilogramm-Stücke. Es ist unmöglich, mit der Hand eine gleich große Gegenkraft aufzubringen, um den Deckel abzuheben. Ein leichtes Becherglas wird zur Hälfte mit Wasser gefüllt. Auf das Becherglas legen wir ein Stück Filter-

papier und überdecken es mit einer Glasscheibe, zum Beispiel einem Handspiegel. Jetzt kehren wir das Glas um und stellen es auf den Tisch. Durch das Filterpapier wird etwas Wasser aus dem Becherglas herausgesaugt. Die Luft nimmt deshalb im Becher einen größeren Raum ein als vorher, und es entsteht über dem Wasser ein luftverdünnter Raum.



Kehren wir das Becherglas wieder um und heben vorsichtig den Spiegel, so klebt der Becher ganz fest am Spiegelglas. Der luftverdünnte Raum hat eine Saugwirkung, die das Becherglas samt Inhalt zu tragen vermag.

Die Saugwirkung luftverdünnter Räume wird gelegentlich im Haushalt genutzt. Es werden kleine Gummiteiler mit Kunststoffhaken an die Wand gedrückt. Sie saugen sich fest und können Handtücher oder ähnliches tragen.



Viele Tiere, zum Beispiel Blutegel, haben solche Saugnäpfe, mit denen sie sich festsaugen. Auch die erstaunliche Fähigkeit der Fliege, an der Fensterscheibe senkrecht aufwärts zu laufen und an der Zimmerdecke spazierenzugehen, ohne herunterzufallen, beruht auf der Wirkung von Saugnäpfen, die die Fliege an ihren „Füßen“ hat.





Luftdruck-Kraftprobe

Wir legen über den Rand des Tisches ein sehr dünnes Brett von der Größe eines Schreibheftes, so daß es 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 Brett 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 Brett dicht anliegt. Aus dem gleichen Grunde wird das Zeitungspapier an den Kanten des Brettes 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 große Haltekraft ergibt sich aus dem Luftdruck, der auf dem Zeitungspapier lastet, sowie aus den Trägheitskräften, die der Beschleunigung entgegenwirken.

STRÖMUNGSLEHRE

Saugwirkung eines Luftstromes

Preßt man den Gummiball eines Haarlackzerstäubers kräftig zusammen, so entsteht ein feiner Sprühregen. Infolge des durch Zusammenpressen erzeugten Luftstromes entsteht über dem senkrechten Röhrchen des Zerstäubers ein Unterdruck, der die Flüssigkeit ansaugt. Gerät die Flüssigkeit in den Luftstrom, 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 be-





ruht 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 dann kräftig in das Mundstück hinein, so sollte man meinen, daß das Papier durch die entweichende Luft weggeblasen wird. 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 Ball in einem Luftstrom festgehalten wird, den man mit dem Mund erzeugt. Der Ball wird nur einige Zentimeter hoch gestoßen, schwebt und wird dann, leicht hin und her schaukelnd, durch die Saugwirkung des Luftstromes gehalten.

Stromlinienkörper im fließenden Wasser

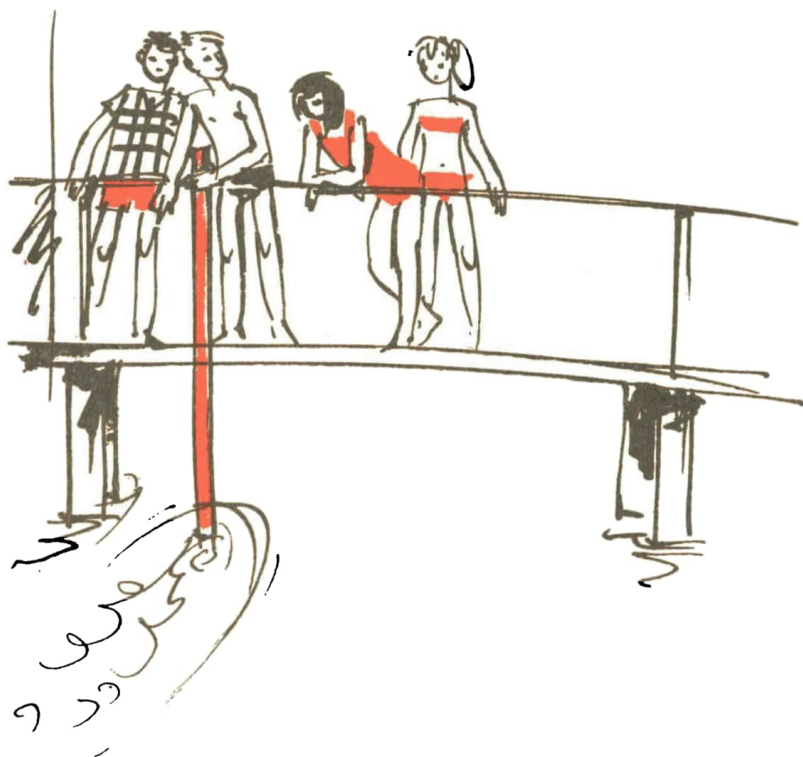
Wir wollen einige lehrreiche Versuche am fließenden Wasser, am Ufer eines Baches oder eines Flusses, anstellen.

Schnitzen wir aus Baumrinde ein kleines Boot in der Form eines Stromlinienkörpers und halten es an einem Faden schwimmend in die Strömung, so beobachten wir nur eine geringe Wirbelbildung.

Wir tauchen einen Stab oder einen Pfahl in die Strömung. Hinter dem Stab kommt das Wasser in eine drehende Bewegung. Es bilden sich Wirbel. Sie lösen sich ab und werden von der Strömung fortgetragen. Da sich immer neue Wirbel bilden, entsteht eine ganze „Wirbelstraße“.

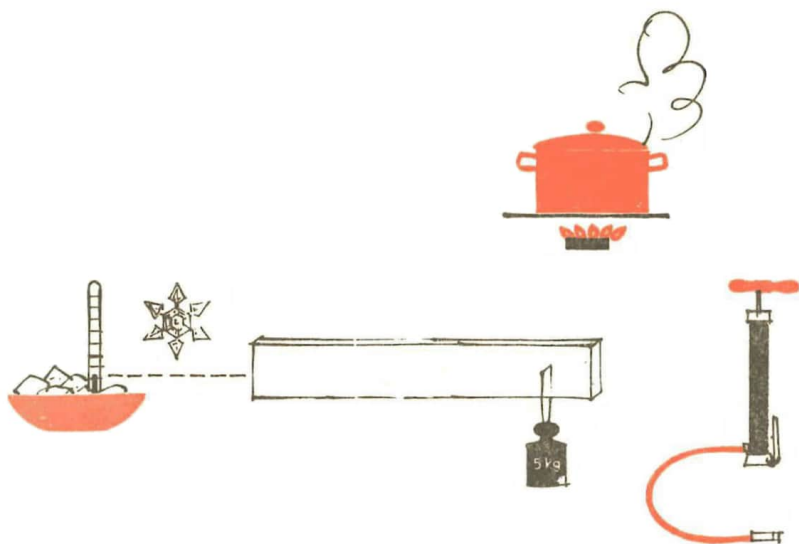
Dabei ist es gleichgültig, ob wir einen Stab ruhig in ein strömendes Wasser hineinhalten oder ob wir im stehenden Wasser einen eingetauchten Stock bewegen. Immer entstehen auf der Rückseite Wirbel, die mit ihrer Saugwirkung die ursächliche Bewegung bremsen.





Fährt ein Kraftwagen auf der herbstlichen Landstraße, so wird mit dem dabei aufgewirbelten Laub unter der Staubwolke die Saugwirkung eines Wirbels – der jetzt auf der Bewegung von Luft beruht – sichtbar. Wirbel sind die wesentliche Ursache für den Widerstand, der der Bewegung eines Körpers im Wasser oder in der Luft entgegenwirkt. Rennwagen, D-Zug-Lokomotiven und Schiffe werden deshalb mehr oder weniger stromlinienförmig verkleidet, wodurch die Wirbelbildung vermindert wird.

AUS DER WÄRMELEHRE





Ausdehnung durch Erwärmen

Der gutsitzende 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 Luft in der Flasche so sehr auszudehnen, daß der Wasserspiegel in der Flasche sinkt und Wasser im Glasrohr emporsteigt.

Je stärker die Erwärmung ist, um so mehr dehnt sich die Luft aus. Wird ein Gas von 0°C auf 1°C erwärmt, so dehnt es sich um $\frac{1}{273}$ seines Rauminhaltes aus.

Auch bei der weiteren Erwärmung auf 2°C , 3°C ,

4°C und so fort vergrößert sich der Rauminhalt des Gases jeweils um $\frac{1}{273}$ desjenigen Rauminhaltes, den diese Gasmenge bei 0°C innehatte.

Auch Flüssigkeiten dehnen sich aus, wenn sie erwärmt werden. Ihre Ausdehnung ist jedoch viel geringer als die Ausdehnung der Gase, und sie ist bei jeder Flüssigkeit verschieden groß. Die Ausdehnung des Quecksilbers und des Alkohols wird im Thermometer zur Bestimmung von Temperaturen verwendet.

Eine Eisenbahnschiene von 8 m Länge wird bei einer Erwärmung um 50°C etwa 4 mm länger. Beim Legen von Eisenbahnschienen ließ man deshalb früher zwischen zwei Schienen immer einen Zwischenraum von einigen Millimetern, den Schienenstoß, als Spielraum für die Wärmedehnung. Heute werden Schienen in der Regel ohne Schienenstoß miteinander verschweißt. Auch beim Bau von stählernen Brücken muß wegen der Ausdehnung infolge Erwärmung stets ein Spielraum geschaffen werden.

Sprengwirkung des Eises

Wenn Wasser in vollgefüllten, fest verschlossenen Gefäßen gefriert, wird die Gefäßwandung gesprengt. Selbst Stahlgefäße, zum Beispiel Kessel oder Wasserleitungsrohre, können beim Gefrieren des Wassers einreißen.

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.



Aus 10 cm^3 Wasser entstehen 11 cm^3 Eis. Durch diese starke Ausdehnung entsteht die Sprengwirkung.

Im Gegensatz zum Wasser ziehen sich die meisten Flüssigkeiten beim Erstarren zusammen. Beim Erstarren von 96 cm^3 flüssigem Eisen verringert sich der Rauminhalt um etwa 1 cm^3 . 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. Etwas Ähnliches können wir 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°C auf 0°C . Wasser hat seine größte Dichte nämlich bei 4°C , das bedeutet, daß es sich bereits beim Sinken der Temperatur auf den Gefrierpunkt und dann in verstärktem Maße bei der Eisbildung ausdehnt. Wasser verhält sich in dieser Hinsicht ganz anders als die meisten übrigen Stoffe.

Dampf

An der Austrittsdüse der Dampflokomotiven ist der Dampfstrahl nicht zu sehen. Wasserdampf ist stets unsichtbar wie die Luft. Das kann man auch beim Sieden von Wasser im Wasserkessel beobachten. Siedet das Wasser, so ist der Dampf oberhalb der Ausflußöffnung nicht zu sehen. Die weißen, sichtbaren Nebel werden fälschlicherweise oft auch als Dampf bezeichnet. Sie entstehen durch Abkühlung aus dem Wasserdampf.

Im Nebel hat sich der Dampf in Form von winzigen Tröpfchen bereits wieder verflüssigt, so daß die Bezeichnung Dampf falsch ist.

Beim Verdampfen des Wassers unter gleichbleibendem Druck entstehen aus 1 l Wasser 1700 l Wasserdampf. Dieses Ausdehnungsbestreben wird in der Dampfmaschine zum Erzeugen von Bewegungen ausgenutzt.

Im allgemeinen können wir das in der ausgeatmeten Luft enthaltene Wasser nicht sehen, weil Wasser-



dampf genauso unsichtbar ist wie Luft. Erst wenn sich beim Abkühlen kleinste Wassertröpfchen bilden, wird das Wasser sichtbar. Bei sehr kaltem Wetter ist 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 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 zum Sieden zu bringen, weil durch den Dampfdruck 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, bis der Siedepunkt von



rund 100°C erreicht ist. Die weiter zugeführte Wärme wird nun zur Verdampfung des Wassers verbraucht; die Temperatur des Wassers steigt nicht weiter an.

Kältemischung

Wenn wir drei Teile Schnee mit einem Teil Salz vermengen, so schmilzt der Schnee. Wenn Schnee schmilzt, liegt das im allgemeinen daran, daß die Temperatur über 0°C angestiegen ist. In unserem Falle jedoch zeigt das Thermometer eine Temperatur von -18°C an. In einfachster Weise können also tiefe Temperaturen erzeugt werden, indem man

Schnee oder gestoßenes Eis mit Salz vermengt. Solche Mischungen werden Kältemischungen genannt. „Eingefrorene“ Weichen der Straßenbahn oder „eingefrorene“ Schleusendeckel können durch Bestreuen mit Salz aufgetaut werden. Dazu wird im allgemeinen Tausalz verwendet, das sich lediglich durch seinen geringen Reinheitsgrad vom Speisesalz unterscheidet.

Im Handel sind auch Chemikalien als Kältemittel zu haben, die schon beim Auflösen in Wasser Temperaturen unter 0°C 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. Auch bei der Herstellung von Speiseeis kann man mit dieser Kältemischung arbeiten. Eine Flüssigkeit, die zum Beispiel aus Milch, Schokolade und Zucker besteht, gießt man in eine metallene Gefriertrommel. Diese steht in einer Kältemischung. Die Trommel wird gedreht und der Inhalt ständig gerührt. Dadurch kommen alle Flüssigkeitsteilchen mit der tiefgeköhlten Gefäßwandung in Berührung und gefrieren. Die Feinheit des so erhaltenen Speiseeises hängt von den Zutaten, der Zubereitungstemperatur und der Art der Verarbeitung während des Gefrierens ab.



