

HANS KLEFFE



Wie funktioniert denn das?



Hans Kleffe

Wie
funktioniert
denn
das
?

Der Kinderbuchverlag
Berlin

Illustrationen von Ingrid Blauschmidt

Das feuerlose Licht

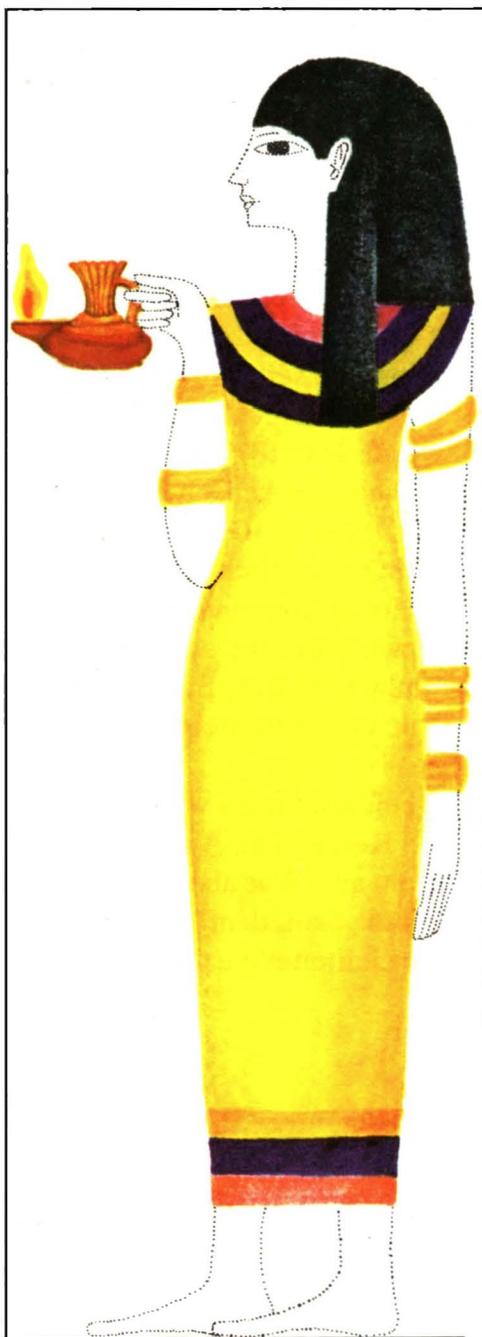
Elektrisches Licht, Radio und Fernsehen gehören bei uns heute zum Leben wie Essen und Trinken. Dabei ist der Rundfunk erst ungefähr 50 Jahre alt, und brauchbares Fernsehen gibt es seit rund 25 Jahren. Selbst die einfache Glühlampe – sie brannte noch nicht sehr hell und ging schon nach kurzer Zeit kaputt – wurde erst 1879 erfunden.

Goethe und Schiller schrieben abends bei Kerzenschein. Arme Leute benutzten einen Kienspan oder eine Öllampe. Das Wort Tranfunzel erinnert noch daran. Sie gab nur ein so spärliches Licht, daß man dabei kaum etwas sehen konnte. Heute gebrauchen wir den Ausdruck Tranfunzel daher als Schimpfwort für eine schlechte, zu dunkle Lampe. Später kamen Petroleumlampen auf. Sie brannten etwas heller. Aber ähnlich wie die Tranfunzeln verbreiteten sie einen unangenehmen Geruch.

Allen diesen Lichtquellen war eines gemeinsam: Es wurde etwas verbrannt – der Kienspan, das Öl, die Kerze. Die Verbrennung erzeugt eine Flamme, und diese sendet Licht aus. Was aber verbrennt in der elektrischen Glühlampe? Gar nichts! Trotzdem leuchtet sie weit heller als alle anderen genannten Lichtquellen. Wie kommt das?

Wir untersuchen eine Glühlampe

Schauen wir uns eine Glühlampe mit durchsichtigem Glaskolben einmal ganz aus der Nähe an! Dabei muß sie freilich ausgeschaltet sein. Im Kolben sehen wir einen sehr dünnen gewendelten Draht, der bei eingeschaltetem Strom glühend heiß wird. Er verbrennt aber nicht, obwohl er so heiß wird, daß sich die Hitze in kurzer Zeit auf den Glaskolben überträgt und wir diesen mit bloßen Fingern nicht mehr anfassen können. Glühend heißes Metall sendet Licht aus. Das



um 1300 v.u.Z.



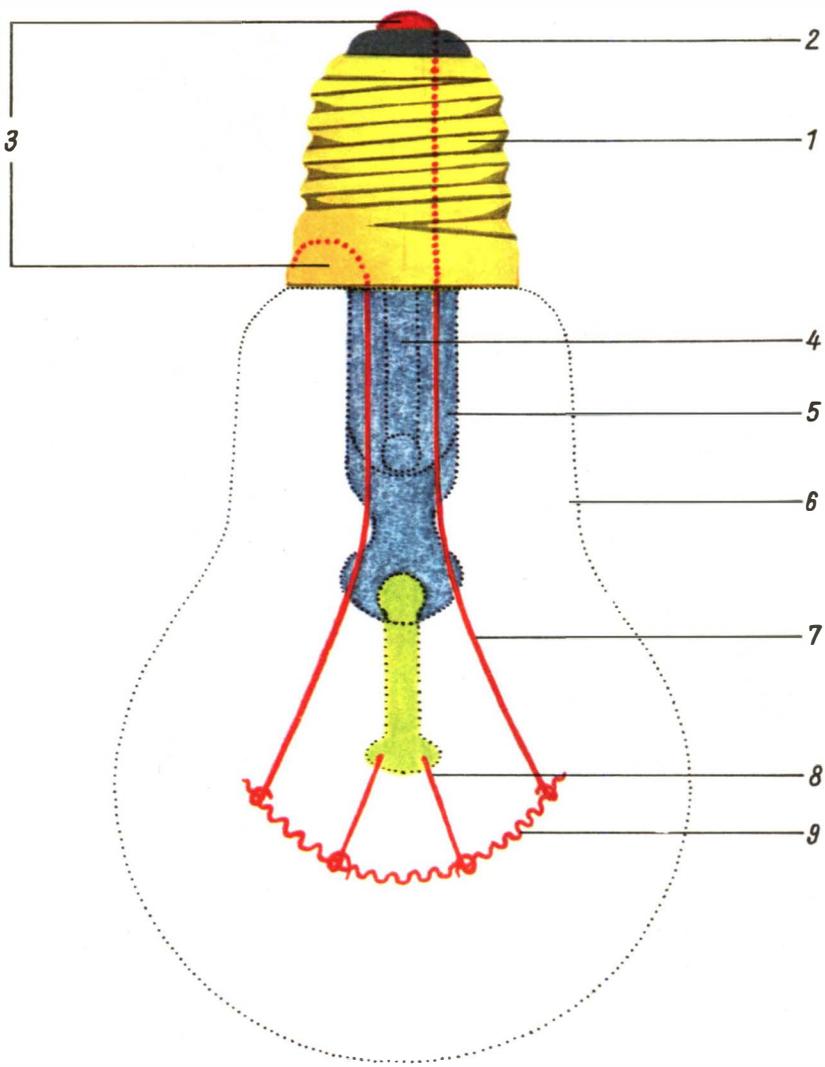
um 450 v.u.Z.



um 1350



um 1820



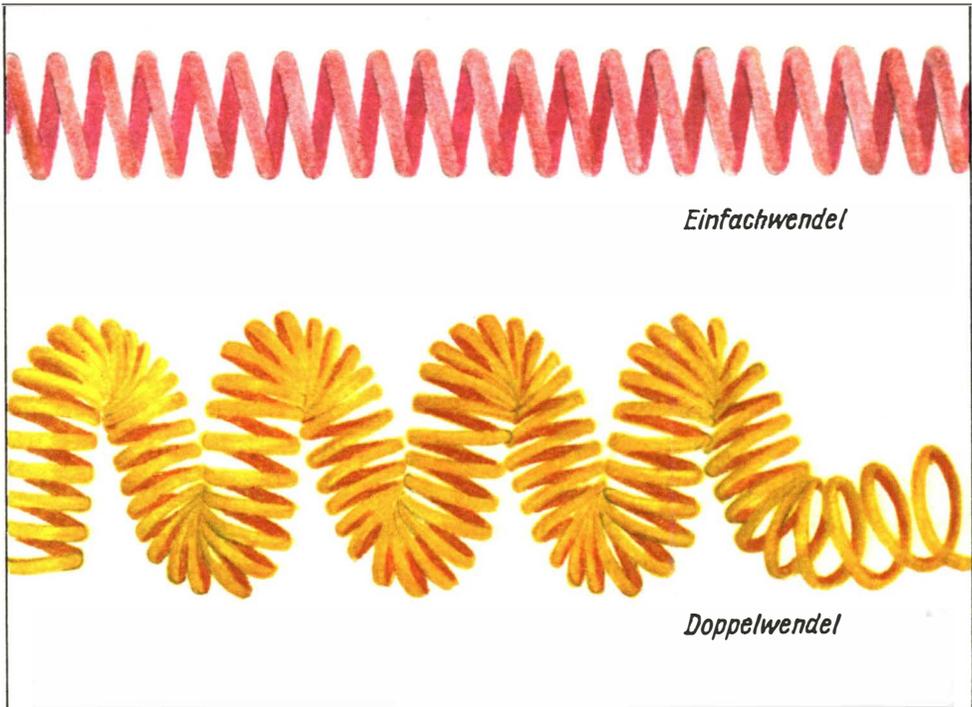
- 1 *Socket mit Schraubgewinde*
- 2 *Isolierstoff*
- 3 *Kontakte*
- 4 *Glasröhrchen zum Auspumpen der Luft*
- 5 *Glaskörper*
- 6 *Glaskolben*
- 7 *Stromzuleitungsdrähte*
- 8 *Traggestell*
- 9 *Glühdraht*

zeigt auch der eiserne Ofen. Heizt man ihn tüchtig, wird er rotglühend. Er sendet ein schwaches rotes Licht aus, bei dem man allerdings nicht viel sehen könnte.

Vielleicht haben wir schon einmal eine Störung im elektrischen Haushaltnetz erlebt, bei der die Spannung stark abfiel. Dabei brennen auch die Glühlampen nur sehr schwach, und man kann vielleicht sogar, ohne geblendet zu sein, in sie hineinschauen. Der Draht glüht dann nicht weiß, sondern nur rötlich. Könnten wir die Spannung allmählich von 0 auf 220 V (Volt) steigern, dann würden wir Farbänderungen des Glühdrahts sehen. Erst bei einer gewissen Spannung fängt er an, dunkelrot zu glühen. Bei weiterem Ansteigen der Spannung wird er kirschrot, schließlich hellrot, orange, und wenn wir volle Spannung geben, glüht er weiß. Mit steigender Spannung wird der Draht nämlich heißer, und je heißer ein Metall ist, desto weißlicher ist das Licht, das es ausstrahlt.

Der Glühdraht der elektrischen Lampe besteht hauptsächlich aus Wolfram, einem Metall, das man auf besonders hohe Temperaturen erhitzen kann. Es schmilzt erst bei ungefähr 3400 °C (Grad Celsius), Eisen dagegen bei 1539 °C.

Der Wolframdraht in der Glühlampe darf nicht schmelzen. Sonst wäre die Lampe sofort kaputt. Er soll nur glühen, und zwar bei möglichst hoher Temperatur, weil er dann sehr helles, weißgelbliches Licht aussendet. Sehen wir uns den Draht aber noch einmal mit einer zehn- bis zwölffach vergrößernden Lupe an! Dabei müssen wir den Glaskolben so drehen, daß der Draht dicht genug an die Lupe herankommt. Wir stellen fest: Jede Windung des Drahtes ist in sich nochmals gewandelt. Dadurch hat der Draht eine größere Länge. Bei gleichem Durchmesser ist aber die Oberfläche eines Drahtes um so größer, je länger er ist. Ein 100 cm (Zentimeter) langer Draht gleicher Stärke hat daher eine 10mal größere Oberfläche als ein 10 cm langer. Da jeder Teil der Oberfläche Licht aussendet, ergibt der doppelt gewandelte Draht mehr Licht. Außerdem spart man Strom, denn die benachbarten kleinen Wendel sind einander so nahe, daß sie sich gegenseitig heizen. Stünden sie frei im Raum, so strahlten sie ihre Wärme nutzlos in den Raum aus. Beim Doppelwendel dagegen dient ein großer Teil der vom Draht ausgesandten Wärmestrahlung dazu, die benachbarten Wendel zu erhitzen. Deshalb braucht man weniger



Strom, um den Draht auf der gewünschten Temperatur zu halten.

Außer dem Wolframdraht, den man auch Glühfaden nennt, weil er so dünn wie ein Faden ist, befinden sich im Kolben der Lampe noch Vorrichtungen, die den Wolframfaden halten und ihm den elektrischen Strom zuführen: Zum Aufhängen des Glühfadens dient ein kleines Drahtgestell, das in einen gläsernen Träger eingeschmolzen ist. Außerdem verlaufen durch einen Glaskörper zwei Drähte, die wesentlich dicker als der Glühdraht sind. Sie haben die Aufgabe, dem Faden Strom zuzuleiten. Deshalb führt zu jedem Ende des Fadens ein solcher Draht.

Die Zuleitungsdrähte glühen nicht, weil sie dicker sind als der Glühfaden. Je dünner ein Draht ist, desto stärker erhitzt er sich beim Durchfluß elektrischen Stroms und um so eher wird er weißglühend. Nach diesem Prinzip funktionieren auch die Sicherungen, die am Stromzählerbrett eingeschraubt sind. Sie enthalten einen Draht, durch den sämtlicher Strom, den wir im Haushalt verbrauchen, fließt. Schalten wir zu viele Geräte ein, die zusammengenommen einen zu hohen Stromverbrauch haben, dann fließt so viel Strom durch den

Draht der Sicherung, daß er immer heißer wird und schließlich durchschmilzt. Damit ist der Stromfluß automatisch unterbrochen. Gäbe es die Sicherungen nicht, so könnten sich statt ihrer die in der Wand verlegten elektrischen Leitungen oder die Kabel der Geräte so stark erwärmen, daß sie in Brand geraten.

Warum glüht der Draht?