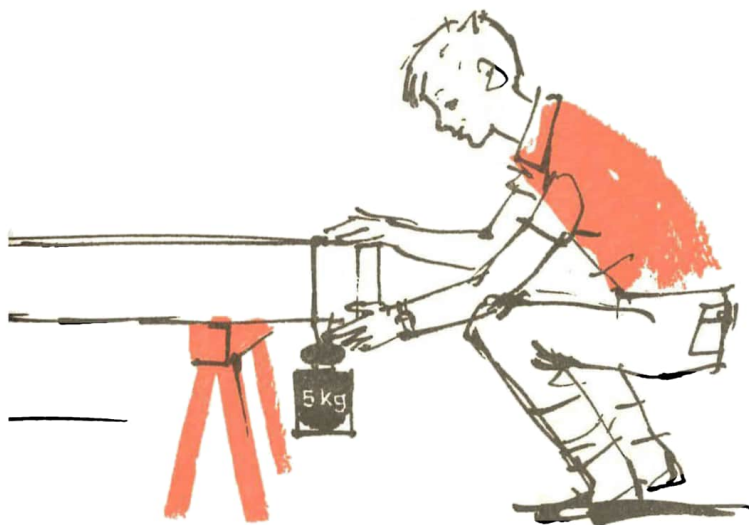
Eis unter Druck

Um einen Eisriegel hängen wir eine Drahtschlinge, die mit einem 5-Kilogramm-Gewichtsstück beschwert wird.

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

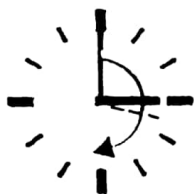
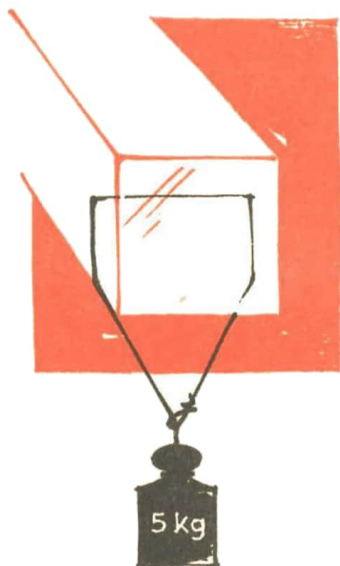
Der belastete Draht dringt durch das Eis hindurch. Es ist aber keine Schnittöffnung zu sehen. Oberhalb des eingedrungenen Drahtes ist der Eisblock zusammenhängend und unversehrt.

Eis schmilzt, sobald ein entsprechender Druck darauf ausgeübt wird. Der belastete Draht drückt auf die



Eisunterlage, wodurch 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 durchdrungen hat und unten abfällt, ist der Eisriegel fast unversehrt und nicht etwa in zwei Teile zerschnitten. Der Schmelzpunkt des Eises ist vom Druck abhängig. Je größer der auf das Eis wirkende Druck ist, um so tiefer liegt der Schmelzpunkt.

Von dieser Erscheinung wird auch beim Schlittschuhlaufen Gebrauch gemacht. Das Gewicht des Schlittschuhläufers lastet auf Teilen der schmalen Laufschiene des Schlittschuhs. Infolgedessen wird ein er-





heblicher Druck auf die darunterliegende Eisfläche ausgeübt, 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 Reibungskraft 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 spiegelglatten Schlitterspur.

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

Gletscher sind langsam dahinfließende Eisströme im

Hochgebirge und im Polargebiet. Die Fließfähigkeit der Gletscher beruht darauf, daß die untersten Gletscherschichten unter dem Druck der darüber lastenden schmelzen.

Kölnischwasser kühlt

Die Duftstoffe des Kölnischwassers sind in Äthanol gelöst. Dieser Alkohol ist eine Flüssigkeit, die schon bei 78 °C siedet und bei niedrigeren Temperaturen an der Luft rasch verdunstet. Sieden und Verdunsten sind zwei Formen der Verdampfung, die wir bei jeder Flüssigkeit, auch bei Wasser, finden. Das Sieden ist ein auf die gesamte Flüssigkeit sich erstreckendes Verdampfen, das bei der Siedetemperatur stattfindet. Das Verdunsten ist ein Verdampfen an der Oberfläche, das bei jeder Temperatur stattfindet. In beiden Fällen ist eine Wärmezufuhr von außen notwendig.

Tropfen wir etwas Kölnischwasser auf die Haut, so empfinden wir Kälte an der benetzten Stelle.

Auch zu diesem langsamen Verdampfen ist Wärme notwendig, die der Haut entnommen wird. Dadurch entsteht die kühlende Wirkung des Kölnischwassers.

Jeder hat schon empfunden, daß er selbst bei großer Hitze im nassen Badeanzug friert. Das liegt an der Verdunstungskälte. Sie entsteht, weil das Wasser die zur Verdunstung erforderliche Wärme dem Körper entzieht. 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 manche Leute über die Suppe auf dem Löffel, wenn sie zu heiß ist und sich schnell abkühlen soll.



Der Arzt nutzt die Abkühlung infolge Verdunstung zu örtlichen Betäubungen aus. Eine bestimmte Flüssigkeit, die chemisch dem Alkohol verwandt ist, wird auf diejenige Körperstelle gespritzt, die geschnitten werden soll. Die Flüssigkeit verdunstet fast augenblicklich, und die betreffende Stelle kühlt sich so stark ab, daß die Schmerzempfindung vorübergehend ausgeschaltet wird. Damit ist dem Arzt ein operativer Eingriff möglich, der für den Patienten schmerzlos ist.

Nebel in der Selterswasserflasche

Aus einer vollen Flasche Selterswasser gießen wir ein Glas aus und schließen die Flasche sogleich wieder. Die Flasche ist jetzt noch etwa zur Hälfte gefüllt.



Wir schütteln sie kräftig und stellen sie auf den Tisch. Ruckartig reißen wir dann den Verschuß auf. Sofort ist der Raum über dem Wasser mit dichtem Nebel gefüllt, der sich langsam lichtet und wieder verschwindet.

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

Beim Schütteln der verschlossenen Flasche entweichen aus dem Wasser Gasbläschen, Kohlendioxid, in die darüberstehende Luft. Dadurch erhält diese einen Überdruck. Reißen wir den Verschuß unvermittelt auf, so entspannt sich die Luft augenblicklich, und sie entweicht zum Teil aus der Flasche. Bei plötzlicher Entspannung, Druckminderung, und Ausdehnung kühlen sich alle Gase ab. Infolge dieser plötzlichen Abkühlung kann die Luft in der Flasche nicht mehr die gleiche Menge Wasserdampf fassen wie zuvor. Deshalb kondensiert ein Teil des Dampfes zu feinsten Nebeltröpfchen.

Auf ähnliche Weise entstehen die Nebelschwaden in der Natur.

In der Kältetechnik werden durch plötzliche Entspannung stark zusammengepreßter Gase tiefste Temperaturen erzeugt. Durch bestimmte Maßnahmen können dabei Temperaturen bis zu etwa -273°C erzeugt werden, bei denen die Luft und andere Gase flüssig und sogar fest werden.

Zusammengepreßte Gase kühlen sich also ab, wenn sie plötzlich entspannt werden und sich ausdehnen.

Umgekehrt erwärmen sich Gase, wenn sie rasch zusammengepreßt 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 nach unten. Das Drahtgitter leitet die Wärme rasch nach der Seite ab, so daß der Gasstrom unterhalb des Netzes kalt bleibt und sich nicht entzündet.

Metalle sind gute Wärmeleiter. Deshalb hat auch die Kohlenschaufel keinen metallenen, sondern einen hölzernen Griff. Holz ist nämlich ein schlechter Wärmeleiter. Aus diesem Grund können wir auch ein brennendes Zündholz 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.

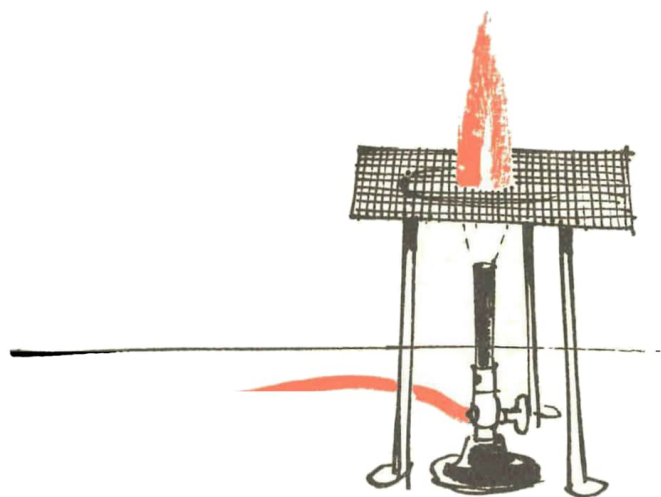
Federbetten, Pelze und wollene Kleider halten warm, aber nur deshalb, weil sie viel Luft enthalten.

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 dringen 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 bei der Berührung mit der heißen Ofenplatte unter dem Tropfen sofort bildet. Auf diesem Dampfpolster liegt und hüpft 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. Er wird in der Thermosflasche zum Heiß- oder Kalthalten von Getränken genutzt.

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

Es „zieht“!

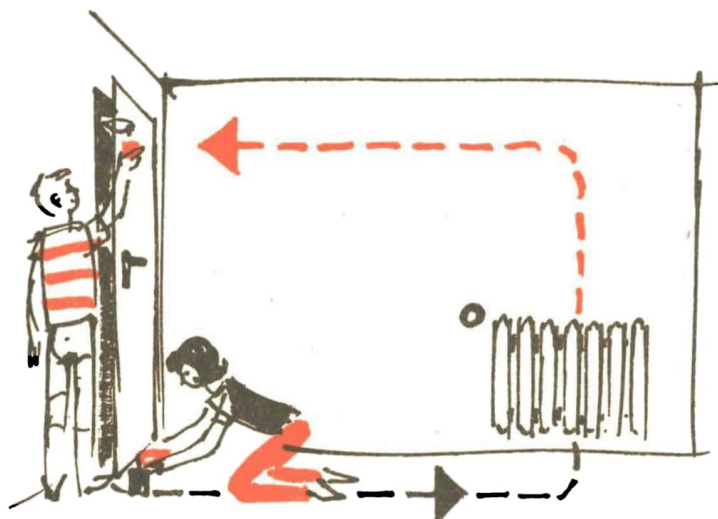


Öffnet man ein wenig die Tür des erwärmten Zimmers, so kann man die entstehenden Luftströmungen mit einer brennenden Kerze nachweisen. Stellen wir die Kerze auf den Fußboden in den Türspalt, so zeigt



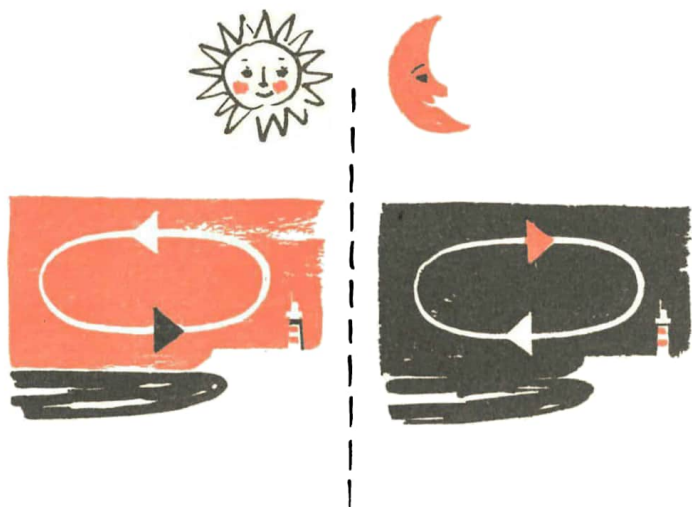
die Kerzenflamme wie ein Fähnchen ins Zimmer hinein. Am oberen Ende der Tür jedoch weht die Flamme nach außen. Oben entweicht also die Luft aus dem Zimmer, während unten die Luft ins Zimmer hineinströmt.

Beim Erwärmen dehnt sich die Zimmerluft aus, wird dünner 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 verschieden starke Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen bewirkt eine verschieden starke 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 der südlichen gemäßigten Zone. Die heißen Luftmassen steigen in den Tropen 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 Nord-

ost nach Südwest. Diese Abweichung von der Nord-Süd-Richtung 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 Bahngeschwindigkeit 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 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 schneller erwärmt als die Luft über dem Meer. Die warme Luft steigt über dem Land hoch und strömt oben ab, wie in unserem Versuch. Unten strömt die Luft in der Richtung vom Meer zum Land. In der Nacht ist es umgekehrt: Die Luft über dem Land wird nachts schneller abgekühlt als die Luft über dem Meer. Infolgedessen weht nachts der Küstenwind meist in der Richtung vom Land zum Meer.