Warum erhitzt sich eigentlich der Draht, wenn genügend starker Strom hindurchfließt? Um das zu verstehen, benötigen wir eine Reihe von Erkenntnissen über Eigenschaften der Stoffe, die man diesen von außen nicht ansehen kann. Wir werden zur Beantwortung der Frage einen langen Weg zurücklegen müssen und dabei Stauenswertes erfahren. Er führt uns dabei in eine unseren Augen verborgene Welt, in die Welt der Atome und noch kleineren Teilchen, aus denen die Materie zusammengesetzt ist.

Wenn wir ein Stück Draht, Blech, Holz oder Stein anschauen, so scheint es fest und undurchdringlich zu sein. Denn das Licht, das uns alle Körper überhaupt erst sichtbar macht, geht durch dieses Stück nicht hindurch. Stellen wir uns aber einmal vor, wir könnten diesen festen Stoff in milliardenfacher Vergrößerung betrachten! In Wirklichkeit ist das nicht möglich, auch mit den stärksten Mikroskopen nicht. Die Erkenntnisse, die uns jetzt beschäftigen, konnten daher nicht durch Untersuchung der Stoffe mit einem Mikroskop gewonnen werden, sondern waren nur auf sehr komplizierte Weise indirekt zu ermitteln, etwa so wie ein Kriminalist den Hergang einer Straftat, die er selbst nicht gesehen hat, aus Spuren und anderen Hinweisen schlußfolgert und den lückenlosen Beweis dafür findet.

Könnten wir feste Stoffe in milliardenfacher Vergrößerung betrachten, dann erlebten wir eine große Überraschung. Sie sind nämlich gar nicht so undurchdringlich und kompakt, wie sie unseren Augen erscheinen. Sie sind aus vielen einzelnen winzigen Bausteinen zusammengesetzt. Man nennt sie Atome und Moleküle. Das verblüffendste aber ist, daß die Bausteine nicht fugenlos aufeinander sitzen. Es gibt vielmehr in den Atomen große leere Zwischenräume.

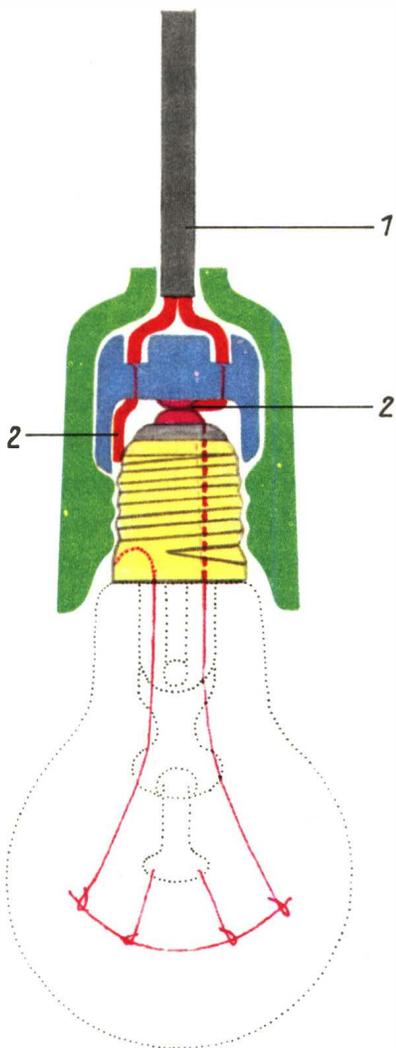
2,8 Trillionen je Sekunde

Der elektrische Strom besteht aus Teilchen, die so klein sind, daß sie durch die Zwischenräume der Atome, aus denen die festen Stoffe bestehen, bequem wandern können. Wenn der Strom durch den Glühfaden der Lampe fließt, dann bewegen sich unzählige solcher winzigen Teilchen – man nennt sie Elektronen – durch die Zwischenräume des „Atomgitters“ unseres Wolframdrahtes. Beim Glühfaden einer 100-Watt-Lampe sind es 2 790 000 000 000 000 in jeder Sekunde! Gäbe es eine Maschine, die sie mit einer Geschwindigkeit von 1000 Elektronen je Sekunde abzählt, so brauchte sie dafür etwa 88 400 000 Jahre (ein Jahr zu 365,25 Tagen gerechnet).

Wenn sich so viele Teilchen durch einen dünnen Draht zwängen, gibt es ein ziemliches „Gedränge“. Die Atome des Glühfadens werden dadurch zu heftigen Hinundherbewegungen „angestoßen“. (Dieses „Anstoßen“ wollen wir aber mehr als einen Vergleich auffassen und nicht wörtlich nehmen.) Man nennt die Hinundherbewegungen um eine Mittelpunktslage Schwingungen. Alle Atome und Moleküle befinden sich ständig in solchen Schwingungsbewegungen. Durch die Elektronen des Stromflusses werden sie aber in noch viel heftigere Bewegungen versetzt. Je heftiger die Atome und Moleküle schwingen, desto höher ist ihre Temperatur. Was wir Wärme nennen, beruht auf den ständigen Schwingungen der Atome und Moleküle. Wärme ist physikalisch betrachtet die Bewegungsenergie der kleinsten Teilchen der Materie.

Damit ist das „Geheimnis“ der Glühlampe enträtselt: Bei Stromfluß bewegen sich unzählige Elektronen durch den Glühfaden. Sie stoßen die Atome zu heftigen Schwingungen an und versetzen den Faden deshalb in sehr hohe Temperatur. Dabei sendet er Licht aus.

Kehren wir von diesem abenteuerlichen Gedankenausflug in die Welt der unsichtbar kleinen Bausteine der Materie und ihres Verhaltens noch einmal zurück zur Betrachtung der sichtbar großen Einzelteile unserer Glühlampe! Einer der beiden in den Glaskörper eingeschmolzenen Stromzuführungsdrähte ist mit der Kontaktplatte am unteren Ende des Gewindesockels der Lampe verbunden, der andere mit dem Zinntupfen am oberen Ende des Sockels. Dies sind



*Kontakte der
Einschraubfassung*

1 Stromleitung

2 Kontakte

die beiden Kontakte, über die der Glühlampe durch die Einschraubfassung der Leuchte der Strom zugeführt wird. Damit er nicht gleich direkt durch den metallischen Gewindestockel von dem einen zum anderen Kontakt fließen kann, befindet sich zwischen dem Gewindestück und dem Kontakt der Bodenplatte ein Stoff, der Elektrizität *nicht* leitet.

Es gibt also Stoffe, die Strom leiten, und solche, die ihn nicht leiten. Die ersteren nennt man Leiter. Dazu gehören alle Metalle. Die zweiten nennt man Nichtleiter oder Isolatoren. Dazu gehören zum Beispiel Glas, Porzellan und Plast. Der Unterschied zwischen Leitern und Nichtleitern besteht darin, daß die Elektronen sich in den Leitern frei bewegen können, in den Isolatoren nicht. Doch dürfen wir daraus nicht schließen, daß die Atome und Moleküle der Isolatoren keine Zwischenräume enthalten. Ob sich Elektronen durch einen Stoff bewegen können, hängt von anderen Faktoren ab.

Wie die Glühlampe kaputtgeht

Um die Glühlampe ein- und ausschalten zu können, brauchen wir einen Schalter. Bei Deckenleuchten befindet er sich an der Wand. Steh- und Tischleuchten haben einen Knopf- oder Zugschalter, der in die Leuchte selbst eingebaut ist. (Die Vorrichtung, in welche die Glühlampen eingeschraubt werden, heißt korrekt nicht Lampe, wie sie in der Umgangssprache häufig genannt wird, sondern Leuchte. Das Wort Lampe wollen wir für den Gegenstand reservieren, der das Licht aussendet, also für die Glühlampe oder die Leuchtstofflampe.)

In jedem Schalter stehen sich zwei Kontakte gegenüber. An jedem Kontakt endet ein elektrischer Leiter, ein Draht. Beim Einschalten werden die Kontakte durch Federspannung aufeinandergedrückt, so daß die beiden Leitungsdrähte verbunden sind und der Strom fließen kann. Beim Ausschalten werden sie wieder voneinander getrennt und damit der Stromfluß unterbrochen. Vom Schalter führt die Leitung zur Einschraubfassung der Leuchte. Von hier aus wird der Strom über die beiden Kontakte des Glühlampensockels dem Glühfaden zugeführt.

Eine wichtige Kleinigkeit im Innern des Glaskolbens wollen wir nicht übersehen: das Glasröhrchen, das in den Kolben ragt. Durch dieses Röhrchen wird im Glühlampenwerk die Luft aus dem Kolben gesaugt. Denn Luft enthält das Gas Sauerstoff. Es fördert die Verbrennung. Der Glühfaden soll aber nicht verbrennen. In alle Glühlampen von 40 W (Watt) an aufwärts wird deshalb anstelle der Luft ein Gas, zum Beispiel Stickstoff, eingefüllt, das keine Verbrennung ermöglicht. Weil es den Glühdraht vor dem Verbrennen schützt, nennt man es Schutzgas. Glühlampen von weniger als 40 W haben einen luftleeren Raum, ein Vakuum.

Warum geht aber trotzdem jede Glühlampe nach einer gewissen Zeit kaputt? Einige Teilchen des Fadens geraten beim Stromdurchfluß in so heftige Schwingungen, daß sie sich von der Oberfläche des Drahtes losreißen und in den umgebenden Raum geschleudert werden. Sie wandern jetzt durch das Vakuum oder das Schutzgas, bis sie sich an der Innenwand des Glaskolbens niederschlagen. Bei jeder gebrauchten Lampe sehen wir deshalb auf dem Glas einen

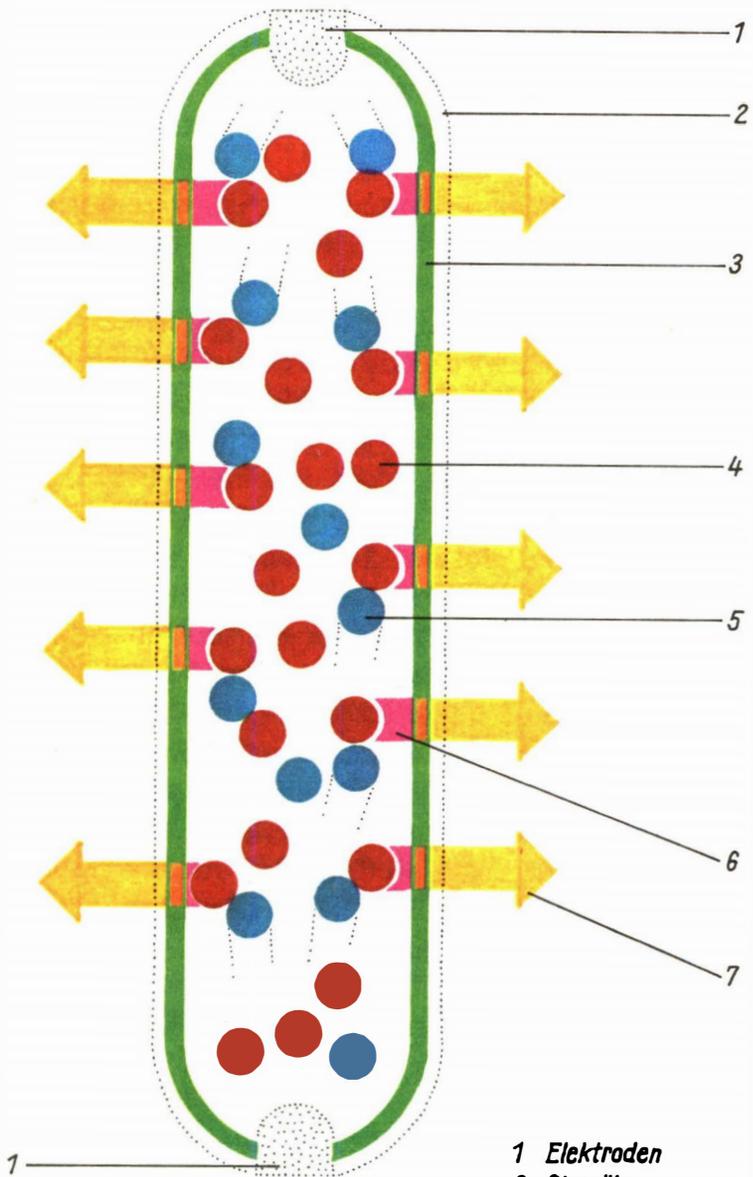
schwärzlichen Belag. Er besteht aus den Wolframteilchen, die vom Glühfaden abgedampft sind. Durch den Verlust an Teilchen wird der Faden dünner. Folglich erhitzt er sich stärker, wodurch noch mehr Teilchen verdampfen und er noch dünner wird. An irgendeiner Stelle, an der zufällig besonders viele Teilchen abgedampft sind, wird er schließlich einmal so dünn, daß er sich bis auf die Schmelztemperatur erhitzt und durchschmilzt. Jetzt geht die Lampe aus, denn der Stromfluß ist unterbrochen.

Licht auf kaltem Wege

Wollen wir mit Glühlampen unsere Wohnung heizen? Selbstverständlich nicht. Dennoch: Sie wandeln nur 2 bis 4 Prozent der elektrischen Energie in Licht und den großen Rest in Wärme um. Die Glühlampen sind deshalb eigentlich recht stromaufwendige Lichtquellen, und um mit ihnen im Winter die Räume zu heizen, dazu reicht ihre Wärme wiederum nicht aus. Wissenschaftler haben deshalb Lampen konstruiert, die einen größeren Teil der elektrischen Energie in Licht umwandeln und daher mit weniger Strom gleich helles oder sogar noch helleres Licht erzeugen als Glühlampen: die Leuchtstofflampen. Sie erzeugen Licht „auf kaltem Wege“. Ihre Funktion ist allerdings viel komplizierter als die der Glühlampe.

Die Leuchtstofflampe hat meistens die Form einer langen Glasröhre. Ihre Innenwand ist mit einem Stoff beschichtet, der – wenn die Lampe ausgeschaltet ist – milchigweiß aussieht. Man nennt ihn Leuchtstoff, denn er sendet Licht aus. Durch ihn fließt dabei aber kein Strom, doch sind ebenfalls Elektronen im Spiele, wenn der Leuchtstoff zum Aussenden von Licht angeregt wird. An beiden Enden der Röhre befinden sich zwei Leiterbleche. Aus ihnen werden ständig Elektronen „herausgeschlagen“. Sie bewegen sich mit großer Geschwindigkeit durch die Röhre und prallen dabei auf den Leuchtstoff. Außerdem ist die Glasröhre, der die Luft entzogen wurde, mit Quecksilberdampf gefüllt. Obwohl wir sie nicht sehen können, befinden sich in ihr also unzählig viele Quecksilberteilchen. Auch auf diese treffen die von den Leiterblechen ausgesandten Elektronen. Jedesmal, wenn ein Elektron auf ein Quecksilberteilchen prallt, sendet dieses Licht aus.