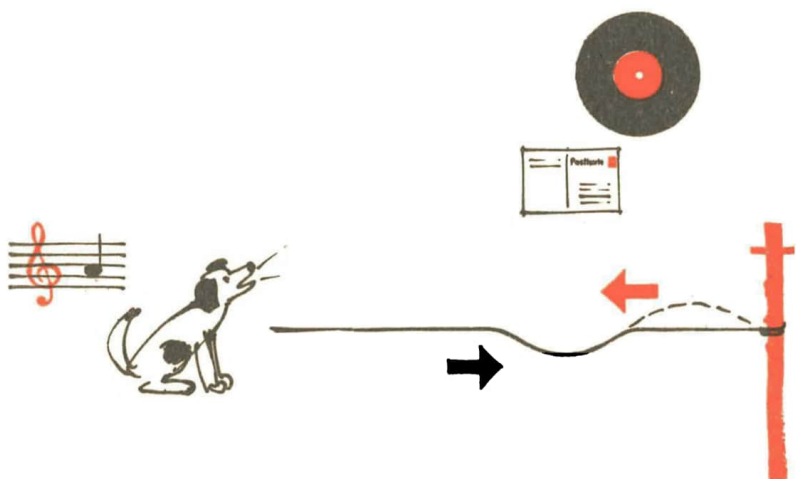


Wärme und Bewegung

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 oder 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. Viele Stoffe, zum Beispiel Stickstoff oder Sauerstoff, bestehen aus kleinen Teilchen, Moleküle genannt. Da die Luft hauptsächlich ein Gemisch aus Stickstoff und Sauerstoff ist, so besteht sie hauptsächlich 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 ungeordnet durcheinanderbewegen. Je wärmer die Luft ist, um so größer ist die Geschwindigkeit ihrer Moleküle. Bei Zimmertemperatur haben die Stickstoff- und die Sauerstoffmoleküle die erstaunliche Geschwindigkeit von rund 500 m/s! Die Temperatur der Luft ist abhängig von der Bewegungsgeschwindigkeit ihrer Moleküle.

AUS DER AKUSTIK





Es schwingt und klingt

Durch den Anschlag eines Kinderxylophons werden die Stahlplättchen zum Schwingen gebracht. Sie schwingen auf und nieder und erzeugen Schallwellen. Die Luftteilchen in der Nähe der Schallquelle 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, und um so höher ist der entstehende Ton.

Die A-Saite der Violine hat eine Schwingungszahl von 440 Hertz. „Hertz“ bedeutet soviel wie „Schwingungen in der Sekunde“. Diese Einheit wurde nach

dem großen deutschen Physiker Heinrich Hertz benannt. Er hat die elektromagnetischen Wellen entdeckt, die man zum Beispiel für den Rundfunk benutzt. 1 Hertz (Kurzzeichen: Hz) = 1 Schwingung in der Sekunde. 1000 Schwingungen in der Sekunde = 1 Kilohertz (Kurzzeichen: kHz). Die hohen Schwingungszahlen der Rundfunkwellen werden in kHz angegeben.



Schwingende Körper erzeugen Töne, wenn ihre Schwingungszahl zwischen 20 Hz und 20 kHz liegt. Durch Schwingungen unter 20 Hz und über 20 kHz entstehen zwar auch Wellen, sie werden jedoch vom menschlichen Ohr nicht mehr wahrgenommen. Manche Tiere, zum Beispiel Hunde, empfinden auch Schallschwingungen über 20 kHz noch als Töne. Darauf beruht eine bestimmte Art von Hundepfeifen, deren Ton wohl vom Hund, aber nicht mehr vom

menschlichen Ohr gehört wird, weil die Schwingungszahl oberhalb von 20 kHz 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 $2 \cdot 3 = ?$ oder $7 - 4 = ?$ Nach kurzem „Nachdenken“ löste der Hund die Aufgaben, indem er sechsmal beziehungsweise dreimal ganz kurz aufbellte.

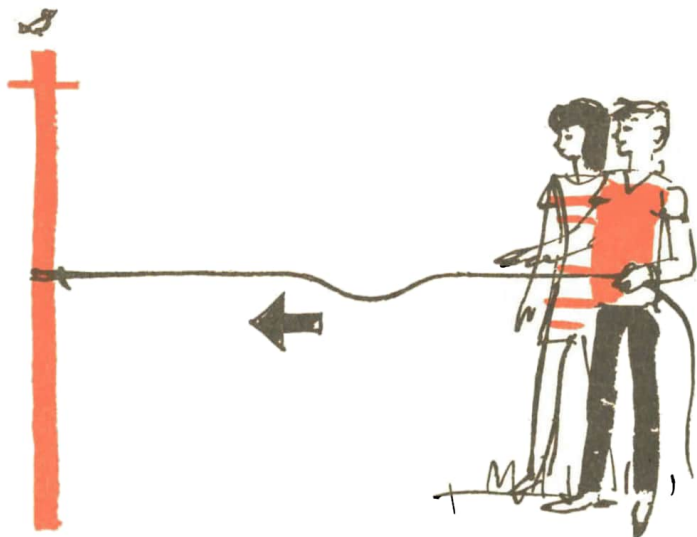
Niemals machte der Hund einen Fehler. In Wirklichkeit hatte der Vorführende seinen Hund so dressiert, daß er jedesmal kurz bellte, wenn der Pfiff einer Pfeife von über 20 kHz ertönte, die also vom Publikum nicht gehört wurde. Der Vorführer hatte diese Pfeife, die mit einem Gummiball angeblasen wurde, in der Hosentasche versteckt. Er brauchte nur auf den Gummiball zu drücken – und schon bellte sein „rechnender“ Hund und hatte somit die Rechenaufgabe „gelöst“.

Seilwellen

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

Am Wäschepfahl wird das Wellental zurückgeworfen und kehrt als Wellenberg zurück.

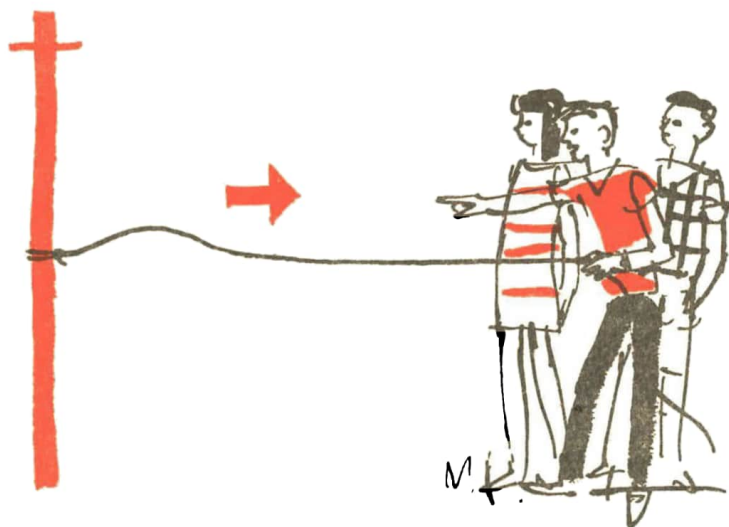
Führen wir jedoch den Schlag von unten gegen das Seil, so entsteht ein Wellenberg, der beim Zurückwerfen am Wäschepfahl in ein Wellental verwandelt wird.



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 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 nieder schwingen. 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 nieder schwingen.

Schallwellen sind Raumwellen. Hier wandern aller-



dings keine Wellenberge und -täler, sondern Luftverdichtungen und Luftverdünnungen. Diese Verdichtungen und Verdünnungen breiten sich wellenförmig in alle Richtungen des Raumes aus.

Unsere Seilwelle legt in 1 s etwa 20 m zurück, die Schallwelle in 1 s 340 m (bei 18°C), die Lichtwelle in 1 s sogar rund 300 000 km.

Spiel am Ufer

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

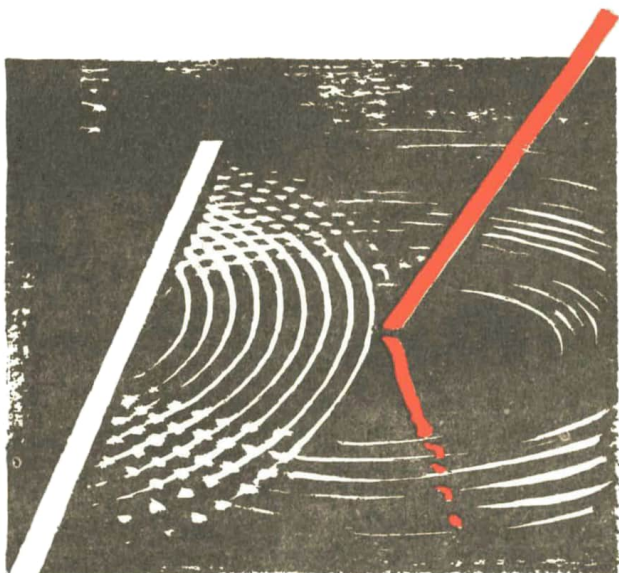
Tauchen wir einen Pfahl in regelmäßigen, rasch aufeinanderfolgenden Zeitabständen ins Wasser, so entsteht

ein System von Kreiswellen. 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 von den Wellen nicht nach außen gespült werden, sondern an Ort und Stelle verbleiben. Tatsächlich ist mit einer solchen Wellenwanderung kein Wassertransport nach außen verbunden. Jedes Wasserteilchen, das von einer Welle erfaßt wird, schwingt nur auf und nieder. Lediglich durch das gleichzeitige Erblicken der verschiedenen Schwingzustände an der Wasseroberfläche entsteht der Eindruck, daß sich das Wasser wellenförmig nach außen verschiebt. 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, wie sich der eintauchende Pfahl vor dem Brett befindet. Das erinnert uns an den Spiegel.

Beim Blick in den Spiegel 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 das Zurückwerfen der Wasserwellen am Brett.

Die kreisförmigen Wasserwellen und die zurückgeworfenen Wellen durchdringen einander. 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. Die Überlagerung und gegenseitige Aufhebung von Wellenbewegungen wird vom Physiker als Interferenz bezeichnet. Auf Interferenz beruhen auch jene eigenartigen Erscheinungen der Optik, bei denen zwei sich überlagernde Lichtwellen einander auslöschen und Dunkelheit ergeben können.

Eine Postkarte macht Musik

Wir lassen eine alte Schallplatte auf dem Plattenspieler anlaufen, legen jedoch den Tonarm beiseite. Zum Abspielen der Schallplatte verwenden wir eine Postkarte. Wir halten sie mit einer Ecke auf die äußerste Tonspur der Platte. Die Postkarte erzeugt schönste Orchestermusik, sie gibt Gesang oder eine Rede wieder, je nachdem, welche Platte wir aufgelegt haben. Die von der Postkarte erzeugte Musik oder 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 eingeschnittenen Tonspur bleiben.

Die Postkarte wird durch die auf der Schallplatte eingeschnittenen Tonspuren in Schwingungen versetzt. Die schwingende Postkarte tönt, das heißt, sie erzeugt Schallwellen, die in unser Ohr dringen. Unser Trommelfell wird ebenfalls in Schwingungen versetzt. Die Gehörnerven leiten den empfangenen Reiz zum Gehirn weiter, wo uns die Tonempfindung als Musik oder Sprache bewußt wird. Ein ähnlicher Vorgang findet statt, wenn man die Schallplatte mit dem Tonarm abspielt: Der Saphir wird durch das Gleiten auf der eingeschnittenen Tonspur in Schwingungen versetzt. Er überträgt sie auf ein über den Tonabnehmer angeschlossenes Lautsprechersystem. Dort werden die durch die Schwingungen des Saphirs verursachten Stromschwankungen in Schallwellen umgewandelt, die dann an unser Ohr gelangen.

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 metallene Preßstempel hergestellt, mit denen man den üblichen Hartplatten die gleichen Tonspuren einprägt.

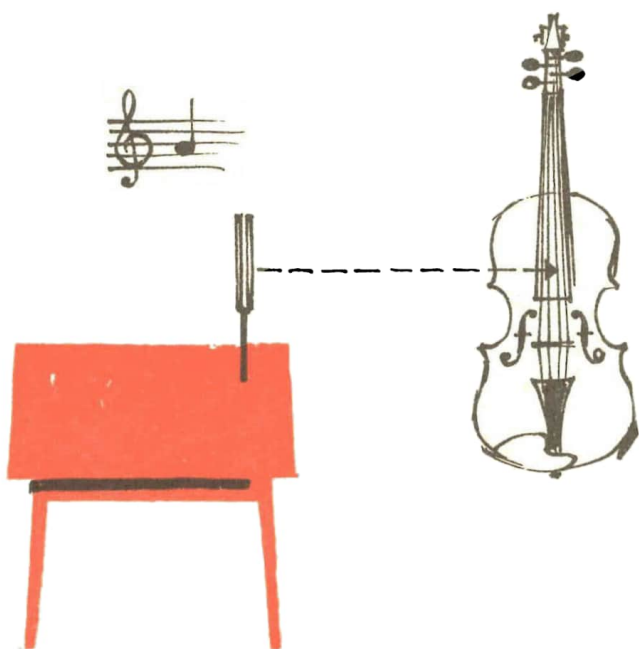


Tönende Tischplatte

Die beiden Zinken einer angeschlagenen Stimmgabel schwingen in 1 s mehrere hundertmal hin und her. Die Stimmgabel zum Beispiel, mit der man die A-Saite der Violine stimmt, führt 440 Schwingungen in der Sekunde aus. 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.

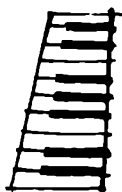
Zunächst klingt die angeschlagene Stimmgabel sehr leise. Drückt man ihren Stiel jedoch auf die Tischplatte, so wird der Ton so laut, daß er im ganzen Zimmer zu hören ist. Allerdings verklingt jetzt der Ton sehr schnell. Durch den auf und nieder schwingenden Stiel der Stimmgabel wird auch ein Teil der 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, allein durch Schallwellen, veranlaßt werden. Am stärksten schwingt dann 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 verursachen. Zimmerdecken oder Schiffswände können einstürzen, stählerne Träger können reißen, wenn sie ins Mitschwingen geraten, zum Beispiel durch die Erschütterungen einer in ihrer Nähe arbeitenden Maschine mit gleicher Schwingungszahl.

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 aussenden, erreicht beispielsweise einen gegenüberliegenden Bergrücken und wird von dort zurückgeworfen. So kommt die Schallwelle wieder an unser Ohr, und wir hören das Echo.