Dieses Licht können wir jedoch nicht sehen. Man nennt es Ultraviolett oder kurz UV. Für das menschliche Auge ist es nicht nur unsichtbar, sondern auch schädlich. Manche Tiere, zum Beispiel Bienen, können es sehen. Das von den Quecksilberteilchen aus-



- 1 Elektroden
- 2 Glasröhre
- 3 Leuchtstoffschicht
- 4 Quecksilberdampf-Teilchen
- 5 auftreffende Elektronen
- 6 ultraviolettes Licht
- 7 sichtbares Licht

gesandte UV-Licht trifft auf den Leuchtstoff an der Innenwand der Röhre. Dieser hat die äußerst nützliche Eigenschaft, sichtbares Licht auszusenden, wenn er von den unsichtbaren UV-Strahlen getroffen wird. Er wandelt also das UV in sichtbares, unschädliches Licht um. Auch der Aufprall von Elektronen auf den Leuchtstoff bewirkt, daß dieser Licht aussendet.

Wenn die Leuchtstofflampe vorteilhafter ist, warum verwenden wir dann überhaupt noch Glühlampen? Da die Leuchtstofflampe einen komplizierten Aufbau hat und Hilfseinrichtungen erfordert, die für eine Glühlampe nicht nötig sind, ist sie wesentlich teurer. Unter bestimmten Bedingungen wird der höhere Anschaffungspreis aber mehr als aufgewogen, weil die Lampe weniger Strom verbraucht und eine längere Lebensdauer erreichen kann. Sie wird die volle Lebensdauer allerdings nicht erreichen, wenn man sie – bezogen auf die Betriebsdauer – sehr häufig ein- und ausschaltet. Das ist ihr nämlich abträglich. Überall dort, wo eine Beleuchtung stundenlang ohne Unterbrechung benötigt wird, bringt die Leuchtstofflampe Vorteile: beispielsweise in Büros und Produktionshallen, auch im Wohnzimmer der Familie. Im Badezimmer oder auf der Toilette wird dagegen Licht immer nur kurze Zeit benötigt. Hier die Lampen eingeschaltet zu lassen, nur um sie zu schonen, wäre unverträglich, denn wir wollen mit Energie unbedingt sehr sparsam umgehen. Elektrischer Strom ist eine Form der Energie. Es würde uns auch geldlich keinen Vorteil bringen, weil wir den unnötig verbrauchten Strom ja ebenfalls bezahlen müßten. Folglich sind Glühlampen für manche Zwecke nach wie vor günstiger.

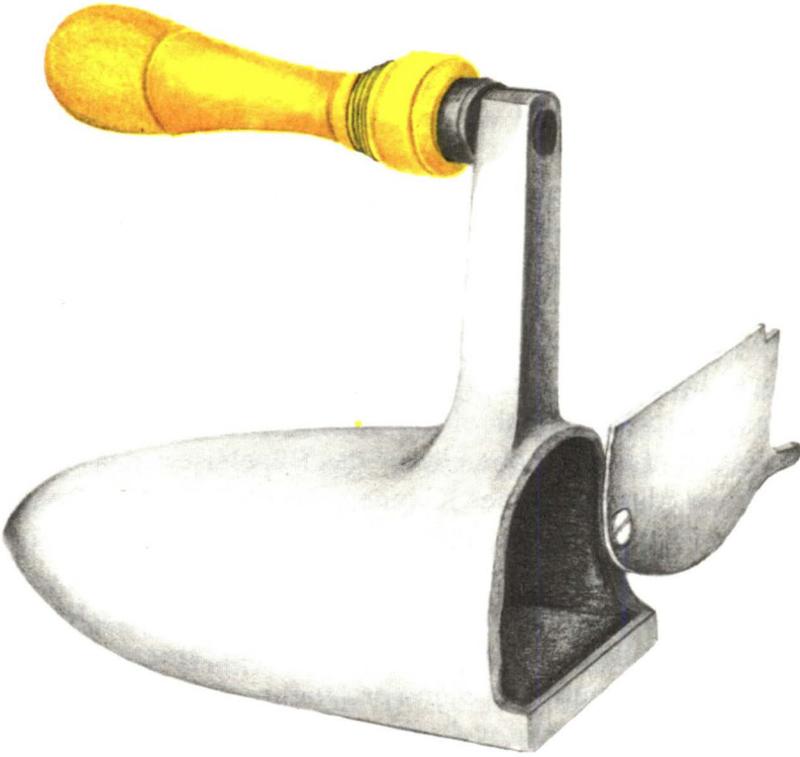
Wie sich das Bügeleisen selbst regelt

Wenn unsere Urgroßmütter plätteten, ging das nicht so einfach vonstatten wie heute. Sie benutzten noch Bügeleisen, die mit glühenden Eisenbolzen beschickt wurden. Im Küchenherd hatten sie ein tüchtiges Feuer entfacht, in dem die Bolzen lagen, bis sie rotglühend waren. Dann steckten sie das gebogene Ende eines langen „Feuerhakens“ durch das Loch eines glühenden Bolzens, angelten ihn so aus dem Feuer und schoben ihn in das Bügeleisen, das sie nun am hinteren Ende mit Hilfe einer Klappe verschlossen. Der Bolzen heizte das ganze Plätteisen auf. Jetzt konnte das Bügeln beginnen.

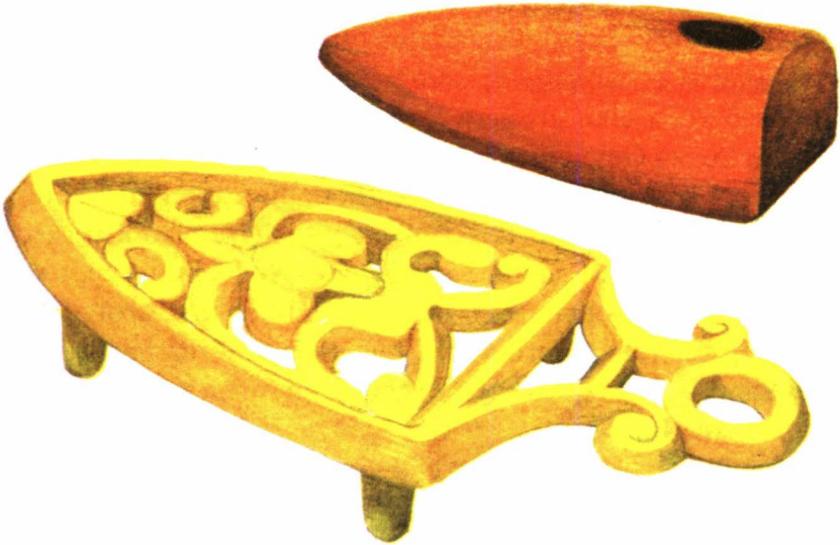
Freilich blieb der Bolzen nicht lange glühendheiß; er kühlte ab. Dann öffnete die Büglerin die Klappe des Plätteisens, ließ den Bolzen in die Kohlenglut fallen und angelte statt seiner einen anderen, glühenden heraus. Sie mußte also immer „mehrere Eisen im Feuer haben“, wollte sie ohne Pause weiterbügeln.

Keine Hausfrau wird diesem alten Plätteisen nachtrauern; mit ihm zu arbeiten hatte nämlich seine Tücken. Es war sehr schwer. Man mußte viel Kraft aufwenden, um es über die Wäsche zu bewegen. Warum mußte es so schwer sein? Erstens speichert eine größere Eisenmasse auch eine größere Wärmemenge. Zweitens drückte es durch sein hohes Gewicht stärker auf die Wäsche. Sollte sie nämlich glatt werden, so hatte man um so stärker aufzudrücken, je mehr das Plätteisen abkühlte. Und das Bolzen-Bügeleisen kühlte rasch ab. Damit die Druckkraft nicht *nur* mit den Muskeln erzeugt werden mußte, baute man schwere Plätteisen. Es blieb aber trotzdem noch so viel Muskelkraft erforderlich, wie man sie nur im Stehen aufbringen kann. Mit einem modernen, leichten Eisen kann man dagegen auch im Sitzen bügeln.

War das Plätteisen mit einem glühenden Bolzen frisch geladen, so bestand ein anderes Problem: die Wäsche nicht zu versengen. Das elektrische Regler-Bügeleisen wird ständig auf ungefähr gleicher



Bolzenbügeleisen



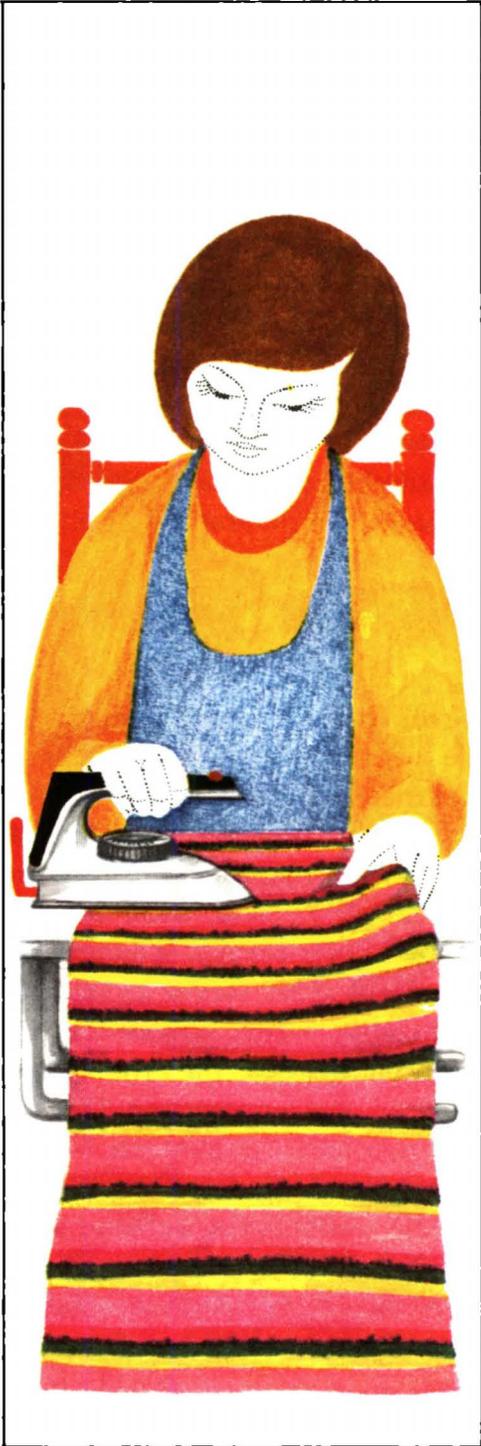
Temperatur gehalten, wobei deren Höhe der Textilart angepaßt werden kann. Und weil das Eisen stets die günstigste Temperatur hat, braucht es nicht groß und schwer zu sein und nicht stark auf die Wäsche zu drücken.

Warum ein Bügeleisen durch elektrischen Strom heiß wird, müssen wir nicht mehr erklären; wir haben es bereits im Kapitel „Das feuerlose Licht“ erfahren. Im unteren, flachen Teil des Bügeleisens, der sogenannten Sohle, befindet sich ebenfalls ein Draht oder auch ein anders geformter Leiter, der durch elektrischen Stromfluß erhitzt wird. Damit kein Strom durch die von außen berührbaren Teile fließen kann, ist der Leiter allseitig von Isolierstoff umgeben, beispielsweise von kleinen Isolierstoffringen, die wie Perlen auf den Heizdraht gereiht sind. Wie aber ist es möglich, daß stets eine bestimmte Temperatur eingehalten wird?

Warum Wärme die Körper ausdehnt

Bevor es die Regler-Bügeleisen gab, waren Plätteisen gebräuchlich, die zwar nicht mehr durch glühende Bolzen, sondern bereits durch elektrischen Strom erwärmt wurden, aber ihre Temperatur noch nicht selbst regelten. Von Zeit zu Zeit prüfte die Hausfrau deshalb mit der angefeuchteten Fingerspitze, wie heiß die Bügelsohle war. Wurde sie zu heiß, dann zog sie für eine Weile den Stecker des Gerätekabels heraus, schaltete also den Strom aus, damit das Eisen etwas abkühlte. Bevor es jedoch zu kalt wurde, mußte das Kabel rechtzeitig wieder eingesteckt und dadurch das Eisen von neuem erwärmt werden. Im Prinzip das gleiche geschieht im Regler-Bügeleisen, nur automatisch. Das Ein- und Ausschalten des Stroms zu den richtigen Zeitpunkten besorgt ein kleiner Regler, der sich im Bügeleisen befindet. Um zu verstehen, wie er funktioniert, müssen wir ein weiteres Kapitel über das Verhalten der Stoffe bei Änderung der Temperatur aufschlagen.

Wenn der Schraubverschluß oder der geschliffene Glasstopfen einer Flasche einmal so fest sitzt, daß man ihn nicht mehr öffnen kann, hält man ihn eine Weile in warmes oder heißes Wasser. Danach läßt er sich öffnen. Warum? Durch Erwärmung dehnen sich die



Körper aus, bei Abkühlung ziehen sie sich zusammen. Folglich wird auch der Schraubverschluß beziehungsweise der Flaschenhals durch Erwärmen etwas weiter. Eine Sonderstellung nimmt jedoch das Wasser ein. Es dehnt sich bei Erwärmung zwar auch aus, „schrumpft“ bei Abkühlung aber nur so lange, bis es eine Temperatur von plus 4°C erreicht hat. Bei dieser Temperatur nimmt es den geringsten Raum ein. Wird es weiter gekühlt, wie das beim Gefrieren der Fall ist, so dehnt es sich wieder aus. Füllt man eine Flasche randvoll mit Wasser und läßt es dann gefrieren, so platzt daher die Flasche.