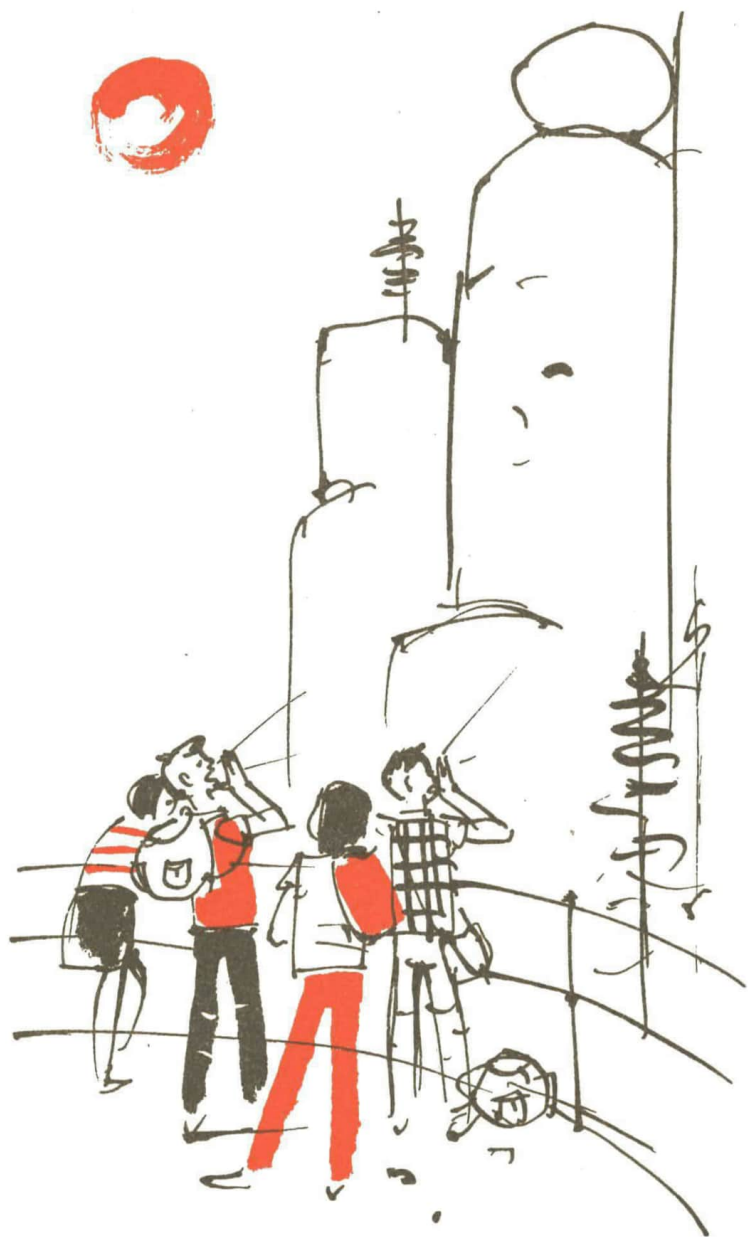
Wird der Schall, der sich in alle Richtungen ausbreitet, bei geeignetem Gelände von mehreren, verschiedenen weit entfernten Wänden zurückgeworfen, so entsteht ein mehrfaches Echo.

Befinden wir uns 170 m vor einer Felswand, so hören wir das Echo genau 1 s nach unserem Ruf. Die Schallwelle hat also für den Hin- und Rückweg 1 s gebraucht. Insgesamt 340 m wurden in 1 s zurückgelegt. Die Schallgeschwindigkeit in der Luft beträgt somit 340 m/s. Sie ist jedoch von der Temperatur abhängig. Bei einer Durchschnittstemperatur von 18°C beträgt sie 340 m/s, bei 0°C nur 333 m/s.

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 $\frac{1}{10}$ s, wieder ein. Diese Mindestzeit

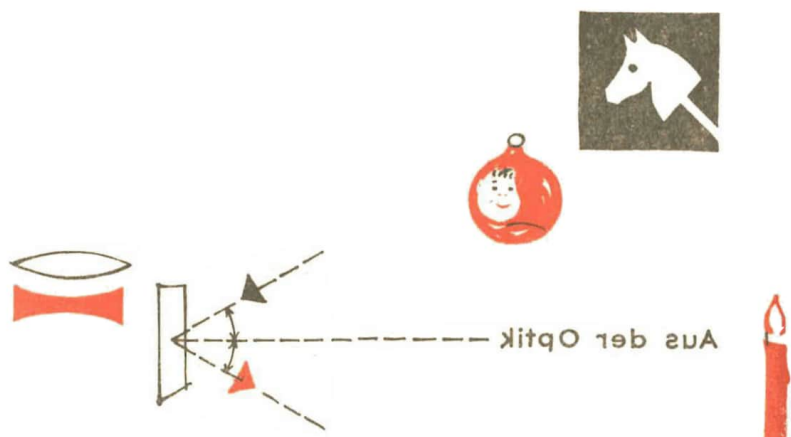
ist notwendig, damit das Ohr den Echoruf vom ursprünglichen Ruf zu unterscheiden und zu trennen vermag. Befinden wir uns näher an der zurückwerfenden Wand, so hören wir kein deutliches, getrenntes Echo, sondern nur einen Nachhall, der sich unserem Ruf anhängt. In einem leeren Zimmer ist dieser Nachhall besonders gut festzustellen.

Auch im Wasser kann ein Echo entstehen, denn auch im Wasser breiten sich Schallwellen allseitig aus.



Sie gelangen zum Beispiel auf den Boden eines Sees und werden von ihm zurückgeworfen. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls ist im Wasser wesentlich größer als in der Luft. Sie beträgt 1450 m/s. Wenn an der Wasseroberfläche eine Platzpatrone entzündet wird, so eilt die Schallwelle in die Tiefe und wird am Boden zurückgeworfen. Wird das dadurch entstehende Echo nach 2 s 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 Zeitmeßgeräten wird als Echolotung bezeichnet.

AUS DER OPTIK



Ein Fettfleck

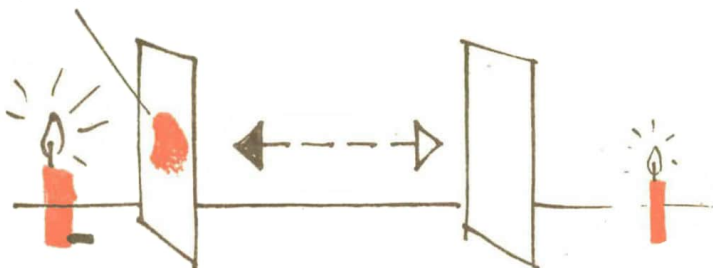
Papier empfinden wir als weiß, wenn fast alle auftreffenden Lichtstrahlen vom Papier zurückgeworfen werden. Im Gegensatz hierzu empfinden wir Samt dann als schwarz, wenn er praktisch alles auffallende Licht absorbiert, „verschluckt“, und fast kein Licht reflektiert, das heißt zurückwirft.

Durch einen Fettfleck wird Papier durchscheinend. 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 Papier.

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

Steht in weiterem Abstand vor und hinter dem Fettfleck je eine brennende Kerze, so kann man durch Hinundherbewegen des Papiers zwischen den Kerzen erreichen, daß der Fettfleck erst dunkel und dann

Fettfleck



hell aussieht. Bei einer ganz bestimmten Stellung ist der Fettfleck fast nicht mehr zu sehen. Bei dieser Einstellung wird der Fleck von beiden Seiten gleich stark beleuchtet. Er erscheint in der gleichen Farbe wie das Papier und ist deshalb kaum sichtbar. Brennen beide Kerzen gleich hell, so verschwindet der Fettfleck, wenn er genau in der Mitte zwischen ihnen steht. Haben die beiden Kerzen verschiedene Lichtstärken, so verschwindet der Fettfleck, wenn das Papier näher an der schwächer leuchtenden Kerze steht. Auf diese Weise lassen sich die Lichtstärken der beiden Lichtquellen vergleichen.

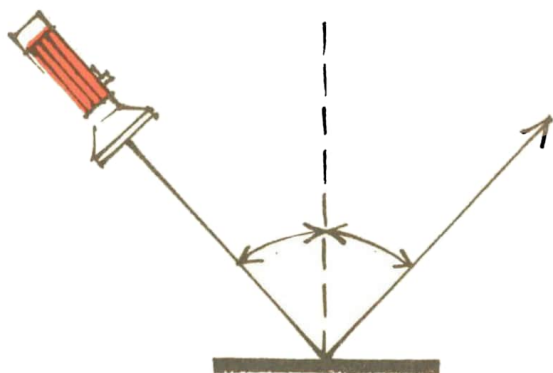
Spiel mit dem Sonnenlicht

Das, was ihr auf der nebenstehenden Abbildung seht, haben wohl alle schon einmal ausprobiert. Wir müssen uns dabei nur hüten, jemandem das Sonnenlicht direkt ins Gesicht zu lenken, denn das grelle Licht tut den Augen weh und schadet ihnen. Bei diesem Spiel haben wir unbewußt das Reflexionsgesetz angewandt. Das ist ein Gesetz, das wir bei jedem Lichtbündel beobachten, das auf einen Spiegel trifft. Das Lichtbündel, das wir bei unserem Spiel mit dem Taschenspiegel auffangen, hat einen langen Weg hinter sich. Es kommt auf gerader Strecke unmittelbar von der Sonne, die rund 150 Millionen km von der Erde entfernt ist. Man hat durch Messungen festgestellt, daß das Licht in 1 s rund 300 000 km zurücklegt. Demnach braucht der Sonnenstrahl für seinen Weg von der Sonne zur Erde, wie jeder nachrechnen kann, nur rund 8,5 min.



Mit derselben Geschwindigkeit von $300\,000\text{ km/s}$ verläßt das gespiegelte Licht auch wieder unseren Taschenspiegel und läuft geradlinig weiter nach einem Ziel, das wir dem Licht durch geeignete Spiegelhaltung vorschreiben.

Mit einem kleinen Taschenspiegel können wir das Sonnenlicht auffangen und nach unserem Willen lenken.



Reflexionsgesetz: Einfallender Lichtstrahl, Einfallslot und reflektierter Lichtstrahl liegen immer in einer Ebene.

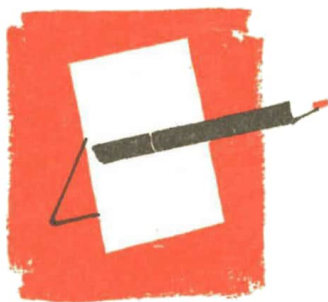
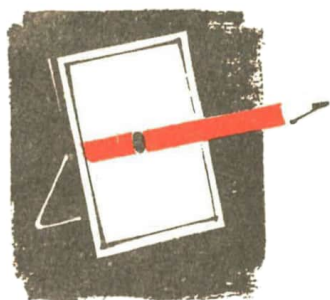
Der Winkel zwischen reflektiertem Lichtstrahl und dem Einfallslot ist genauso groß wie der Winkel zwischen einfallendem Lichtstrahl und dem Einfallslot.

Wie dick ist ein Spiegel?

Hält man ein Hölzchen an einen Glasspiegel, so liegt zwischen der Spitze des Hölzchens und ihrem Spiegelbild ein Zwischenraum. Bei einem Metallspiegel berührt das Hölzchen sein Spiegelbild.

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 einer Glasscheibe. Die Dicke dieser Glasscheibe kann man folgendermaßen rasch ermitteln: Das angedrückte Hölzchen befindet sich 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 Zwischenraum zwischen Hölzchen und Spiegelbild und teilt ihn durch 2, so erhält man annähernd 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

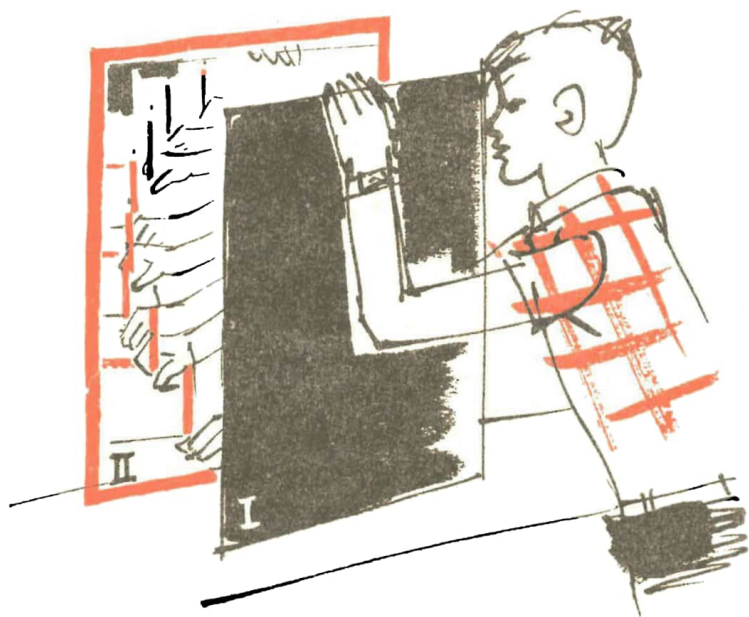
Ein Brief läßt sich sehr rasch in Spiegelschrift schreiben, wenn wir Kohlepapier verwenden, wie es für Schreibmaschinendurchschläge gebraucht wird. Ein Blatt Kohlepapier wird auf die Schreibunterlage gelegt, und zwar so, daß die Farbschicht, entgegen dem sonstigen Gebrauch, oben liegt. Auf das Kohlepapier 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 beiden Blätter des Briefpapiers sich nicht gegeneinander verschieben. 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 seitenvertauscht.

Wir selbst sehen uns im Spiegel nie so, wie uns die anderen sehen, sondern 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.





Zwischen zwei Spiegeln

Blicken wir in den Spiegel II auf der Abbildung hinein, so 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 kleiner und kleiner werden und sich zum Kreis schließen oder eine geradlinige lange Reihe bilden, wenn die beiden Spiegel parallel zueinander stehen.

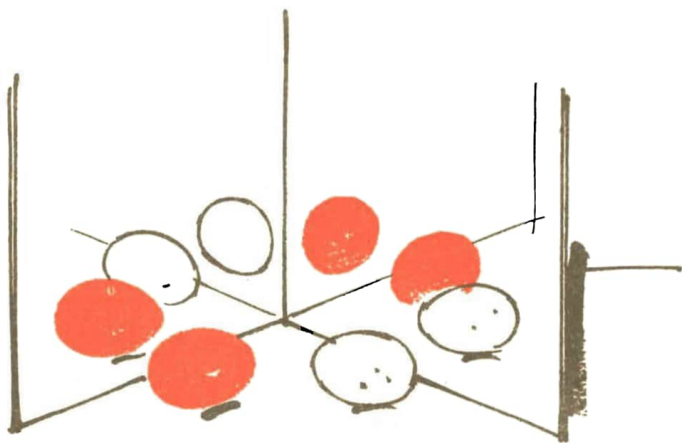
Je kleiner der Winkel zwischen beiden Spiegeln ist, um so größer ist die Anzahl der beobachteten Spiegelbilder.

Ein beliebtes Spielzeug, das wohl alle kennen, ist das

Kaleidoskop. Blickt man hinein, so sieht man wunderbar farbige, regelmäßige, mosaikähnliche Muster, die bei jeder Drehung des Kaleidoskops durcheinanderfallen und wieder ein vollkommen neues Muster bilden.

In der Pappröhre des Kaleidoskops befinden sich meist drei Spiegelglasstreifen, die im Winkel von 60° aneinandergelehnt sind. Zwischen den Spiegeln liegt ein buntes Durcheinander von farbigen Glasplittern, Perlen oder farbigen Klötzchen, die sich bei jeder Bewegung anders anordnen und mit ihren Spiegelbildern ein immer wechselndes, reizvolles farbiges Muster ergeben.

Belustigend wirken die Spiegel in den sogenannten Irrgärten, die man bisweilen auf Vergnügungsplätzen findet. In einem solchen Irrgarten, den man durch einen schmalen Gang betritt, sind, möglichst ver-



steckt, 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, doch immer wieder stößt man dabei gegen einen Spiegel, den man nicht bemerkte und der den vermeintlichen Ausgang versperrt.

Nicht-seitenvertauschte Spiegelbilder

Rechtwinklig zum Wandspiegel halten wir einen zweiten Spiegel, 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 kämmen 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 wirklichkeitstreuies 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 ist ein Hohlspiegel mit der Wölbung nach innen, ein Konkavspiegel. Jeder Hohlspiegel ist als ein Stück einer gläsernen Hohlkugel aufzufassen, deren Innenseite als Spiegel wirkt. Wenn wir nahe an den Rasierspiegel herantreten, sehen wir ein aufrechtes, vergrößertes Bild.

Ein erhabener Spiegel oder Konvexspiegel ist ein nach außen gewölbter Spiegel, der als ein Stück einer versilberten Glaskugel angesehen werden kann, deren Außenfläche als Spiegel wirkt. Erhabene Spiegel liefern immer aufrechte, verkleinerte Spiegelbilder.

Auf Jahrmärkten findet man oft sogenannte Lachka-



binette, in denen wir unser eigenes Spiegelbild in vielen komischen Verzerrungen betrachten können. In einem zylindrisch geformten Spiegel, dessen Zylinderachse senkrecht steht, erscheinen wir lang und spindeldürr; in einem Zylinderspiegel, dessen Achse waagerecht liegt, dagegen zwergenhaft klein und unförmig dick.

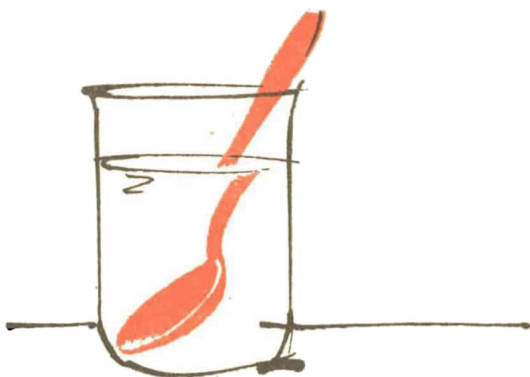
Gebrochenes Licht

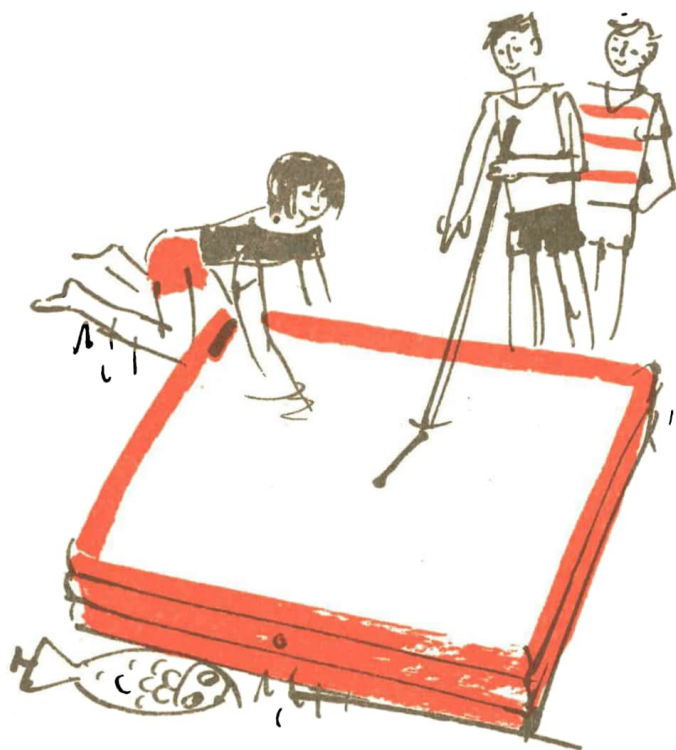
Es sieht so aus, als sei der Kaffeelöffel im Wasserglas zerbrochen. Aber das ist nur eine Täuschung.

Licht pflanzt sich geradlinig fort. Wenn Sonnenlicht durch die herabgelassene Jalousie ins abgedunkelte Zimmer dringt, können wir einen schnurgeraden Verlauf beobachten, weil Staubteilchen in der Bahn des Lichts aufblitzen.

Licht erfährt beim Eindringen in eine Flüssigkeit und beim Verlassen der Flüssigkeit eine Richtungsänderung. Deshalb erscheint der Löffel im Wasserglas zerbrochen.

Trifft Licht auf Wasser, so wird es an der Eindring-





stelle gebrochen, bevor es im Wasser geradlinig weiterläuft. Beim Austritt aus dem Wasser wird es nochmals gebrochen. Das Licht, das von dem im Wasser befindlichen Löffelstiel ausgeht, wird beim Austritt aus dem Glas gebrochen. Dadurch entsteht die Täuschung.

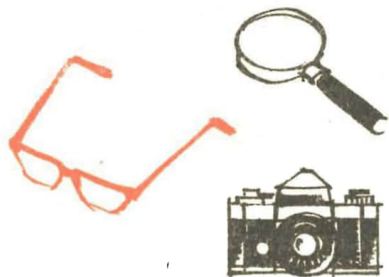
Eine ähnliche Beobachtung machen wir, wenn wir einen Stab schräg ins Wasser halten und schräg von oben betrachten. Wir erblicken dann einen Stab, der an der Wasseroberfläche geknickt zu sein scheint. Das untere Stabende erscheint gehoben.

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

Auch die Steine auf dem Grunde eines klaren Gewässers 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 Lichts zu sehen, das in unser Auge fällt. Schätzen wir die Tiefe eines klaren Baches auf etwa 1,5 m, so dürfen wir nicht überrascht sein, beim Hineingehen ins Wasser keinen Grund zu finden.

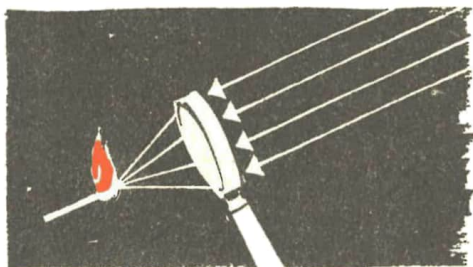
Haltet in der Badewanne eure Hände einmal waagrecht und einmal senkrecht unter die Wasseroberfläche und beobachtet, wie sie ihre Form zu verändern scheinen!

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 in einem Mittel von gleichmäßiger Beschaffenheit geradlinig fort.

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



Brennpunkt

Im Leseglas befindet sich eine beiderseits nach außen gewölbte Linse. Solche Linsen werden erhabene, bikonvexe Linsen oder Sammellinsen genannt. Fällt auf sie paralleles Licht, 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, um so näher liegt der Brennpunkt an der Linse. Die Entfernung des Brennpunktes von der Linsenmitte wird Brennweite genannt.

Sonnenlicht, das im Brennpunkt einer Lupe vereinigt wurde, erzeugt beim Auftreffen auf einen Gegenstand eine so hohe Temperatur, daß man ohne weiteres damit ein Zündholz entflammen 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.

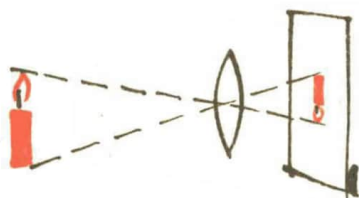
Führen wir die Brennpunktversuche erst mit rotem Licht und dann mit blauem Licht durch, so sehen wir deutlich, daß die Brennweite für blaues Licht kleiner ist als für rotes Licht. Blaues Licht wird von der Linse stärker gebrochen als rotes.

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

Reelle Bilder

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

Der Versuch wird im dunklen Zimmer durchgeführt. Die brennende Kerze soll etwa einen Meter von der Lupe entfernt sein. Das Bild entsteht einige Zenti-





meter hinter der Lupe. Durch Hinundherbewegen der Lupe finden wir bald die Entfernung, in der ein scharfes Bild entsteht.

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

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

Auch unser Auge enthält ein optisches System mit einer Sammellinse. Sie erzeugt umgekehrte, verkleinerte Bilder von den betrachteten Gegenständen. Die



Bilder entstehen auf der Netzhaut, welche die innere Rückwand des Augapfels auskleidet. Die Verzweigungen und die Enden des Sehnervs, die in der Netzhaut liegen, übermitteln diesen Bildeindruck unserem Gehirn. Dort werden uns die Bilder bewußt.

Am freigelegten tierischen Auge hat man die auf der Netzhaut entstehenden Bilder genau beobachtet und studiert. Man kann zum Beispiel vor dem Auge eines frisch geschlachteten Rindes eine brennende Kerze aufstellen. Durch einen Schnitt wird die Netzhaut

freigelegt. Dann sieht man auf der Netzhaut das umgekehrte, verkleinerte Bild 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 erzeugte. 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 er etwa einen Gegenstand anfassen, den er rechts zu sehen glaubte, so suchte er vergeblich und machte durch Abtasten die Erfahrung, daß sich der Gegenstand 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 er 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 Zeichnung nach einer Fotografie 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 mit der größtmöglichen Blende aufgenommen. Die Bezeichnung „Blende 2,8“ be-



deutet, daß bei dieser Einstellung der Durchmesser der Öffnung den 2,8en Teil der Brennweite des Objektivs beträgt. Hat das Objektiv eine Brennweite von 8 cm, so hat also bei Blende 2,8 die Öffnung einen Durchmesser von nicht ganz 3 cm. Bei Blende 4 beträgt der Durchmesser der Öffnung 2 cm. Bei Blende 8 hat die Öffnung einen Durchmesser von nur 1 cm.

Fast alle Latten des Gartenzaunes werden scharf abgebildet, wenn die Aufnahme mit Blende 22 gemacht wird. Da bei dieser Einstellung die Öffnung 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

$\frac{1}{25}$ s lang belichtet, während für die erste Aufnahme

$\frac{1}{500}$ s eingestellt war.

Eine kleine Öffnung, das heißt eine große Blendenzahl





zahl, ergibt eine große Schärfentiefe. Das ist eine wichtige Regel für den Fotografen. Dabei müssen wir beachten, daß die kleinste Öffnung des Objektivs durch die größte Blendenzahl, die größte Öffnung durch die kleinste Blendenzahl gekennzeichnet ist.

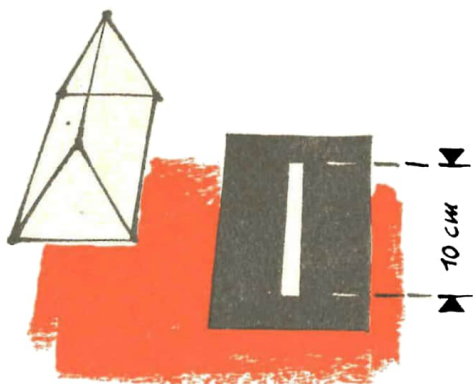
Wie kann man Schärfentiefe durch eine entsprechende Blende erzielen? Bringen wir die Schrift eines Buches bis auf etwa 8 cm an das Auge heran, so erscheint die Schrift verschwommen und wird unleserlich. Halten wir jetzt zwischen Schrift und Auge eine Postkarte, in die wir mit einer Stecknadel ein Loch gestochen haben, so wird die Schrift bei der Betrachtung durch dieses Loch wieder deutlich und lesbar. Die ver-

waschene Schrift wird scharf durch die vorgehaltene kleine Blende. Warum? Die äußeren Lichtstrahlen, welche die verwaschenen Ränder der Buchstaben verursachen, werden zum großen Teil „abgeblendet“, das heißt an der Randung des Loches aufgehalten. Sie gelangen also gar nicht ins Auge. Dadurch wird die Schrift wieder deutlich.