Wenn wir uns ins Gedächtnis rufen, was wir bei unserem Ausflug in die Welt der Atome und Moleküle und ihrer ständigen Schwingungen gelernt haben, bereitet es uns kein Kopfzerbrechen mehr, die Ausdehnung der Körper infolge Erwärmung zu erklären. Da die Materieteilchen mit zunehmender Temperatur in immer stärkere Schwingungen geraten, lockert sich das ganze Gefüge ihres Aufbaus etwas auf und benötigt mehr Raum.

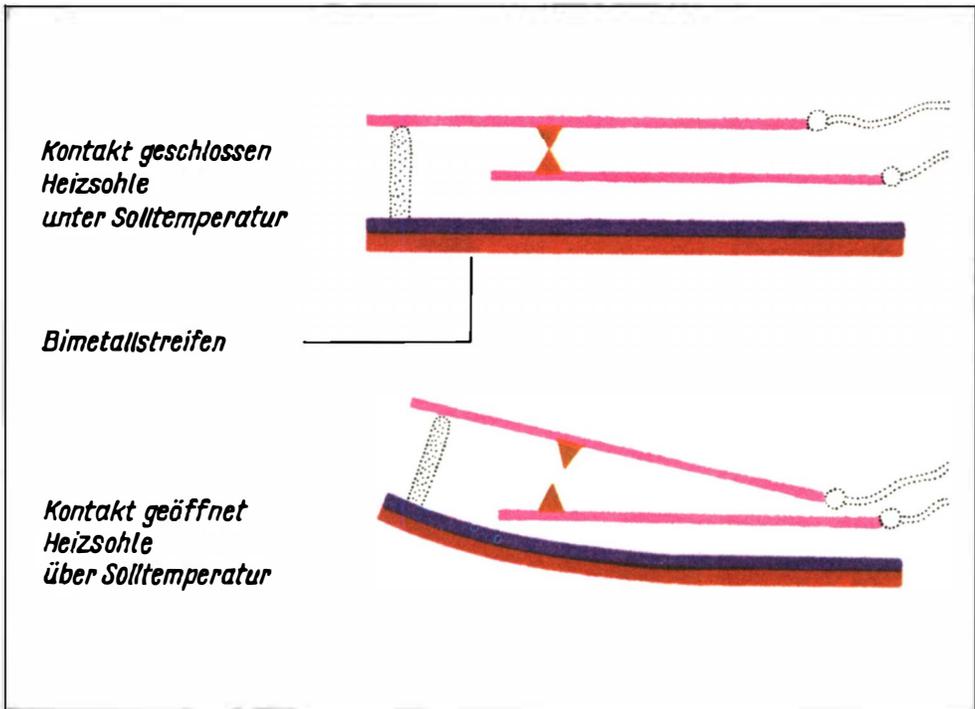
Der Grad der Ausdehnung ist bei festen und flüssigen Stoffen allerdings nicht groß; wir können ihn nur durch Messen feststellen. Ein Aluminiumrohr von 1 m (Meter) Länge dehnt sich bei Erwärmung von 0°C auf 20°C um nur 0,5 mm (Millimeter) aus. Ein Stahlrohr wird sogar um nur 0,2 mm länger. Nach dem Prinzip der Ausdehnung durch Erwärmen und der Zusammenziehung durch Abkühlen funktioniert auch das Thermometer. Daß bei ihm die Säule des flüssigen Quecksilbers oder Alkohols schon bei Temperaturänderung um 1°C ein sichtbar großes Stück in dem Röhrchen auf- oder abwärtssteigt, beruht auf einem „Trick“. Am unteren Ende mündet das Röhrchen in ein viel größeres, weiteres Gefäß, das eine relativ große Menge Quecksilber oder Alkohol enthält. Das Röhrchen selbst hat aber nur einen winzigen Innendurchmesser. Dehnt sich die Flüssigkeit aus, so hat sie nur die Möglichkeit, in das haarfeine Röhrchen auszuweichen. Weil es so sehr eng ist, steigt die Flüssigkeitssäule schon bei ganz geringfügiger Ausdehnung um eine sichtbar große Strecke.

Der einfachste Automat

Für die Funktion des Reglers im Bügeleisen ist eine andere bereits erwähnte Tatsache wichtig: Verschiedene Arten von Stoffen dehnen sich bei Erwärmung unterschiedlich stark aus, Aluminium beispielsweise mehr als Stahl. Der Regler enthält zwei Streifen verschiedener Metalle, die einen sehr unterschiedlichen Wärmeausdehnungsgrad haben. Beide Streifen sind fest miteinander verbunden. Man nennt eine solche Vorrichtung Bimetallstreifen. Zusammen mit dem Bügeleisen wird der Bimetallstreifen erwärmt oder abgekühlt. Was passiert dabei?

Der Streifen aus dem Metall mit dem stärksten Ausdehnungsgrad ist bestrebt, sich mehr auszudehnen als der andere, kann es aber nicht, weil er an den anderen „gefesselt“ ist. Nun gibt es eine Möglichkeit, sich dabei trotzdem auszudehnen: Der Streifen krümmt sich. Dadurch wird er länger. (Eine gekrümmte Verbindungslinie zwischen zwei Punkten ist stets länger als eine gerade. Das können wir durch Nachzeichnen leicht prüfen.) Das zweite Metall muß sich dabei mitkrümmen, weil es fest mit dem anderen verbunden ist. Es ist aber weniger lang als das erste, weil es auf der Innenseite der Krümmung liegt. War der Bimetallstreifen im kalten Zustand gerade, so wird er sich mit fortschreitender Erwärmung also immer stärker krümmen.

An dem einen Ende des Bimetallstreifens befindet sich ein zuckerhutförmiges Stück Isolierstoff. Wenn sich der Streifen infolge Erwärmung krümmt, drückt das Isolierstück gegen eine Blattfeder, die eine Kontaktspitze trägt. Diese berührt, wenn das Eisen beheizt wird, eine zweite Kontaktspitze. Die Vorrichtung ist also ein Schalter, der über zwei Kontakte den Stromkreis schließt, den Strom einschaltet. Krümmt sich jedoch der Bimetallstreifen, dann wird die obere Blattfeder durch das Isolierstück nach oben gedrückt. Dabei hebt die Kontaktspitze der Blattfeder von der zweiten Kontaktspitze ab. Damit ist die Verbindung unterbrochen, der Strom ausgeschaltet. Bei Abkühlung wird der Bimetallstreifen wieder gerade. Das Isolierstück hebt jetzt nicht mehr die Blattfeder. Deshalb drückt die Federspannung die Kontaktspitze wieder auf die untere. Damit ist der Strom erneut eingeschaltet.



Man kann sogar einstellen, bei welcher Temperatur der Strom ausgeschaltet werden soll. Zu diesem Zweck wird beispielsweise mittels einer Schraube die Spannung der Blattfeder verändert. Das erfolgt beim Regler-Bügeleisen durch Drehen an einer Scheibe. Auf ihr sind der Einfachheit halber die Temperaturen nicht in Grad Celsius angegeben, es sind vielmehr die verschiedenen Textilarten verzeichnet, für welche die betreffende Temperatur am günstigsten ist: Leinen, Baumwolle, Wolle, Kunstseide, Dederon. Ob der Strom gerade ein- oder ausgeschaltet ist, zeigt eine kleine rote Lampe an; sie geht deshalb beim Bügeln häufig an und aus.

Saubermachen mit künstlichem Wind

Es macht Spaß, dem Spiel des Windes zuzusehen, wenn er im Herbst die gelben Blätter durch die Luft wirbelt. Manchmal läßt er sie richtig im Kreise tanzen. Ist es jedoch windstill, dann liegen sie reglos am Boden.

Anders, wenn ein scharfer Wind bläst. Dann werden die Blätter weit fortgetragen, bevor sie auf dem Boden landen, und Sandkörnchen wehen uns ins Gesicht.

Wind kann leichte Dinge wie Blätter, Papierfetzen, Sandkörnchen und ähnliches in Bewegung setzen. Sehr starker Wind, den man Orkan nennt, ist sogar imstande, schwere Gegenstände durch die Luft zu wirbeln, Bäume umzuknicken, Dächer abzudecken und Mauern einzudrücken. Zum Glück kommen Orkane bei uns nur selten vor. Aber in tropischen Ländern toben sie häufiger. Dabei werden manchmal sogar Menschen durch die Luft geschleudert. Wie ist das möglich?

Ein Sack voll Luft – kaum zu tragen

Was wir Wind nennen, ist eine Bewegung der Luft. Die Luft aber ist, obwohl wir sie nicht sehen können, kein bloßes Nichts, sondern ein Stoff wie Wasser oder Eisen. Auch Luft besteht also aus sehr vielen einzelnen Teilchen, Atomen und Molekülen. In der Luft sind die Teilchen aber nicht gerüstartig starr zusammengehalten, wie es bei den festen Körpern der Fall ist. In ihr und in allen anderen Gasen bewegen sich die Teilchen vielmehr frei im Raum wie Mücken in einem Schwarm.

Gase enthalten zwar weniger Teilchen in einer gleichen Volumeneinheit (Raumeinheit) als feste und flüssige Stoffe, dennoch sind es sehr, sehr viele: 1 cm^3 (Kubikzentimeter) Luft enthält zum

Beispiel bei normaler Temperatur und normalem Druck, wie er in Erdbodennähe herrscht,

26 850 000 000 000 000 000 Moleküle.

Zum Vergleich: 1 cm³ Wasser enthält

33 460 000 000 000 000 000 000 Moleküle.

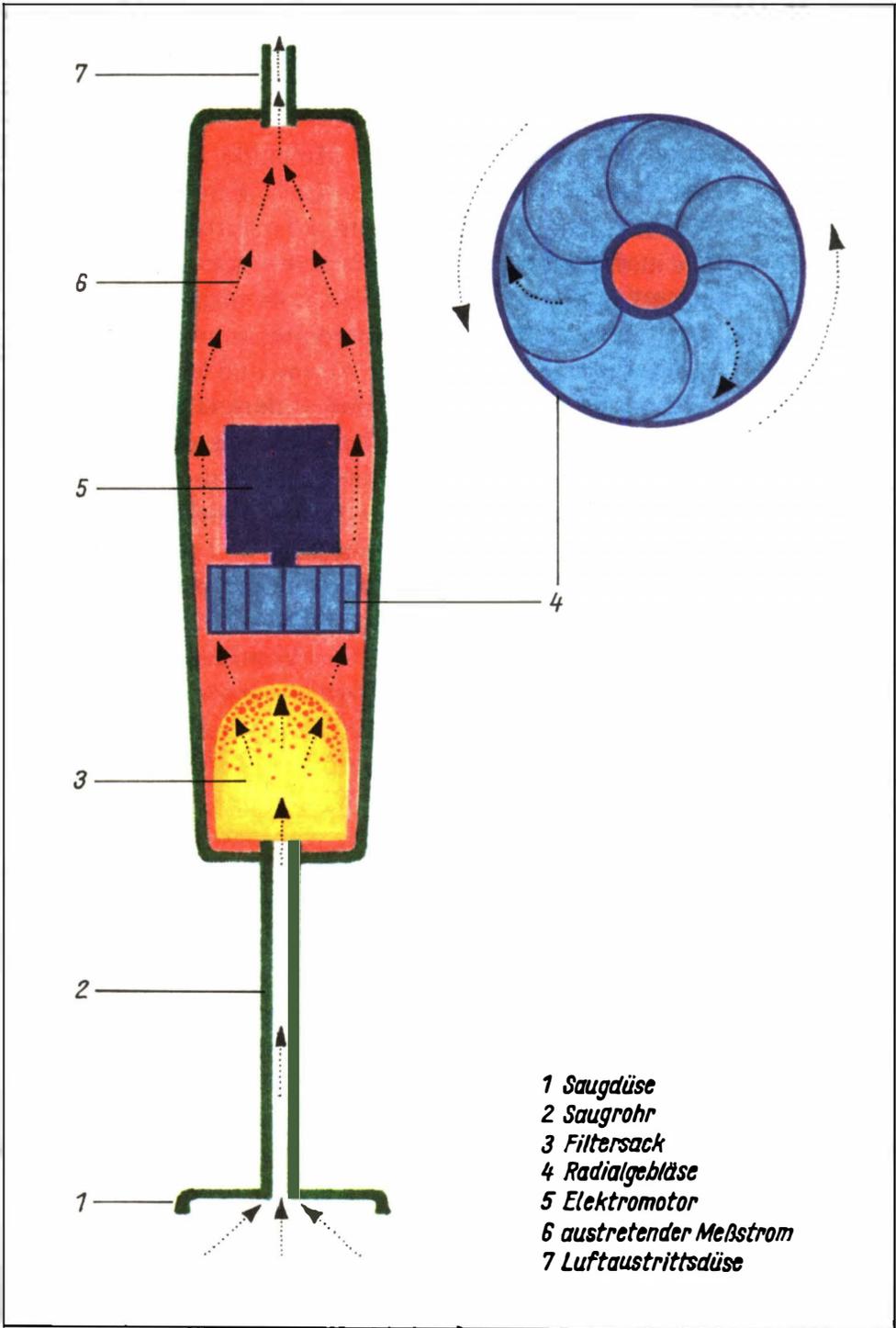
Das sind etwa 1246mal mehr als in der Luft. Könnte man die gesamte Luft, die in einem Zimmer von 4 m × 5 m Grundfläche und 3 m (Meter) Höhe enthalten ist, in einem Sack zusammenpressen, so hätte selbst ein starker Mann Mühe, den Sack zu tragen. Denn die darin eingepackte Luft wäre 77,5 kg (Kilogramm) schwer.

Dieser neuerliche Ausflug ins Reich der Atome und Moleküle hilft uns verstehen, warum der Wind Blätter und andere leichte Gegenstände in Bewegung setzen kann. Die Luftteilchen drücken und stoßen bei ihrer Bewegung auf alle Gegenstände, die ihnen im Wege sind. Wenn diese nicht zu schwer sind, werden sie dabei mitgerissen, so wie ein Stück Holz vom strömenden Wasser.

Der Staubsauger enthält eine Vorrichtung, mit der man künstlich Wind, eine Luftströmung erzeugen kann. Diesen Teil des Staubsaugers nennt man Ventilator oder Lüfter. Ventilatoren werden außer zum Staubsaugen auch für andere Zwecke verwendet. In manche Küchenfenster sind sie eingebaut. Sie erzeugen eine Luftströmung, mit der die Küchendünste ins Freie befördert werden. Der Ventilator enthält ein Flügelrad, das dem einer Windmühle ähnelt, wie sie kleine Kinder zum Spielen benutzen. Aber während das Flügelrad der Windmühle vom Wind in Drehung versetzt wird, treibt im Ventilator ein Elektromotor das Flügelrad an. Dabei schleudern die Flügel Luftteilchen nach einer Seite weg. In den Raum, aus dem die Luftteilchen weg befördert wurden, strömen von der anderen Seite sofort andere Luftteilchen nach. Auf diese Weise entsteht eine gerichtete Luftströmung: alle Luftteilchen bewegen sich in eine Richtung.

Im Strom der Luft

Eine solche künstliche Luftströmung können wir beim Saubermachen nutzen. Damit die Luftströmung genau an der Stelle erzeugt wird, an der wir sie brauchen, um beispielsweise Staub aus einer



Ritze zu saugen, ist am Gehäuse des Staubsaugers ein Rohr oder ein biegsamer Schlauch befestigt, an dessen Ende eine Düse sitzt. In scharfem Strahl wird die Luft in die Düse gesaugt; dabei werden die Staubteilchen mitgerissen. Diese Luftströmung entlang des Rohrs erzeugt der Ventilator. Wenn seine Flügel die Luftteilchen von einer Stelle hinwegschleudern, rücken sofort Luftteilchen nach, die sich im Rohr befinden. An ihre Stelle strömen wiederum Teilchen, die sich zuvor im Raum vor der Düse befanden. Es bildet sich nämlich niemals ein leerer Raum, in dem überhaupt keine Luftteilchen mehr vorhanden sind. Vielmehr ist die Luft stets bestrebt, jeden Raum sofort auszufüllen. Das gilt nicht nur für die Luft und alle anderen Gase, sondern auch für Flüssigkeiten. Der Ventilator hat mithin eine ganz ähnliche Wirkung wie eine Pumpe. Der Unterschied besteht darin, daß die Pumpe die Luft meist schubweise, der Ventilator sie aber gleichmäßig ansaugt.

Die in der angesaugten, strömenden Luft mitgerissenen Schmutzteilchen gelangen durch das Rohr oder den Schlauch in das Staubsaugergehäuse. Dort prallen sie gegen ein Filter und bleiben darin hängen. Die Luftteilchen gehen, weil sie außerordentlich klein sind, durch das Filter wie Wasser durch ein Sieb. Hat sich nach einiger Zeit zu viel Schmutz auf dem Filter abgesetzt, können auch die Luftteilchen nicht mehr ungehindert hindurch. Der Staubsauger „zieht“ nicht mehr, das heißt, der Ventilator kann keine hinreichend starke Luftströmung mehr erzeugen. Dann muß das Filter gereinigt oder ganz ausgewechselt werden.

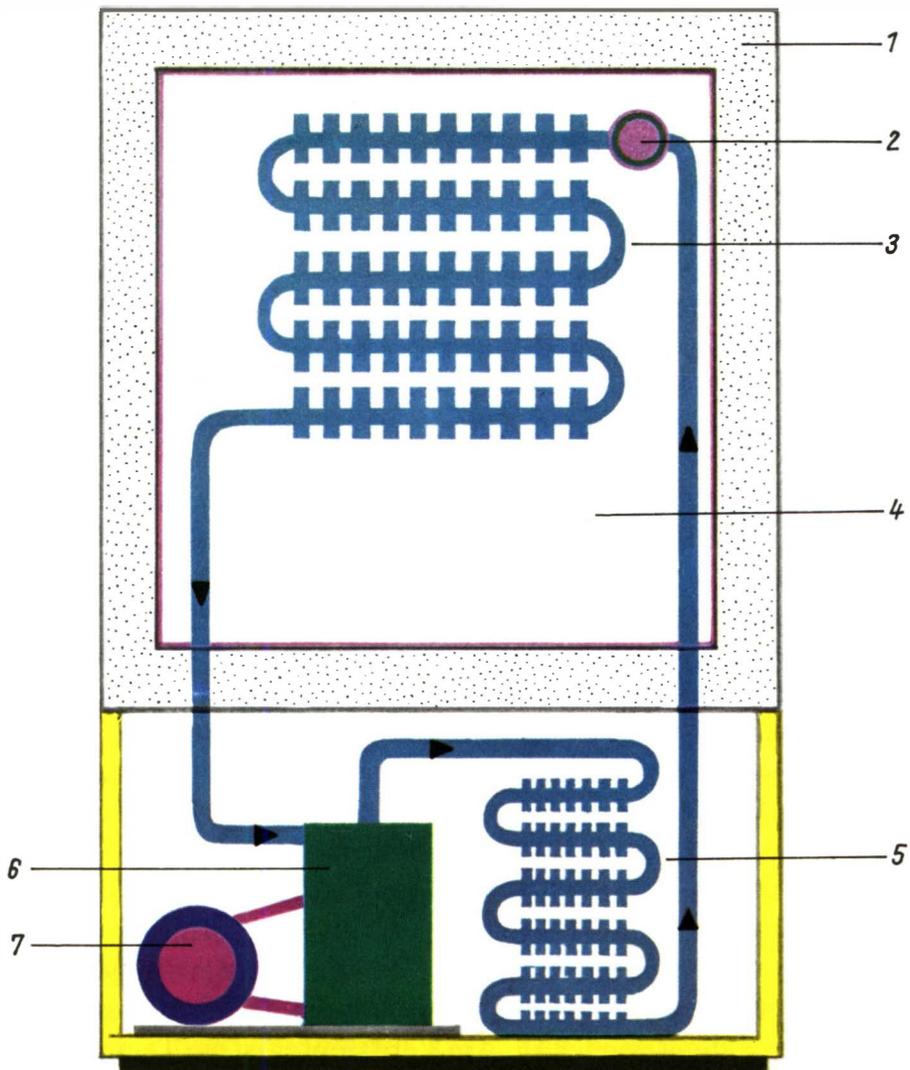
Kälte durch Wärme

Kann man sich beim Anfassen des Kühlschranks die Finger verbrennen? Vorsicht! Bevor wir darauf mit „Nein!“ antworten, wollen wir uns lieber erst einmal anschauen, wie ein Kühlschrank funktioniert. Dazu müssen wir uns – so seltsam das klingen mag – zunächst mit dem Wasserkochen beschäftigen. Wenn wir kaltes Wasser im Topf oder Teekessel auf die Flamme des Gasherds stellen, wird es allmählich auf 100 °C erwärmt. Dann aber steigt die Temperatur nicht mehr. Wo bleibt die Wärme, die die Flamme dem Wasser weiter zuführt?

Sie wird dafür verbraucht, das 100 °C heiße Wasser zu verdampfen. Dabei wird das Wasser aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand überführt, in Wasserdampf. Dieser ist ein Gas wie die Luft und wie diese unsichtbar. Wolken, Nebel und Wrasen sind also *kein* Wasserdampf; sie bestehen aus sehr vielen winzigen schwebenden Wassertröpfchen.

Um Kaffee oder Tee zu brühen, brauchen wir das Wasser nicht zu verdampfen, sondern nur auf 100 °C zu erhitzen. Müßten wir jedoch die gesamte Wassermenge in Wasserdampf verwandeln, so wäre unsere Gasrechnung siebenmal höher. Um 1 Liter Wasser zu verdampfen, brauchen wir nämlich eine fast siebenmal größere Wärmemenge, als dafür erforderlich ist, diesen Liter Wasser von Zimmertemperatur auf 100 °C zu erwärmen. Halten wir fest: Beim Verdampfen einer Flüssigkeit wird eine große Wärmemenge verbraucht! Man nennt sie die Verdampfungswärme.

Auf diesem Umstand beruht die Funktion des Kühlschranks. In ihm wird eine Flüssigkeit verdampft und folglich viel Wärme verbraucht. Diese Wärme stammt nicht aus einer Flamme wie beim Herd, sie wird vielmehr den Nahrungsmitteln und der Luft entzogen, die sich im Kühlschrank befinden. Dadurch kühlen sie stark ab. Nun läßt man im Kühlsystem allerdings nicht Wasser verdampfen,



- 1 *Wärmedämmstoff*
- 2 *Regulierungsventil*
- 3 *Verdampfer*
- 4 *Kühlraum*
- 5 *Kondensator*
- 6 *Kompressor*
- 7 *Motor*

sondern andere Flüssigkeiten, die dafür besser geeignet sind. Es gibt Flüssigkeiten, die schon bei sehr viel niedrigeren Temperaturen als 100°C verdampfen, zum Beispiel bei -30°C . Man nennt solche Stoffe Kältemittel.

Das Kältemittel des Kühlschranks verdampft nicht in einem offenen Gefäß, sondern in einem geschlossenen Hohlraum, dem sogenannten Verdampfer. Das ist der Kasten, der bei den meisten Kühlschränken das Tiefkühlfach umschließt. Die Wände des Fachs sind hohl. In diesen Hohlraum strömt das Kältemittel, verdampft dort und verbraucht dabei so viel Wärme, daß die im Tiefkühlfach eingelagerten Nahrungsmittel bis unter den Gefrierpunkt abkühlen. In diesem Fach kann man daher auch Eiswürfel aus Wasser bereiten. Eine Flasche voll Wasser dürften wir nicht hineinlegen; sie würde platzen.

Im Tiefkühlfach ist der Entzug von Wärme aus den eingelagerten Lebensmitteln am stärksten. In weniger hohem Grade wird auch dem gesamten übrigen Kühlraum und den darin befindlichen Nahrungsmitteln Wärme entzogen. Die Stellen im Kühlschrank, die dem Verdampfer am nächsten liegen, haben die niedrigsten Temperaturen; die von ihm am weitesten entfernten die höchsten. Da der Verdampfer im oberen Teil des Schrankes angeordnet ist, nimmt die Temperatur im Kühlschrank von unten nach oben ab. In der Luft des Zimmers ist es umgekehrt. Dort ist die Luft unter der Decke am wärmsten und über dem Fußboden am kühlgsten, weil warme Luft stets nach oben steigt. Deshalb ist im Kühlschrank der Verdampfer oben angeordnet. Die wärmere Luft steigt auch im Schrank nach oben und wird dort durch den Wärmeentzug erneut abgekühlt.

Ist das Kältemittel verdampft, so läßt die Kühlwirkung nach. Die Temperatur steigt wieder an. Am Verdampfer ist ein Temperaturfühler befestigt. Das ist eine Art Thermometer und wie dieses mit einem Stoff gefüllt, der sich bei Erwärmung ausdehnt und bei Abkühlung zusammenzieht. Der Fühler zeigt die Temperaturgrade aber nicht auf einer ablesbaren Skale an, er betätigt statt dessen einen elektrischen Schalter, ähnlich wie der Bimetallstreifen im Regler-Bügeleisen. Wenn eine bestimmte Temperatur überschritten wird, schaltet der Fühler über einen Hebelmechanismus einen Elektromotor ein, der eine Pumpe antreibt.

Diese Pumpe saugt das verdampfte Kältemittel aus dem Verdampfer und setzt es unter hohem Druck. Dabei verflüssigt es sich wieder, so daß es erneut verdampfen und dabei Wärme verbrauchen kann. Ob ein Stoff gasförmig oder flüssig ist, hängt nämlich nicht nur von seiner Temperatur, sondern auch von dem Druck ab, unter dem er steht. Je höher der Druck, desto höher liegt die Temperatur, von der ab eine Flüssigkeit verdampft. Daraus folgt: Einen gasförmigen Stoff kann man verflüssigen, indem man ihn unter entsprechend hohem Druck setzt. Auf diese Weise wird auch das verdampfte Kältemittel im Kühlschrank wieder verflüssigt. Es befinden sich dann weit mehr Stoffteilchen in einer bestimmten Raumeinheit. (Wir erinnern uns des Vergleichs auf Seite 27, der die Anzahl von Molekülen gegenüberstellt, die in 1 cm^3 Luft beziehungsweise in 1 cm^3 Wasser enthalten sind!)

Da die Pumpe des Kühlschranks die Teilchen des Kältemittels durch den Druck wieder verdichtet, auf einen kleinen Raum zusammendrängt, nennt man sie Verdichter oder Kompressor. Er sorgt für ein ständiges Wechselspiel zwischen Verdampfen und Verflüssigen des Kältemittels. Soll das verflüssigte Kältemittel von neuem verdampfen, so braucht man nur den Druck zu mindern. Das erfolgt mit Hilfe eines Regulierventils. Ein Ventil ist eine Vorrichtung, durch die eine Flüssigkeit oder ein Gas nur in eine Richtung strömen kann.

Beim Verdampfen wird Wärme *verbraucht*, bei der Wiederverflüssigung wird – umgekehrt – Wärme vom Kältemittel *abgegeben*. Man nennt die Verflüssigung auch Kondensation und die dabei frei werdende Wärme Kondensationswärme. Diese darf freilich nicht in den Kühlraum des Schrankes gelangen, und damit kommen wir auf die Ausgangsfrage zurück, ob man sich beim Anfassen des Kühlschranks die Finger verbrennen kann. Die Kondensationswärme wird nämlich über Teile, die sich außen an der Rückwand des Schrankes befinden, an die Luft des Raumes abgegeben. Diese Teile erwärmen sich dabei ziemlich stark, und daher ist es gar nicht ausgeschlossen, daß man sich am Kühlschrank auch verbrennen kann.

Damit die Kondensationswärme gut an die Luft abgeleitet wird, darf der Kühlschrank nicht zu dicht an der Wand stehen. Das kleine Gitter, das von der Rückseite des Schrankes absteht, sorgt zwangsläufig für einen genügend großen Abstand. Die erwärmte Luft muß

auch nach oben entweichen können. Deshalb soll man nichts auf das Gitter stellen, weil sonst am Gerät ein Wärmestau entstünde.

Kleine Kühlschränke baut man oftmals auch ohne Kompressor und Elektromotor. Sie funktionieren aber nach einem ganz ähnlichen Prinzip, nur erfolgt das Wechselspiel von Verdampfen und Kondensation des Kältemittels auf andere Weise.

Warum bewegen sich die Bilder im Kino?