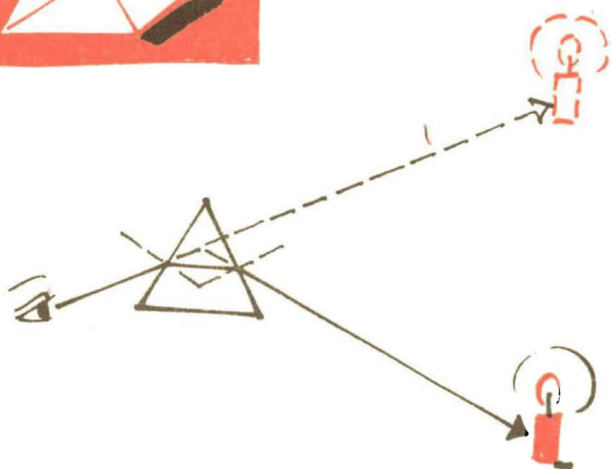
In ähnlicher Weise ist es zu erklären, daß durch die Benutzung einer kleinen Blende die Schärfentiefe einer Fotografie erzielt wird.

Farbenzerlegung

Wir legen einen weißen Papierstreifen von 1 cm Breite und 10 cm Länge auf dunkler Unterlage auf den Tisch. Ein 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 er gehoben. Zugleich ist das Weiß in ein prächtiges Band aus Farben zerlegt, die ineinander übergehen. Wir



nennen sie Regenbogenfarben und unterscheiden folgende Gruppen: Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett. Der bunte Farbenfächer wird als Spektrum bezeichnet. Durch das Prisma wird das weiße Licht in seine farbigen Bestandteile zerlegt. Weiß ist ein Gemisch aller Farben des Spektrums. Die Zerlegung des Lichtes durch das Prisma beruht auf der Brechung des Lichtes an den Grenzflächen zwischen Luft und Glas beziehungsweise Glas und Luft. Die einzelnen Farben werden verschieden stark gebrochen und dadurch voneinander getrennt. Auf dem betrachteten Papierstreifen liegt Rot unten. Violett oben. Violett erscheint also am stärksten gehoben und wird demnach stärker gebrochen als Rot.



Wir kennen das Spektrum vom Regenbogen her, der nur dann zu sehen ist, 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.



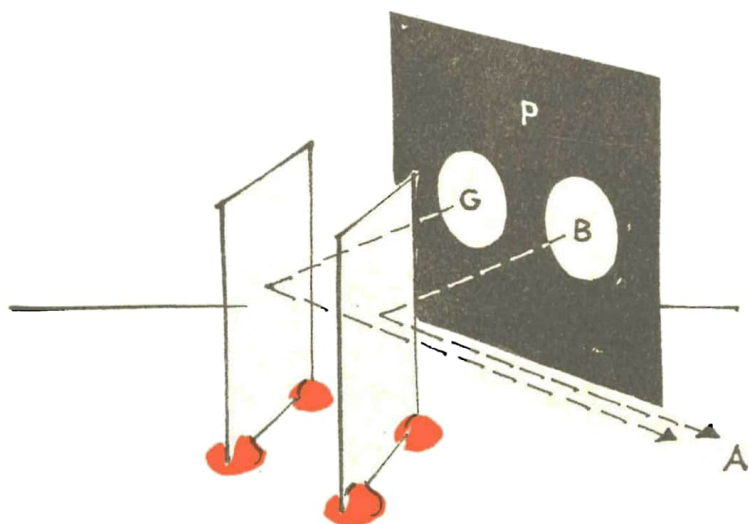
Blau und Gelb ergeben Weiß

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, da sie Farbstoffe sind. Blaues Licht und gelbes Licht hingegen ergeben zusammen weißes Licht.

Die kleinsten Teilchen von blauem Farbpulver ver-



schlucken beim Auftreffen von weißem Licht alle farbigen Anteile außer Blau und etwas Grün. Blau und ein Teil Grün werden also zurückgeworfen. Gelbe Farbkörperchen hingegen verschlucken von auffallendem weißen 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.

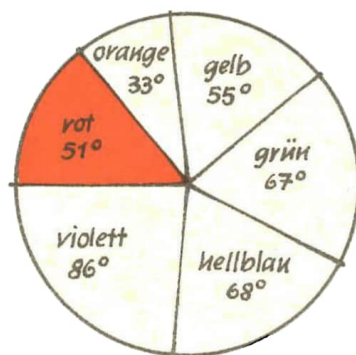
An einer senkrecht aufgestellten schwarzen Pappe werden je eine Kreisfläche aus gelbem Papier und eine gleich große aus blauem Papier aufgeklebt. Beide werden gut beleuchtet. Vor den beiden farbigen Kreisscheiben ist je eine Glasplatte unter Zuhilfenahme von Knetmasse senkrecht aufgestellt. Jede Glasplatte entwirft ein Spiegelbild der neben ihr stehenden farbigen Kreisscheibe in seitlicher Richtung. Durch geeignetes Richten der beiden Glasplat-

ten bei gleichzeitiger Beobachtung aus der Richtung des Spiegelbildes läßt es sich leicht erreichen, daß sich die beiden Spiegelbilder decken. Das blaue Spiegelbild und das gelbe Spiegelbild ergeben im Falle der Deckung eine weiße Kreisscheibe. Blau und Gelb geben Weiß, wenn es reine Farben sind; sonst ist das Weiß getrübt.

Der Farbenkreisel

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

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 ur-





springliche 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, ist es nicht verwunderlich, daß bei ihrer Zusammenraffung auch kein reines, leuchtendes Weiß, sondern nur ein sehr helles Grau entsteht.

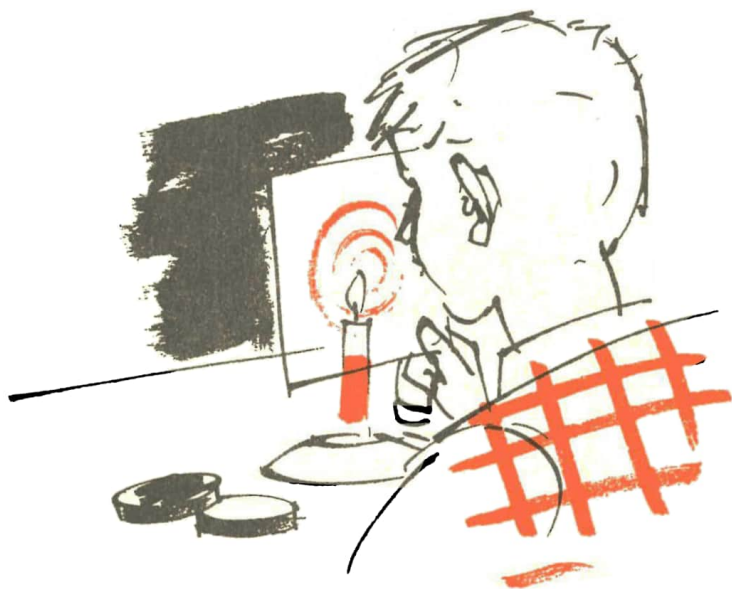
Die Farben werden in dem Versuch verschmolzen durch eine Eigentümlichkeit unseres Gesichtssinnes. In rascher Folge vermittelt die gedrehte Farbenscheibe dem Auge wechselnde Farbeindrücke. Jeder einzelne Farbeindruck wird auch nach dem Verschwinden der betreffenden Farbe noch kurze Zeit nachempfunden. 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.

Künstliche Mondhöfe

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

Wir bestreichen eine Glasscheibe mit einer hauchdünnen Schicht Hautkem.

Dann schütten wir die Bärlappsporen auf ein Blatt Zeitungspapier und drücken die angefettete Glasscheibe darauf. Wir heben die Glasplatte wieder hoch und klopfen sie leicht mit dem Finger ab. An der



dünnen Fettschicht bleibt nur eine feine Schicht von Bärlassporen hängen.

Jetzt halten wir 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 um Eisenbahnleuchtsignale. Auch beim Blick durch beschlagene

erleuchtete Schaufenster können wir solche Erscheinungen beobachten.

An klaren Abenden sehen wir oft nebelähnliche, farbig gesäumte Höfe rings um den Mond. Sie entstehen nur, wenn der 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 Körperchen gebildet wird, zum Beispiel der Bärlappsporen oder der Wassertröpfchen. An diesem Gitter wird das Licht gebeugt, das heißt aus seiner Geradlinigkeit abgelenkt in Richtung nach dem beobachtenden Auge. Es gelangt somit nicht nur Licht der direkten Blickrichtung ins Auge, sondern auch weiter außen verlaufendes Licht, das nun jenen Außenhof vor- täuscht.

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

Sonnenstäubchen

Sonnenlicht wird im abgedunkelten Zimmer sichtbar durch unzählige feinste Staubteilchen, die in der Bahn des Lichts schweben.

Diese Beobachtung zeigt uns, daß in der Zimmerluft, in der wir leben und atmen, viele winzige Staubteilchen vorhanden sind. Im grellen Sonnenlicht, das ins

Zimmer dringt, können wir die langsam schwebende Bewegung einzelner Staubteilchen genau verfolgen. Sie sind so klein und so leicht, daß sie gar nicht nach unten fallen, sondern durch die Wärmebewegung der Luft 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 darauf, daß das Licht an ihnen gebeugt wird, und zwar in ähnlicher Weise wie etwa

in winzigen Lücken eines feinen Gewebes oder einer Schicht von Bärlappsporen.

Blicken wir durch das Gewebe eines Regenschirmes oder durch das Gefieder 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 Staubteilchen im Sonnenlicht. Am Staubteilchen 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 Sonnenlicht schweben sehen, ist also nicht das Staubteilchen. Das ist viel zu klein. Es wird erst durch die Beugungerscheinungen vergrößert und damit sichtbar.

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

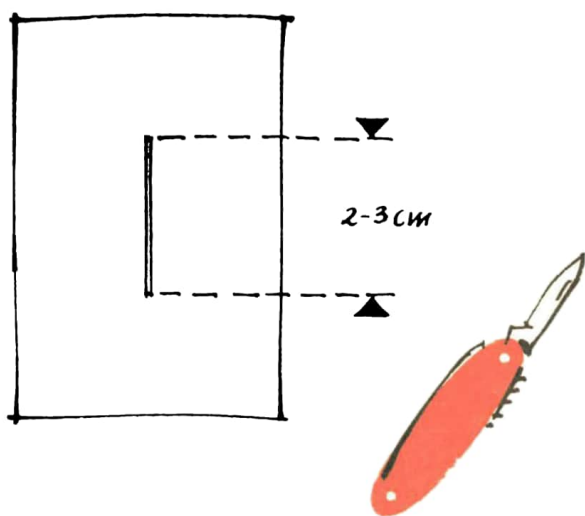
Im Ultramikroskop werden kleinste Körperchen durch starkes seitliches Licht angestrahlt, Körperchen, die an und für sich so winzig sind, daß sie selbst mit dem besten Mikroskop nicht erkannt werden können. Sie werden erst sichtbar durch die vergrößernden Beugungerscheinungen, die das seitliche Licht erzeugt. Zwar werden dabei Einzelheiten der winzigen Körperchen nicht erkannt, aber die sichtbaren 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 cm 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 Durchgang durch den engen Spalt wird ein Teil des Lichtbündels gebeugt, das heißt aus seiner Geradlinigkeit mehr oder weniger stark seitlich abgelenkt. Wo die dunklen Linien auftreten, löschen sich einander überlagernde Lichtwellen gegenseitig aus.

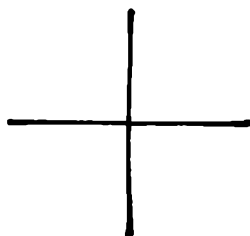
Das ist nur möglich, weil sich das Licht als Welle fortpflanzt. Bei Wasserwellen kann man ebenfalls gegenseitige Aufhebung von zwei verschiedenen Wellen beobachten. Wenn eine Stelle der Wasser-



oberfläche 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 bleibt 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 dieser Buchseite, so verschwindet bei etwa 30 cm Abstand der senkrechte Strich des Kreuzes; es ist nur noch der waagerechte Strich zu sehen. Das betrachtete Kreuz muß durch Sonnenlicht oder durch den Schein einer Lampe gut beleuchtet sein.

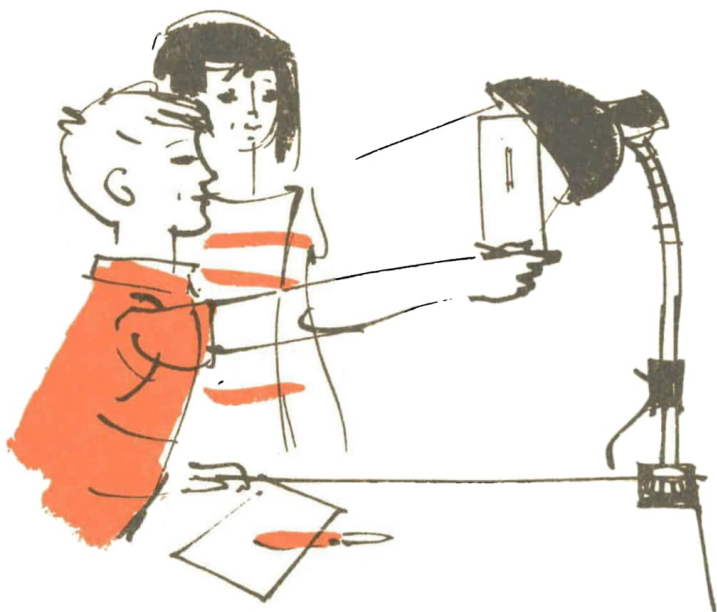
Dieser Versuch beruht ebenfalls auf der Beugung des Lichtes an einem schmalen Spalt. Das auf der Netzhaut unseres Auges entstehende Bild des aufrechten Striches wird durch abgebeugtes weißes Licht aufgehellert und damit unsichtbar.