Als ich noch ganz klein war und einmal ins Kino mitgenommen wurde, dachte ich, daß sich die Schauspieler hinter der Bühne befinden oder hinter den Zuschauern in einem besonderen Raum, von dem aus die Bilder auf die Wand vor uns gespielt würden. Als uns wenig später eine Tante besuchte und erzählte, daß sie zur selben Zeit in einem anderen Kino der Stadt den gleichen Film gesehen hatte, war ich erstaunt. Ich fragte, wie es denn möglich sei, daß die Schauspieler zur selben Zeit in zwei verschiedenen Kinos spielen könnten. Die Erwachsenen lachten. Sie erklärten mir, daß die Schauspieler im Kino gar nicht selbst anwesend sind. Vielmehr würden nur Bilder von ihnen und von dem, was sie umgibt, gezeigt.

Bilder finden wir auch in Büchern oder an der Wand, doch keines von ihnen bewegt sich. Wie ist es möglich, daß sich die Bilder an der Leinwand des Kinos bewegen? – Eine einleuchtende Antwort darauf fand ich erst sehr viel später durch einen ganz einfachen Versuch, den jeder sofort selbst ausführen kann. Wir halten unseren Zeigefinger ungefähr 20 cm entfernt senkrecht vor unsere Nase. Dann schließen wir abwechselnd das linke und das rechte Auge. Dabei passiert etwas sehr Merkwürdiges: Wir sehen, wie sich der Finger hin- und herbewegt, obwohl wir ihn ganz stillhalten. Warum sehen wir trotzdem eine – vorgetäuschte – Bewegung?

Unsere beiden Augen haben einen kleinen seitlichen Abstand voneinander. Daher blicken wir mit dem linken Auge von einem etwas anderen Punkt aus als mit dem rechten: Jedes Auge sieht die Dinge unter einem anderen Blickwinkel. Im Blickfeld des linken Auges befindet sich der Finger rechts, im Blickfeld des rechten Auges links. Beim schnell wechselnden Schließen je eines Auges sehen wir daher den Finger an zwei unterschiedlichen Orten des Blickfeldes. Das Verblüffende ist nun, daß wir den Finger nicht etwa nur einmal hier und einmal dort erblicken, sondern wir ganz deutlich

sehen, wie er sich zwischen diesen beiden Orten hin- und herbewegt.

Freilich ist das nur eine Täuschung. Aber wie gut, daß sich unsere Augen so täuschen lassen! Sonst wären weder Kino noch Fernsehen möglich.

Das Gehirn spielt mit

Die Täuschung entsteht durch die Weiterverarbeitung der von den Augen aufgenommenen Lichtreize im Gehirn. Es verfährt dabei nach einer Regel, die man so beschreiben kann: Erblicken wir einen unbewegten Gegenstand kurz hintereinander an zwei verschiedenen Orten, dann sehen wir eine Bewegung dieses Gegenstands von dem einen zum anderen Ort. Um die Täuschung zu erzeugen, ist es jedoch nicht nötig, wie in unserem Versuch abwechselnd das linke und rechte Auge zu schließen. Sie kann auch auf andere Weise beim gleichzeitigen Sehen mit beiden Augen entstehen. Es kommt nur



darauf an, daß unseren Augen derselbe Gegenstand kurz hintereinander an zwei nicht zu weit voneinander entfernten Orten dargeboten wird.

Bevor es das Kino gab, führte man in Schaubuden der Jahrmärkte nach diesem Grundprinzip dem staunenden Publikum auf ganz einfache Weise bereits bewegte Bilder vor. Es wurden beispielsweise zwei Bilder von einem Schmied gezeigt. Auf dem einen Bild hielt er den Arm mit dem Hammer hoch, auf dem anderen hatte er den Hammer gerade auf den Amboß geschlagen. Nur der Arm und der Hammer befanden sich bei den beiden auf Glas gemalten Bildern an verschiedenen Orten. Die anderen Teile der Bilder waren gleich. Wurden sie mit einem Projektionsapparat schnell hintereinander abwechselnd auf dieselbe Stelle der Wand geworfen, dann sah man, wie der Schmied den Hammer auf und nieder schwang. Mit so einfachen Mitteln kann man freilich nur Bewegungen vortäuschen, die sich immer in gleicher Weise wiederholen. Um fortlaufende Bewegungen vorzuführen, müssen rasch nacheinander sehr viele Bilder projiziert werden. Im Kino zum Beispiel werden in jeder Sekunde



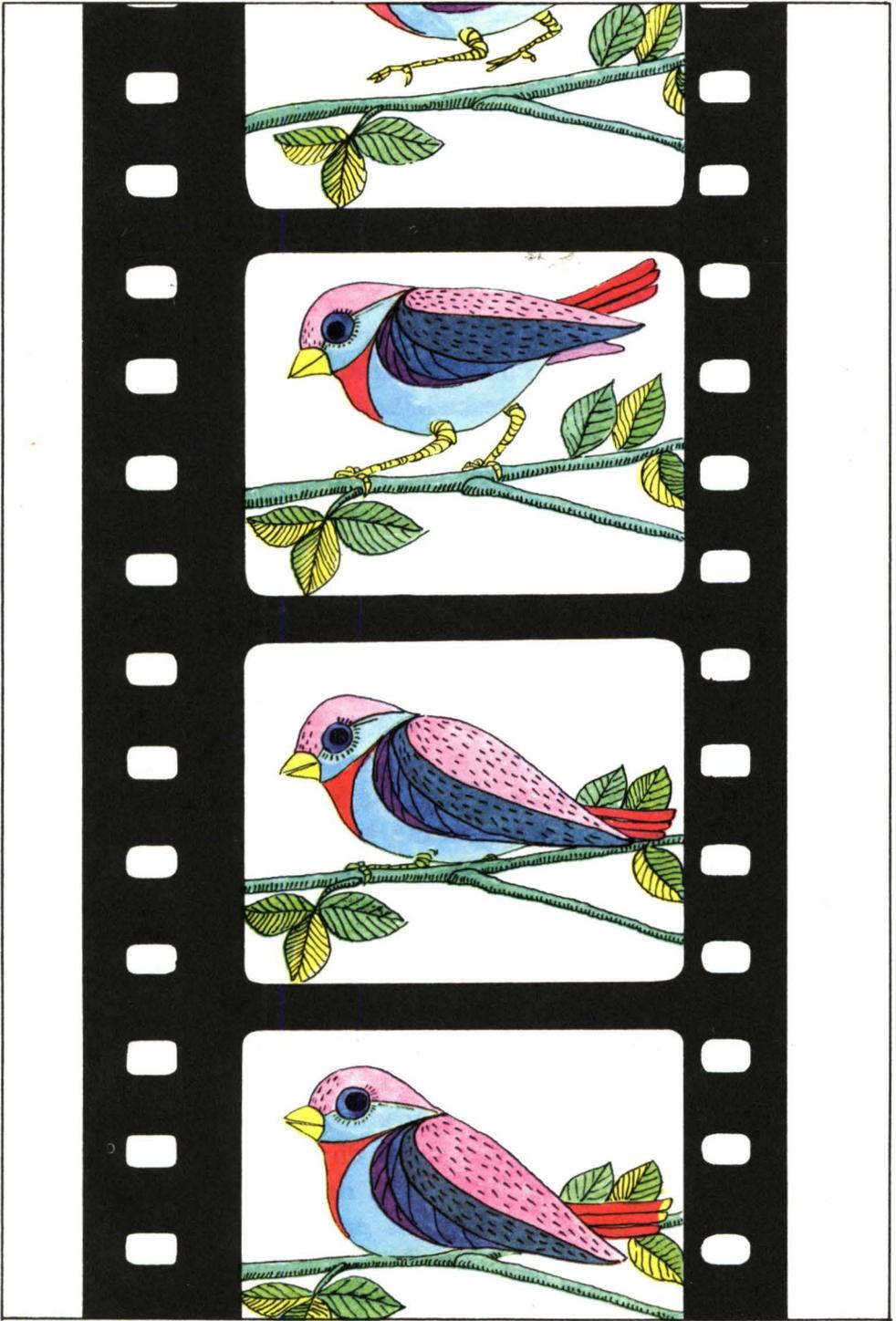
24 verschiedene stehende (unbewegte) Einzelbilder an die Wand gestrahlt. Entsprechend viele Bilder je Sekunde müssen bei der Aufnahme auch in der Filmkamera belichtet werden.

Wird gefilmt, wie ein Mann über die Straße geht, so nimmt die Kamera von ihm je Sekunde 24 – stehende – Bilder auf. Aber auf jeder Aufnahme ist der Fußgänger an einer etwas anderen Stelle der Straße abgebildet. Bei der Vorführung des Filmstreifens sehen wir ihn dann in gleichmäßigen Bewegungen von der einen zur anderen Straßenseite gehen. Wären es wesentlich weniger Bilder je Sekunde, so hätten wir nicht den Eindruck einer gleichmäßigen, sondern einer ruckweisen Bewegung.

Der Film muß jedoch ruckweise durch die Aufnahmekamera und den Vorführapparat laufen. Denn jedesmal, wenn ein neues Bild belichtet beziehungsweise vorgeführt wird, muß der Film im Apparat stillstehen. Sonst entstünden nur verwischte Licht- und Schattenspurten. Ist ein Bild in der Kamera belichtet, so schließt sich eine Blende. Jetzt kann kein Licht auf den Film gelangen. Während der Zeit, in der die Blende geschlossen ist, rückt der Film um eine Bildlänge weiter. Dann bleibt er wieder stehen, die Blende öffnet sich, und das nächste Bild wird belichtet. Danach schließt sich die Blende wieder, der Film wird um eine weitere Bildlänge transportiert, bleibt stehen, die Blende öffnet sich, das nächste Bild wird belichtet und so fort.

Da auch der Weitertransport des Films Zeit benötigt, dauert die Belichtung eines Einzelbildes nicht $1/24$ s (Sekunde), sondern nur etwa $1/48$ s. Während der nächstfolgenden $1/48$ s wird der Film transportiert. Obwohl die einzelnen Bilder eines Kino-Filmstreifens sehr klein sind – $16\text{ mm} \times 22\text{ mm}$ –, braucht man für eine anderthalb Stunden dauernde Vorführung also mehrere große Rollen: ungefähr 3000 m Film. Um den Materialverbrauch zu verbilligen, arbeiten Amateur-Filmkameras daher mit noch kleineren Bildern und mit nur 16 Aufnahmen je Sekunde.

Wie bereits erwähnt, läuft der Filmstreifen auch bei der Vorführung ruckweise durch den Projektor. Zwischen zwei Bildern liegt eine Dunkelpause. Während dieser Zeit ist wie in der Aufnahmekamera eine Blende geschlossen, und der Film wird weitertransportiert. Obwohl die Leinwand dann ganz dunkel bleibt, bemerken wir nichts



davon, weil die Dunkelpause nur sehr kurz ist. Unseren Augen erscheint es, als wäre ein ununterbrochenes Bild auf der Projektionswand.

Ein Trick beseitigt das Flimmern

Bei nur 24 projizierten Bildern je Sekunde würden wir die Dunkelpausen doch noch etwas bemerken – nicht als völliges Dunkelwerden der Bildwand, aber in Form eines störenden Flimmerns. In den Anfängen der Kinotechnik verstand man es noch nicht, dieses Flimmern zu beseitigen. Deshalb wurden die Kino-Apparate im Volksmund Flimmerkisten genannt. Heute wendet man einen Trick an, der das Flimmern beseitigt: Jedes Einzelbild wird nicht nur einmal, sondern zweimal mit einer Dunkelpause dazwischen vorgeführt. Während dieser Dunkelpause bewegt sich der Filmstreifen nicht weiter. So werden zwar nur 24 Bilder je Sekunde aufgenommen, aber $2 \cdot 24 = 48$ Bilder je Sekunde vom Projektor vorgeführt. Dadurch sind die Dunkelpausen nur noch halb so lang, so kurz, daß sie das Auge nicht mehr bemerkt, auch nicht als störendes Flimmern. Da Amateur-Schmalfilmkameras nur 16 Bilder je Sekunde aufnehmen, werden die Einzelbilder vom Projektor sogar dreimal gezeigt. Das ergibt $3 \cdot 16$, also ebenfalls 48 Bilder je Sekunde.

Warum sehen unsere Augen die kurzen Dunkelpausen nicht? Wenn Licht auf das Auge einwirkt, dann setzt es auf der Netzhaut im hinteren Teil des Auges chemische Prozesse in Gang. Über Nervenbahnen erhält das Gehirn davon „Meldung“ und verarbeitet sie zu Lichtempfindungen, zu Bildern. Sind die chemischen Prozesse erst einmal angelaufen, so können sie nicht schlagartig gestoppt werden, sondern dauern auch dann noch einen kurzen Moment an, wenn inzwischen kein Licht mehr auf die Netzhaut einwirkt. Dadurch wird die Dunkelpause überbrückt. Bevor die chemischen Prozesse abgeklungen sind, werden sie durch die Lichteinwirkungen des nächsten projizierten Bildes von neuem in Gang gesetzt. So laufen sie trotz der Dunkelpausen ununterbrochen weiter. Wir können das auch einfacher ausdrücken: Einem sehr schnellen Wechsel zwischen Licht und Dunkel kann unser Auge nicht folgen.

Übrigens wirkt sich das auch sehr vorteilhaft bei der elektrischen Beleuchtung aus. Unsere Glühlampen brennen nämlich, wenn sie mit dem gebräuchlichen Wechselstrom betrieben werden, genau genommen nicht ununterbrochen, sondern gehen in jeder Sekunde 100mal an und aus. Zumindest schwankt ihre Helligkeit 100mal in der Sekunde. Aber davon merken wir ebenfalls nichts, weil unsere Augen die kurzen Dunkelpausen überbrücken.

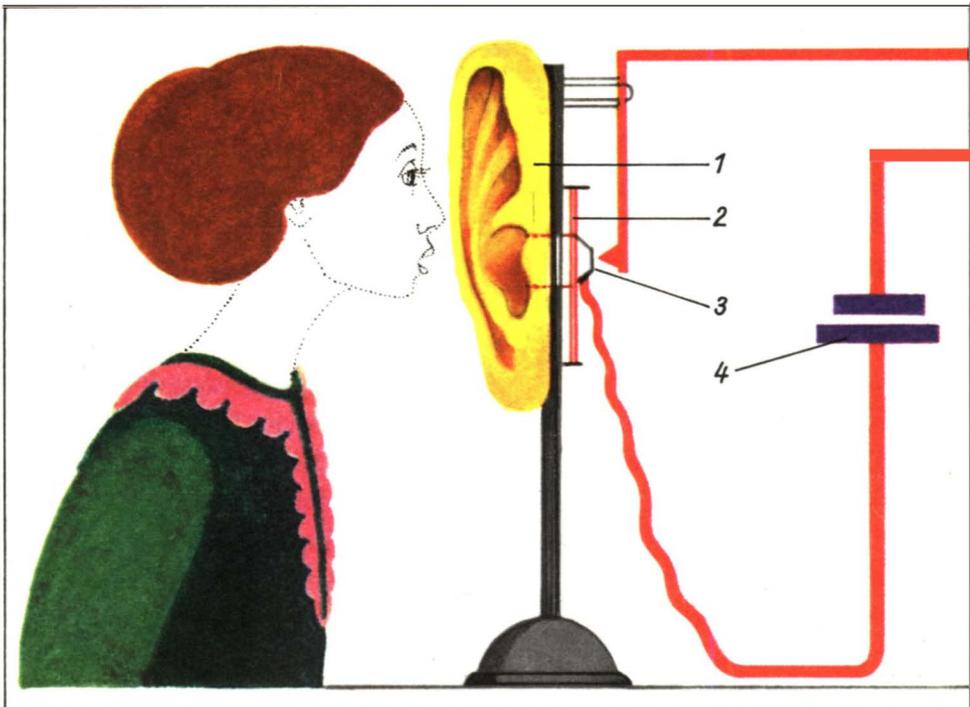
Zeitlupe und Zeitraffung

Die Kinotechnik eröffnet noch andere interessante Möglichkeiten. Viele Vorgänge in der Natur verlaufen so schnell, daß wir sie nicht genau verfolgen können. Beispielsweise schwingen Insekten ihre Flügel in der Sekunde 100mal oder noch öfter. Einzelheiten dieser Flügelbewegungen blieben uns für immer verborgen, wenn es nicht die Zeitlupen-Technik gäbe. Dabei werden je Sekunde nicht nur 24, sondern einige hundert, mit speziellen Vorrichtungen sogar einige tausend Einzelbilder aufgenommen. Führt man den Film mit normaler Bildanzahl von 24 je Sekunde vor, dann sehen wir die Flügelbewegungen ganz langsam, zeitlich gedehnt ablaufen und vermögen alle Einzelheiten zu erkennen.

Die Entfaltung einer Knospe zur Blüte erfolgt dagegen zu langsam, als daß wir sie als fortlaufende Bewegung erkennen könnten. Hier wendet man die umgekehrte Technik an. Beispielsweise wird in Abständen von 1 Minute 1 Bild aufgenommen. Wir erhalten folglich je Stunde nur 60, an einem Tag $24 \cdot 60 = 1440$ Einzelbilder. Führen wir den Film mit 24 Bildern je Sekunde vor, so wird das Geschehen eines 24-Stunden-Tages auf $1440 : 24 = 60$ Sekunden = 1 Minute zusammengerafft. Durch die Zeitraffung laufen die Bewegungen der Blütenblätter bei ihrer Entfaltung im Kinobild 1440mal schneller ab als in Wirklichkeit und können deutlich gesehen werden.

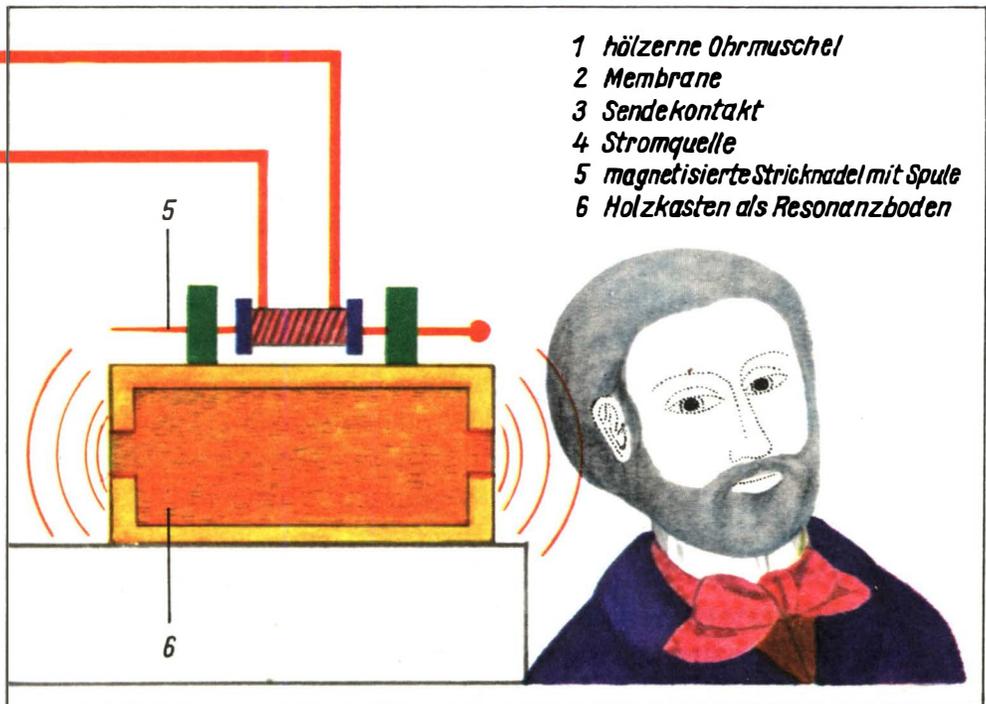
Gespräche durch den Draht

Man schrieb das Jahr 1859, als das erste Telefongespräch der Welt geführt wurde. Das geschah nicht im Forschungslabor eines Betriebes oder einer Universität, sondern im Hause des Lehrers Philipp Reis. Er war erst 25 Jahre alt, unterrichtete Mathematik, Physik und Chemie und war ein leidenschaftlicher Bastler. Zu den damals neusten Errungenschaften der Technik gehörte der Telegraf. Damit konnte man über lange Drahtleitungen Mitteilungen in Form von Morsezeichen schnell über große Entfernungen verbreiten. Reis hatte sich das Ziel gesetzt, mit Hilfe des elektrischen Stroms nicht nur Morsezeichen, sondern auch gesprochene Worte zu übertragen.



Philipp Reis baute das erste Telefon, auch Wecker, Wassermesser, einen automatischen Notenwender und – ein Dreirad, das kurioserweise nicht mit den Füßen angetrieben und mit den Händen gelenkt wurde, sondern umgekehrt. Es sah schon ein bißchen komisch aus, wenn der Herr Lehrer mit diesem Vehikel täglich von seinem Haus in der hessischen Kleinstadt Gelnhausen nach Friedrichsdorf zur Schule und wieder zurück fuhr. Deshalb bestellten ihn die Vorgesetzten der Schulbehörde eines Tages zu sich und erklärten ihm, daß es sich für einen Lehrer nicht schicke, auf einem so sonderbaren Gefährt durch die Gegend zu gondeln, statt in würdevoll gemessenem Schritt einherzustolzieren.

An dem ersten Telefon von Philipp Reis hätten wir noch weniger Ähnlichkeit mit einem heutigen Fernsprecher entdecken können als zwischen seinem Dreirad und unserem Fahrrad. Aber der Apparat funktionierte. Man mußte in eine große hölzerne Nachbildung des menschlichen Ohrs sprechen, in das Reis eine Vorrichtung eingebaut hatte: ein Häutchen aus Schweinsdünndarm, auf das mit Siegelwachs ein kleines Stück Platinblech geklebt war. Das Häutchen war so



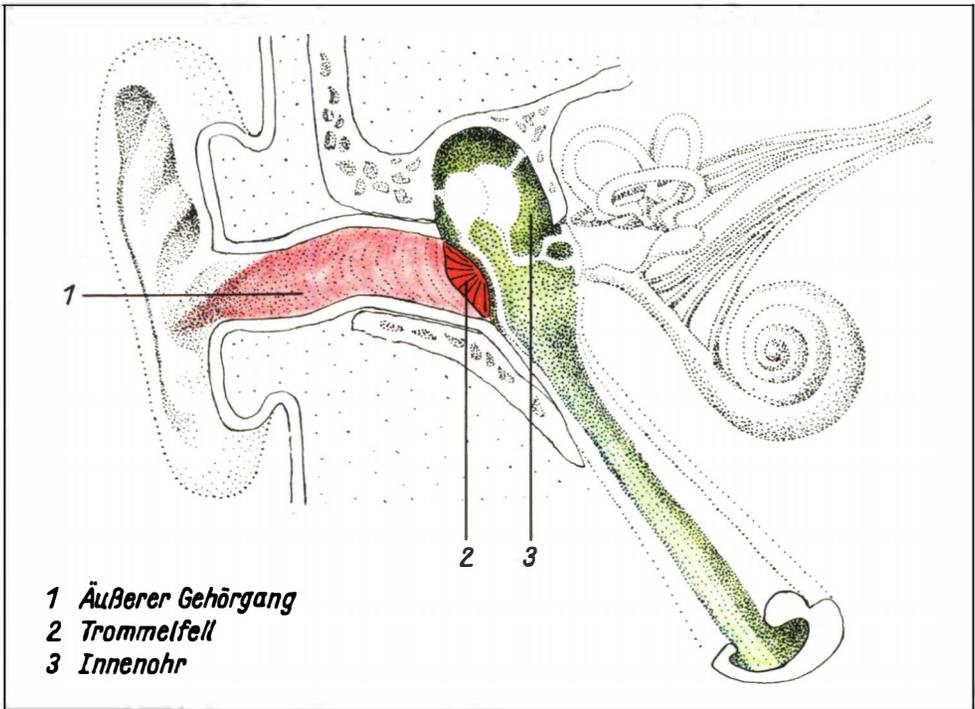
aufgehängt, daß das Platinblech lose ein zweites, gleiches Blech berührte. An jedes Blech war ein elektrischer Leiter angeschlossen. Am anderen Ende der Drahtleitung befand sich eine nicht weniger seltsame Vorrichtung, die als Hörer diente: eine aus vielen Windungen isolierten Kupferdrahts gewickelte Spule, in der eine Stricknadel steckte. Die beiden Enden der Nadel lagen lose auf Stegen, die ihrerseits auf einer Art Zigarrenkiste befestigt waren. Sie sollte wie das Gehäuse einer Geige als Resonanzboden dienen.

Das hölzerne Ohr, das als Mikrofon diente, hatte Reis oben in der Wohnung aufgebaut. Die Hör-Vorrichtung stand im Keller, in seinem Werkstatttraum. Tatsächlich konnte man unten das hören, was oben in das Holzhohr gesprochen wurde, wenn auch nicht sehr laut und deutlich.

Ein Jahr später hatte Reis das Telefon so weit verbessert, daß er es wagte, seine Erfindung den Lehrerkollegen und anderen Persönlichkeiten von Friedrichsdorf in der Schule vorzuführen. Über einen Spielplatz hinweg spannte Reis eine Leitung vom Physikraum zu einem Klassenzimmer. Als die klugen Herren in das Mikrofon sprechen sollten, fiel ihnen nichts Besseres ein, als aus einem Buch vorzulesen. Als Reis alles wiederholen konnte, dachten sie zunächst, er habe das Buch auswendig gelernt. Um die Probe zu machen, riefen sie sinnlose Sätze ins Mikrofon: „Das Pferd frißt keinen Gurkensalat“, posaunte der eine. „Die Sonne ist aus Kupfer“, dozierte ein anderer. Aber auch diese unsinnigen Sätze, die Reis unmöglich erraten konnte, wurden klar verstanden. Daraufhin gaben sich die Zweifler geschlagen. Sie waren ebenso überzeugt wie erstaunt. Doch der Nutzen der Erfindung wurde im damaligen Deutschland nicht erkannt. So kam es, daß Reis seine Erfindung nicht verwerten konnte und das Telefon noch einmal in Amerika entwickelt wurde und erst von dort schließlich wieder nach Deutschland kam.

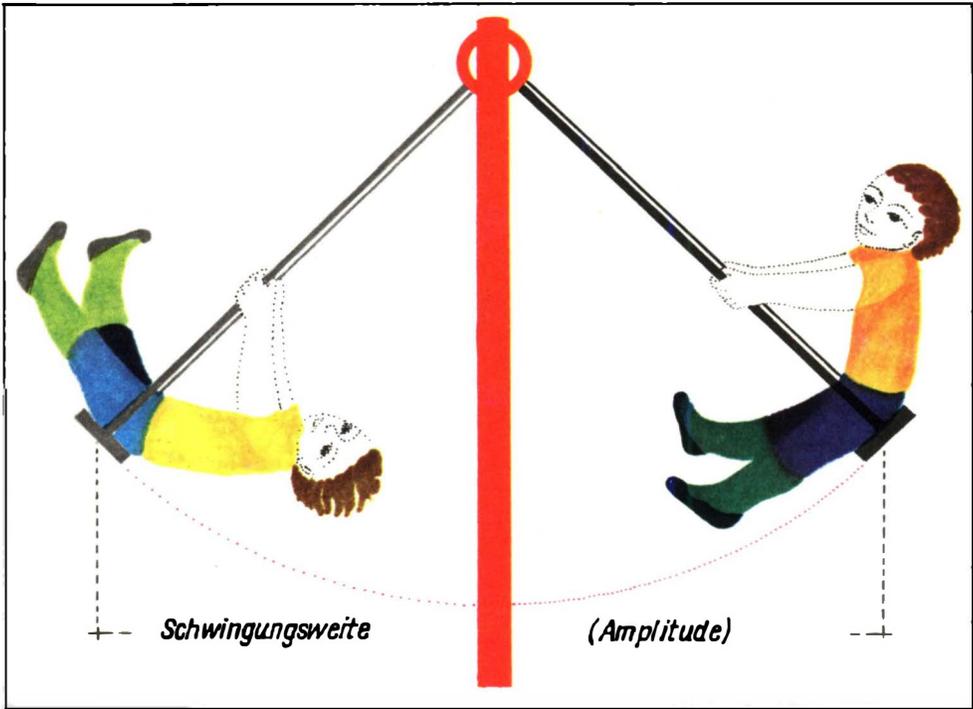
Was ist Schall?