Augenwimpern als Beugungsgitter

Eine ganze Anzahl von Versuchen hat uns gezeigt, daß das Licht an schmalen Spalten, an 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 ungefähr in gleichen Abständen gleichgerichtet nebeneinander wie bei den Wimpern unseres Augens, so ist die auftretende Beugungserscheinung besonders gut zu beobachten.

Aus einer dünnen Pappe oder einer Postkarte schneiden wir mit einem scharfen Taschenmesser einen schmalen Streifen von etwa 2 mm Breite und 2 cm Länge heraus, so daß ein verhältnismäßig 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 hell erleuchteten Spalt. Dabei schließen wir das Auge so



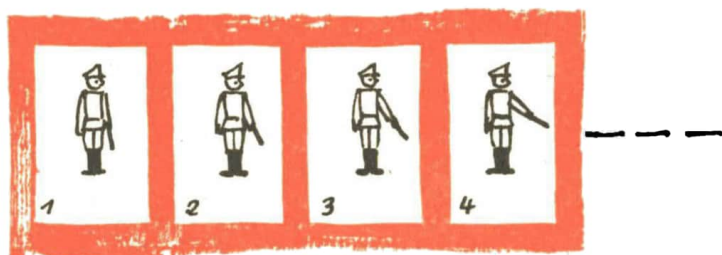
weit, daß die Wimperhäärchen in unsere Blickrichtung gestellt werden und wir durch die Härchenreihe hindurchblinzeln. Dann sehen wir links und rechts vom erleuchteten Spalt je drei farbig gesäumte Streifen. Jeder Streifen ist außen rot und innen blau, weil der rote Bestandteil des weißen Lichtes stärker gebeugt wird als der blaue Bestandteil. Zwischen dem roten und dem 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 an sich zusammenhängende Bewegung ist hier also aufgelöst in viele Einzelbilder. Beim raschen Abschnurren des Notizblocks entsteht der Eindruck einer Bewegung, eines „lebenden“ Bildes.

Das Kino arbeitet im Prinzip 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 aufeinanderfolgen, so werden sie von unserem Gesichtssinn nicht mehr getrennt und



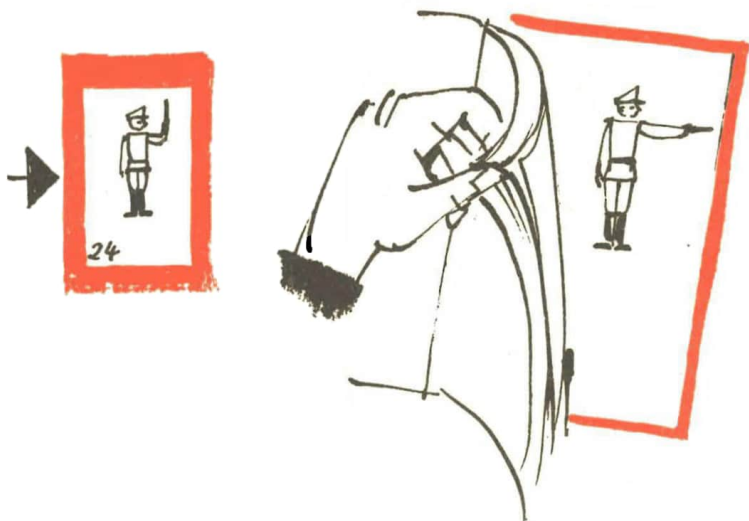
unterschiedlich wahrgenommen. Sie gehen für unser Auge ineinander über.

Dieser „kinematographische Effekt“ wird beim Kino ausgenutzt. Während 1 s erscheinen 24 einzelne Bilder, die von unserem Gesichtssinn nicht als getrennte Bilder aufgenommen, sondern zu *einem* Bewegungseindruck zusammengefügt werden.

Ein einfacher Versuch zeigt uns diesen Effekt in eindrucksvoller Weise. Wenn wir im Dunkeln eine eingeschaltete Taschenlampe sehr schnell im Kreise schwenken, sehen wir einen leuchtenden Kreis infolge der Nachbilder, die wir von den verschiedenen Stellungen der Lichtquelle erhalten.

In Lichtspieltheatern, vor allem in Kulturfilmen und Sportschauen, werden gelegentlich Zeitlupenaufnahmen gezeigt.

Da sieht man zum Beispiel einen Reiter beim Pferderennen in unnatürlicher, eigenartig anmutender Langsamkeit über die Hürde springen. Solche Auf-





nahmen dienen meist dem Studium von Einzelheiten einer in Wirklichkeit sehr rasch ablaufenden Bewegung. Bei Benutzung der Zeitlupe macht der Aufnahmeapparat in 1 s etwa 240 Aufnahmen, die dann im Kino in etwa 10 s abrollen.

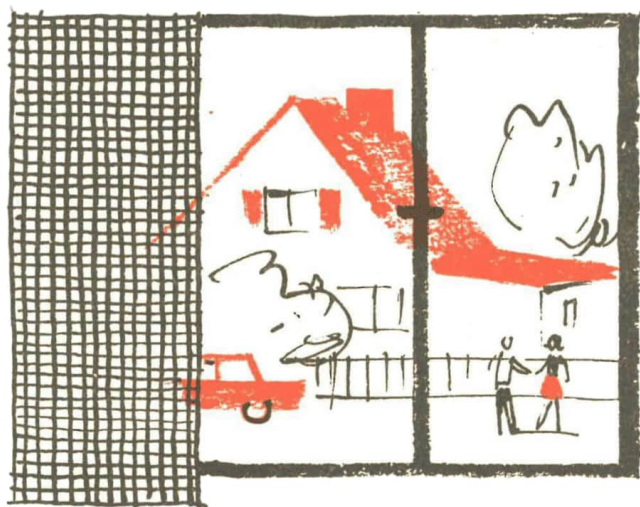
Umgekehrt arbeitet der Zeitraffer. Er macht stündlich etwa eine Aufnahme, beispielsweise von der Entfaltung einer Blüte. Der ganze Vorgang, der in Wirklichkeit vielleicht mehrere Tage oder Wochen dauert, wird dann auf der Leinwand in wenigen Sekunden vorgeführt.

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 cm oder 4 cm vom Auge entfernt sind, sehen wir unscharf, 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 cm 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 Bereich, der scharf gesehen wird, liegt also zwischen Nahpunkt und Fernpunkt.

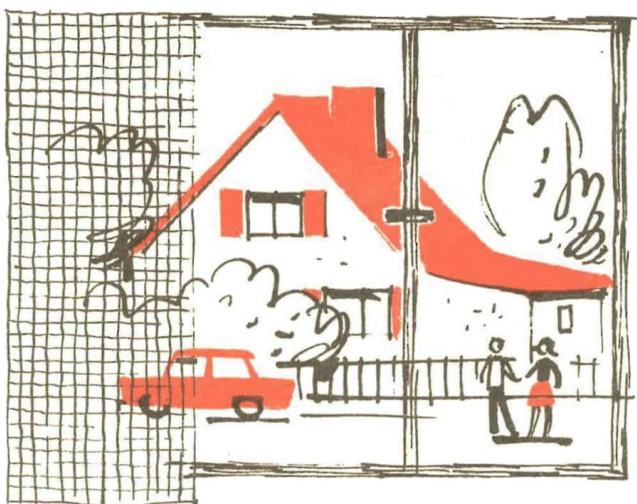


Im Alter wird jeder Mensch mehr oder weniger weitsichtig, das heißt, der Nahpunkt rückt vom Auge ab. Wer in der Jugend das Buch immer zu nahe an die Augen hält, kann dadurch kurzsichtig werden; das heißt, der Fernpunkt, der beim Normalsichtigen sehr weit draußen liegt, rückt näher ans Auge heran. In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

Umschaltbare Augenlinse

Blickt man aus dem Innern des Zimmers auf die Gardine am Fenster, so sieht man das gegenüberliegende Haus nur verschwommen.

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 in einer



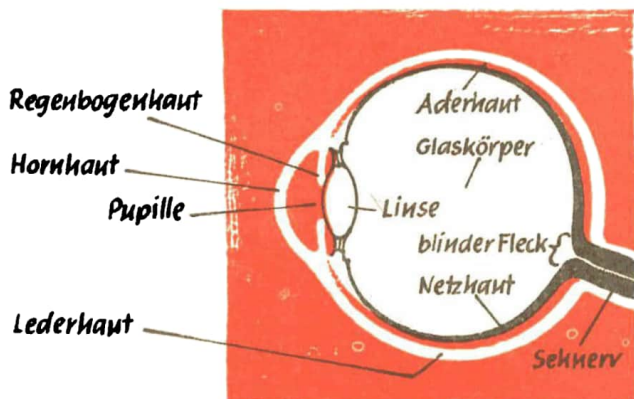
bestimmten gewünschten Entfernung scharf sehen. Das Auge hat die Fähigkeit, sich selbsttätig auf die betreffende Entfernung einzustellen.

Ähnlich wie in einem Fotoapparat befindet sich in unserem Auge eine glasklare, beiderseits nach außen gewölbte Linse. Sie wird von der 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 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 konvexe Linse, die beim Blick in die Nähe stark gewölbt ist.

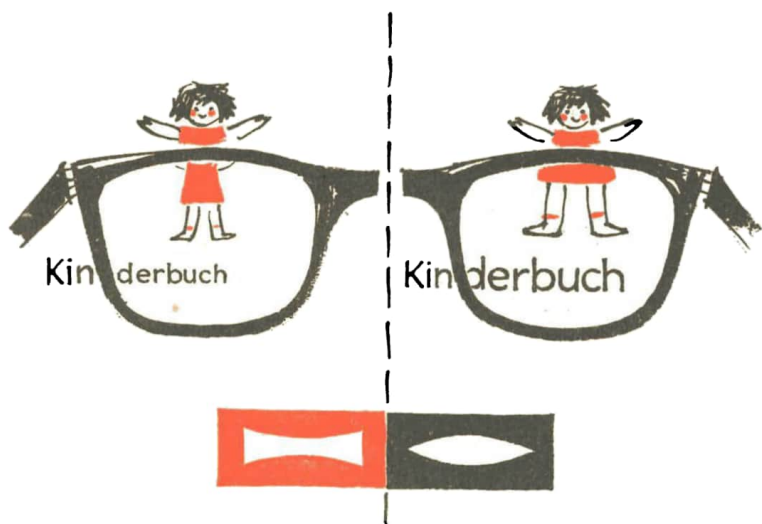


Beim Blick in die Ferne wird die Augenlinse durch einen Augenmuskel um so mehr verflacht, je weiter der betrachtete Gegenstand entfernt ist.

Das kurzsichtige Auge ist entweder zu lang gebaut, der Abstand Hornhaut – Netzhaut ist zu groß, 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 vorgesetzte Hohlinsen, Konkavlinsen, korrigiert. Das sind Zerstreuungslinsen, die durch ihren entgegengesetzten Schliff die zu starke Wölbung der Augenlinse ausgleichen.

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

Diese ungenügende Wölbung wird behoben 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. Hinter der Pupille befindet sich die Augenlinse. Die Pupille wird ringförmig von der Regenbogenhaut, der 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 auf etwa 4 mm. Halten wir jetzt, unter steter weiterer

Beobachtung des Auges im Spiegel, eine Taschenleuchte dicht ans Auge und schalten sie ein, so kommt sofort Bewegung in die Regenbogenhaut. Sie zieht sich zusammen und verkleinert dadurch die Öffnung für das eintretende Licht. Unabhängig von unserem Willen 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 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 lang geblendet; denn im Dunkeln war die Öffnung der Pupille groß, und beim 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. Zunächst können wir kaum etwas erkennen. Wir müssen uns an die Dunkelheit erst gewöhnen. Das heißt, die Regenbogenhaut muß durch eine weite Öffnung der Pupille den Zutritt eines ausreichend großen Lichtstroms erst ermöglichen.

Bei „Nachtblinden“ spricht die Netzhaut auf diese schwachen Lichtreize nicht mehr an oder erst nach mehreren Minuten.



Der Daumen springt

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

Der Eindruck des „springenden“ Daumens wird
dadurch hervorgerufen, 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 nebeneinanderstehen 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. Die 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 in der Tiefe deutlich gestaffelt ist. Auf der Verschiedenheit der beiden Bilder, die in

unserem Auge entstehen, beruht das räumliche Sehen. Ein Auge allein sieht flächenhaft. 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. Ein Zuschauer bei diesem Versuch wird sich belustigen, wenn er sieht, wie der Faden weit links oder rechts 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 die Bilder, die auf der Netzhaut des linken und des rechten Auges entstehen, voneinander verschieden sind. Wenn wir umgekehrt zwei entsprechend verschiedene Fotos betrachten und dafür sorgen, daß jedes der 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 erreicht, daß jedes Bild nur von demjenigen Auge gesehen wird, für das es bestimmt ist, und gleichzeitig wird eine Vergrößerung der betrachteten Bilder erzielt. Solche Lichtbildpaare werden Stereoaufnahmen genannt. Das Wort „stereo“ entstammt der

griechischen Sprache und heißt „körperlich“, „räumlich“. Zur Betrachtung von Stereoaufnahmen hat man besondere Apparate konstruiert, die eine überraschende Plastizität liefern.

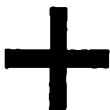
Stereoaufnahmen werden mit einer „zweiäugigen“ Kamera gemacht, deren beide Objektive in derselben Entfernung nebeneinanderstehen wie unsere Augen.

Wir können aber auch mit einer gewöhnlichen Kamera Stereoaufnahmen herstellen, wenn wir nacheinander zwei Aufnahmen machen und vor der zweiten Aufnahme die Kamera um etwa 10 cm seitlich verschieben. Dazu muß man allerdings schon ein geschickter Fotograf sein. Da sich auf den gewählten Motivausschnitten nichts geändert haben darf als die seitliche Verschiebung, ist es hier also nur möglich, ruhende Motive aufzunehmen.

Der blinde Fleck

Wenn wir mit nur einem Auge starr nach der Mitte des abgebildeten Kreuzes blicken, so sehen wir abseits im Blickfeld auch die schwarze Kreisfläche. Wir sehen sie zwar nicht deutlich, weil wir während des ganzen Versuches unseren Blick unverändert auf die Kreuzmitte richten, aber wir stellen einwandfrei fest, daß die schwarze Kreisfläche da ist. Verändern wir jetzt langsam die Entfernung vom Buch zum Auge, so gibt es eine Entfernung, bei der der schwarze Fleck plötzlich verschwindet. Sie liegt bei etwa 25 cm.

Es sei nochmals betont, daß es zum Gelingen des Versuches unbedingt notwendig ist, immer starr und un-



verwandt nur auf die 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 sichtbar oder schon verschwunden ist. Da kommt man schon in Versuchung, einmal hinüberzulugen 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 auf die Kreuzmitte blickt.

Die rückwärtige innere Wand des Augapfels ist ausgekleidet mit der Netzhaut. Das ist die flächenhafte Ausweitung des Sehnervs, der im Augenhintergrund austritt und zum Gehirn verläuft. Die Netzhaut wirkt, ähnlich wie die weiße Kinoleinwand, als Bildschirm, auf dem durch die Augenlinse die Wirklichkeit abgebildet wird. Auf der Netzhaut liegen die lichtempfindlichen Endstellen des Sehnervs, die jeden Lichteindruck dem Gehirn und damit unserem Bewußtsein melden.

An der Stelle jedoch, an welcher der Sehnerv durch die Augenwand zum Gehirn austritt, befinden sich keine solchen lichtempfindlichen 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 die schwarze Kreisfläche 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 Flamme der Kerze blicken.

Eine überraschende Erscheinung wird sichtbar. Auf einem fahlen, grauen Untergrund sehen wir ein baumartig verästelttes Netz von dicken schwarzen Linien. Das erkannte Bild scheint etwa 1,5 m vor 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. Das Licht, das von der Kerze schräg ins rechte Auge fällt, wirft 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 Versuch zeigt, 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 Blutgefäßschatten 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 hindurch auf das Mattglas einer elektrischen Lampe oder auch in den hellen Himmel. Das andere Auge kneifen wir zu.

Da sehen wir im hellen kreisförmigen Blickfeld eine Anzahl von merkwürdigen, winzigen, kreisförmigen Gebilden. Sie gleiten langsam im Gesichtsfeld abwärts. Wir erkennen vereinzelt winzige Kreise und ganze Gruppen solcher Kreise. Bisweilen sehen wir auch Gebilde, die perlschnurähnlich aus lauter solchen kleinen Kreisen zusammengesetzt sind. Sie sind in den verschiedenen, anscheinend regellosen Formen gebogen und geringelt. Diese beweglichen



Gebilde wurden von einem französischen Forscher als „mouches volantes“, auf deutsch als „fliegende Mücken“, bezeichnet. Liegt man im Sonnenbad und blinzelt in den Himmel, kann man sehr schön diese „fliegenden Mücken“ beobachten. Wenn man ein solches Gebilde genau betrachten will, stört es, daß es immer langsam nach unten aus dem Blickfeld gleitet. Ist es gerade am unteren Rande des Blickfeldkreises verschwunden und blickt man dann rasch nach oben, so schießen auch die „fliegenden Mücken“ schnell wieder hoch, meist etwas über das Ziel hinaus, und gleiten langsam im Blickfeld wieder hinab. So kann man mit den „Mücken“ geradezu spielen, indem man versucht, sie mit dem Blick zu fangen und zu

beobachten. Diese Schwimmkörperchen sind kleine Gebilde, die in unserem Augeninnern tatsächlich vorhanden 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. Man hat die „Mücken“ sogar vermessen und gefunden, daß die Breite der Perlschnüre etwa $\frac{1}{100}$ mm beträgt.

Anzeichen eines krankhaften Zustands sind diese Trübungen nicht. Im hellen Blickfeld werfen die „fliegenden Mücken“ Schatten auf die lichtempfindliche Schicht der Netzhaut und werden dadurch sichtbar.

Farbige Nachbilder

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

Beim Betrachten des weißen Steckenpferdes fällt weißes Licht auf eine bestimmte Stelle der Netzhaut. Die Enden des Sehnervs, die an 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 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 Netzhautstellen jedoch sprechen zunächst gar nicht an, so daß wir ein schwarzes Steckenpferd erblicken. Blicken wir 10 s lang starr auf einen roten Tintenkleck und dann auf weißes Papier, so erscheint ein grüner Tintenkleck. Betrachten wir eine gelb-



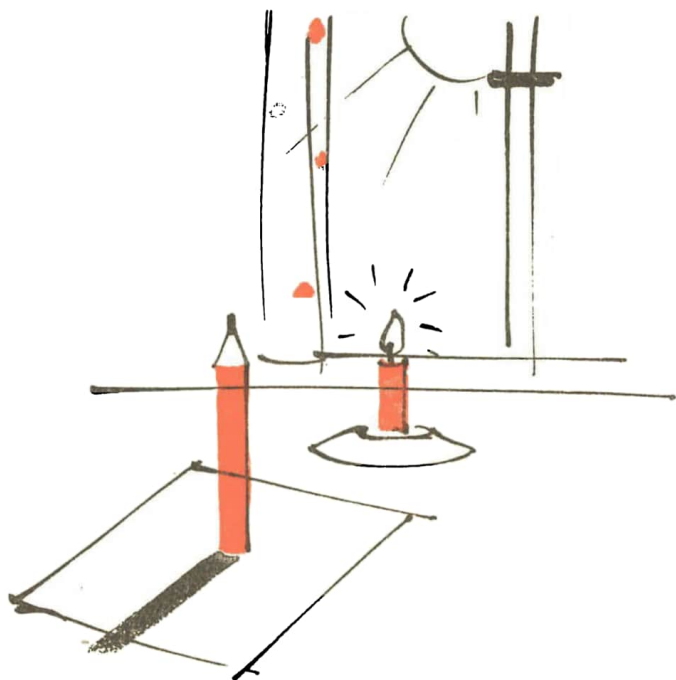
gemalte Kreisfläche, so erscheint eine blaue Kreisfläche und umgekehrt.

Wenn wir lange Zeit auf Rot sehen, ermüdet der Sehnerv und wird für rotes Licht unempfindlich. Blicken wir dann auf Weiß, so werden vor allem die in Weiß enthaltenen anderen Farben empfunden. Die in Weiß enthaltenen anderen Farben — außer Rot — ergeben 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 eine brennende Kerze auf weißes 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 Zapfen 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 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 zuvor beschriebenen Versuch.



Farbenplastik

Die Signalmaste der Eisenbahn tragen nachts ein rotes und ein grünes Lichtsignal. Blickt man in der Dunkelheit nach den beiden Signallampen, die nebeneinanderhängen, 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 dem 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 scheinbar 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 näher gelegenen 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 Zigarettenschachteln 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 Violett der blühenden Heide am Wegrain. Mit zunehmender Dunkelheit wird unsere Farbempfindung mehr und mehr ausgeschaltet, bis wir schließlich alles Erkennbare nur noch in einem Grau sehen.

Die lichtempfindlichen Organe der Netzhaut unseres Auges sind die Stäbchen und Zapfen. Stäbchen und Zapfen funktionieren verschieden. Die Zapfen vermitteln Farbeindrücke, die Stäbchen sprechen nur auf Hell und Dunkel an. Die Stäbchen sind lichtempfindlicher als die Zapfen. Bei fortschreitendem Dunkelwerden wird deshalb zuerst unser Farbensinn ausgeschaltet.

Jeder hat schon die Erfahrung gemacht, daß man in der Dunkelheit seitwärts plötzlich einen Schatten sieht. Vielleicht ist es ein sonderbar geformter Baumstumpf. Lenkt man erschreckt den Blick nach dort, um das auffällige Gebilde näher zu betrachten, so scheint das Gesehene lautlos weggehuscht zu sein. Ängstlichen Menschen wird dabei unheimlich zumute.

Doch 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 Zapfen besetzt. Beim direkten Blick sehen wir also nur mit den farbempfindlichen Zapfen. Im Dunkel der Nacht sind, wie wir soeben feststellten, gerade diese Zapfen wegen ihrer geringen Empfindlichkeit außer Betrieb.



Die Stäbchen aber, die sämtlich außerhalb des gelben Fleckes liegen, funktionieren auch noch bei dieser geringen Helligkeit. Sie werden freilich nur von Licht getroffen, das schräg in die Pupille einfällt. So kommt es, daß wir seitlich, im indirekten Blick, noch Gegenstände erkennen, die jedoch sofort verschwinden, wenn wir den Blick auf sie richten und sie mit dem gelben Fleck betrachten.

INHALT

AUS DER MECHANIK

Kraft und Bewegung

Der balancierende Bleistift 9

Kleine Geheimnisse 10

Hebel 12

Elastische Kräfte 15

Trägheit 17

Wirkung und Gegenwirkung 18

Von fallenden Körpern 20

Pendel 22

Berühmter Pendelversuch 25

Zentrifugalkraft 27

Kreisel 31

Flüssigkeiten

Verbundene Gefäße 33

Druck und Überdruck 34

Ein Körper schwimmt 35

Spiel im Selterswasser 38

Der Wasserhahn tropft 39

Seifenblasen 41

Ein Tintenklecks 48

Gase

Ist das Glas leer? 51

Der kartesische Taucher 53

Eierpusten 58

Barometer 59

Umgedrehtes Wasserglas 62

Stechheber 63

Luftverdünnter Raum 64

Luftdruck-Kraftprobe 69

Strömungslehre

Saugwirkung eines Luftstromes 70

Stromlinienkörper im fließenden Wasser 72

AUS DER WÄRMELEHRE

Ausdehnung durch Erwärmen 75

Sprenghwirkung des Eises 76

Dampf 78

Kältemischung 80

Eis unter Druck 83

Kölnischwasser kühlt 86

Nebel in der Selterswasserflasche 87

Wärmeleitung 90

Es „zieht“! 93

Wärme und Bewegung 96

AUS DER AKUSTIK

Es schwingt und klingt 99

Seilwellen 101

Spiel am Ufer 103

Eine Postkarte macht Musik 107

Tönende Tischplatte 108

Vom Echo 111

AUS DER OPTIK

Ein Fettfleck 115

Spiel mit dem Sonnenlicht 116

Wie dick ist ein Spiegel?	118
Spiegelschrift	119
Zwischen zwei Spiegeln	121
Nicht-seitenvertauschte Spiegelbilder	123
Gewölbte Spiegel	125
Gebrochenes Licht	126
Brennpunkt	129
Reelle Bilder	130
Die Blende der Kamera	134
Farbenzerlegung	137
Blau und Gelb ergeben Weiß	139
Der Farbenkreisel	141
Künstliche Mondhöfe	143
Sonnenstäubchen	145
Licht und Licht gibt Dunkelheit	148
„Zauberei“ am Spalt	149
Augenwimpern als Beugungsgitter	150
„Lebende“ Bilder	152
Nahpunkt und Fernpunkt	155
Umschaltbare Augenlinse	157
Brillengläser	158
Die Pupille	160
Der Daumen springt	163
Opernglas als Stereoskop	165
Der blinde Fleck	166
Blutgefäße der Netzhaut, sichtbar gemacht	168
Schwimmkörperchen im Blickfeld	170
Farbige Nachbilder	172
Blaue Schatten	174
Farbenplastik	176
„Bei Nacht sind alle Katzen grau“	177





4., überarbeitete Auflage 1981

Bearbeitet von Helga Niese

© DER KINDERBUCHVERLAG BERLIN – DDR 1981

Lizenz-Nr. 304-270/406/81-(50)

Lichtsatz: INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb Leipzig – III/18/97

Druck und Binden: LVZ-Druckerei „Hermann Duncker“, Leipzig

III/18/138

LSV 7891

Für Leser von 12 Jahren an

Bestell-Nr. 628 284 0

DDR 5,80 M



FREIZEITREIHE

Warum schwimmt eine Nähnadel auf dem Wasser? Warum wird man auf der Waage schwerer oder leichter, wenn man Freiübungen macht? Was fällt schneller, ein Brikett oder eine Briefmarke? Wie kommen die „lebenden“ Bilder des Films zustande?

Diese und viele andere Fragen könnt ihr beantworten, wenn ihr die Spiele, Kunststücke und Experimente ausführt, die in diesem Buch beschrieben und physikalisch erläutert sind. Was euch bisher unverständlich war, werdet ihr näher kennenlernen, und was ihr kanntet, wird von neuem interessant, wenn ihr es selbst ausprobierst und neue Zusammenhänge entdeckt. Jeder kann diese Versuche ausführen, denn Apparate oder Instrumente sind nicht notwendig.

Der Kinderbuchverlag Berlin