Wie funktioniert eigentlich das Telefon? Diese Frage führt uns zunächst auf ganz erstaunliche Vorgänge, die sich, unsichtbar für uns, an winzigen Teilchen der Luft abspielen, wenn wir sprechen,



singen, Instrumente spielen oder Geräusche erzeugen. Man faßt alle Töne, Klänge und Geräusche, kurzum alles, was wir hören können, unter der Bezeichnung Schall zusammen. Wenn wir unsere Sprechorgane betätigen, musizieren, mit dem Hammer schlagen, husten, niesen oder sonst ein Geräusch erzeugen, werden die Teilchen der Luft in sehr feine und schnelle Schwingungsbewegungen versetzt. Zunächst geraten nur die der Schallquelle unmittelbar benachbarten Luftteilchen in Schwingungen. Sie stoßen dann aber der Reihe nach ihre Nachbarn zu gleichen Schwingungen an.

Dieses Anstoßen breitet sich von der Schallquelle so schnell aus, daß schon nach $1/10$ s die Luftteilchen in Schwingungen geraten, die 34 m weit von ihr entfernt sind. In 1 s breitet sich der Schall in Luft 343 m aus. Man nennt dies die Schallgeschwindigkeit. Nicht nur in Luft und allen anderen Gasen, auch in Flüssigkeiten und Festkörpern breitet sich Schall aus, zum Teil sogar mit noch erheblich größerer Geschwindigkeit. Die Luftteilchen üben bei ihren Schwingungen einen schwachen Druck auf das Trommelfell des Ohres aus. Die feinen Druckschwankungen breiten sich in den inneren Teilen des



Ohres aus und erzeugen Reize, die das Gehirn zu Gehörsempfindungen verarbeitet.

Veranschaulichen wir uns die Schallschwingungen durch den Vergleich mit der Schaukel! Ähnlich wie ein Kind auf der Schaukel bewegen sich die Teilchen der Luft, einer Flüssigkeit oder eines festen Körpers bei den Schallschwingungen hin und her. Die Teilchen bewegen sich dabei aber nicht etwa mit 343 m/s (Meter je Sekunde), sondern nur die Schallausbreitung erfolgt mit dieser Geschwindigkeit. Der Zustand des In-Schwingung-Gerätens wandert also mit 343 m/s weiter. Es ist wie beim Abzählen der zum Appell angetretenen Schüler. Der Reihe nach ruft jeder seinem Nachbarn eine Zahl zu und wendet dabei den Kopf. Es bewegt sich aber nicht der Kopf des ersten Schülers die ganze Reihe entlang, sondern nur das Kopfwenden.

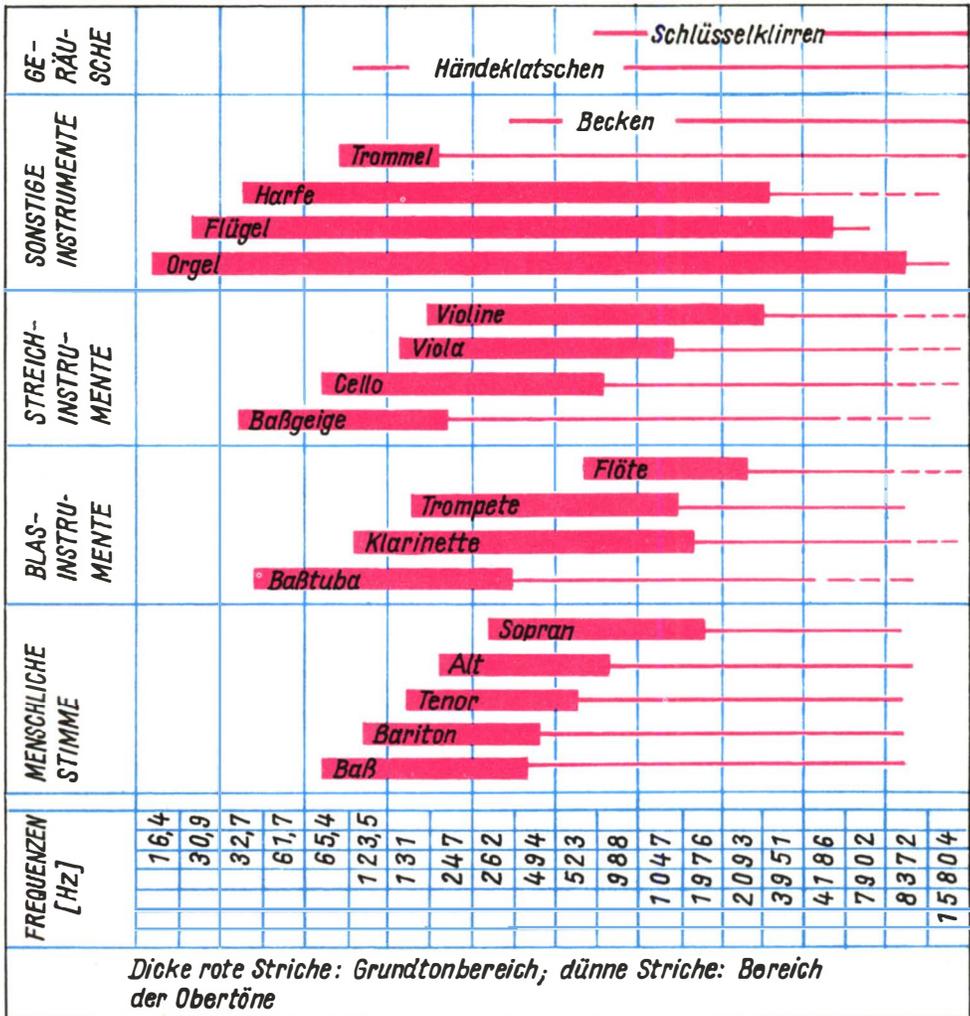
Jede Schwingung ist durch zwei Größen gekennzeichnet: die Frequenz (Schwingungszahl) und die Amplitude (Schwingsweite). Die Frequenz ist die Anzahl der Hin- und Herbewegungen je Sekunde. Schaukelt ein Kind in einer Sekunde von der Mittel-

punktslage einmal nach vorn, dann nach hinten und wieder genau zur Mitte zurück, so entspräche das der Frequenz von 1 Hz (Hertz). Diese Maßeinheit ist nach dem Physiker Heinrich Hertz benannt, der 1886 erstmals jene Art Schwingungen entdeckte und experimentell erzeugte, die man für den Rundfunk und das Fernsehen benutzt. Die Frequenzen der für den Menschen hörbaren Schallschwingungen reichen von ungefähr 16 Hz bis 20 000 Hz. Die höchsten dieser Frequenzen können jedoch nur junge Menschen hören. Mit zunehmenden Alter geht die obere Grenze der hörbaren Frequenzen zurück. Hunde können noch den sogenannten Ultraschall mit Frequenzen von mehr als 20 000 Hz hören. Von der Frequenz hängt die Tonhöhe ab: je höher die Frequenz, desto höher der Ton.

Die zweite kennzeichnende Größe, die Amplitude, entspricht der Wegstrecke zwischen den Endpunkten der Hin- und Herbewegung der Teilchen, vergleichbar mit der Entfernung zwischen der vordersten und hintersten Stellung einer Schaukel. Von der Größe der Amplitude hängt bei den Schallschwingungen die Lautstärke ab: je größer die Amplitude, desto größer die Lautstärke.

Bei der Ausbreitung der Schallschwingungen bleibt zwar die Frequenz gleich, aber die Amplitude nimmt ab. Die von der Schallquelle weiter entfernten Teilchen werden also nicht mehr zu Schwingungen von so großer Weite angestoßen wie die nahen. Daher wird die Lautstärke um so geringer, je weiter wir uns von der Schallquelle entfernen. Nur sehr lautstarke Geräusche wie den Donner können wir viele Kilometer weit hören, die menschliche Stimme aber nicht. Aus der Schallgeschwindigkeit in Luft ist übrigens leicht zu errechnen, wie weit ein Gewitter entfernt ist. Vergehen zwischen dem Blitz und dem Hörbarwerden des Donners zum Beispiel 24 s, so ist das Gewitter $24 : 3 = 8$ km entfernt, da sich der Schall in rund 3 s 1 km ausbreitet.

Elektrizität breitet sich dagegen über Hunderte und Tausende von Kilometern durch einen Leiter aus. Folglich lautet das „Rezept“ für die Konstruktion eines Telefons: Man wandle die Schallschwingungen in elektrische Schwingungen um, leite sie durch den Draht weiter und verwandle sie am anderen Ende der Leitung wieder in Schallschwingungen zurück. Die Amplitude elektrischer Schwingungen wird zwar mit zunehmender Entfernung auch kleiner, doch kann man



sie im Unterschied zum Schall verstärken, also zwischendurch wieder vergrößern, bevor sie zu klein geworden ist.

Was aber sind elektrische Schwingungen? Ihrer Art nach sind sie ganz anders als Schallschwingungen. Beim Schall bewegen sich Luftteilchen hin und her. Elektrische Schwingungen hingegen sind eine schnelle Folge sehr kurzer Strom„stöße“. Eine wichtige Kenngröße der Elektrizität ist die Spannung. Aus einer Batterie können wir längere Zeit eine ständig gleichbleibende Spannung entnehmen. Die Maßeinheit der Spannung heißt Volt (Kurzzeichen: V), so benannt nach dem italienischen Naturforscher Alessandro Volta. Eine

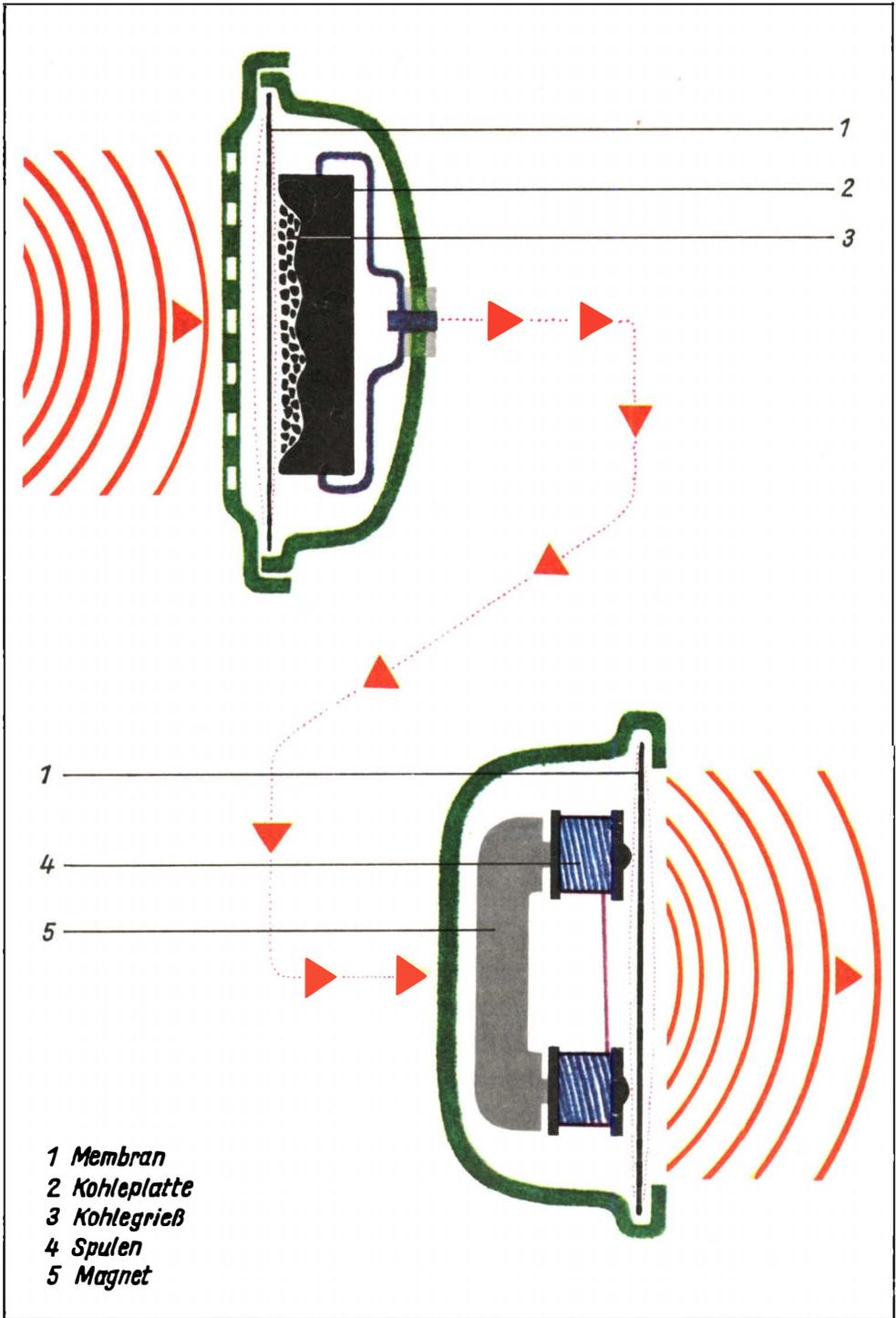
Flachbatterie gibt 4,5 V Spannung ab. In der elektrischen Anlage der Wohnungen und Betriebe dagegen wechselt die Spannung ständig. Sie steigt beispielsweise von 0 V auf + 220 V an und geht dann zurück auf 0 V. Danach kehrt sich das Vorzeichen der Spannung um. Man unterscheidet nämlich Plus- und Minus-Elektrizität, auch positive und negative Elektrizität genannt. Nach dem Absinken der Plus-Spannung von 220 V auf 0 V entsteht eine Minus-Spannung von 220 V. Sie sinkt schließlich wieder auf 0 V ab. Dieser Wechsel zwischen 0 V, + 220 V, 0 V, - 220 V und 0 V bildet zusammengenommen eine elektrische Schwingung. In unserem Haushaltnetz erfolgen 50 solcher Schwingungen je Sekunde. In der Fachsprache sagt man dazu: Es ist Wechselspannung von 50 Hz. Jedem Ansteigen der Spannung von 0 V auf + 220 V oder - 220 V entspricht ein kurzer Stromstoß. Folglich ereignen sich in unserer Haushaltanlage je Sekunde 100 Stromstöße.

Solche elektrischen Schwingungen beziehungsweise Stromstöße werden beim Telefonieren dafür benutzt, um gewissermaßen Signale der Schallschwingungen durch den Draht über große Entfernungen weiterzuleiten, da sich die Schallschwingungen selbst nicht sehr weit ausbreiten. Dazu muß man die Schallschwingungen in elektrische Schwingungen umwandeln. Das geschieht im Mikrofon.

Das Mikrofon

Für Telefone verwendet man ein ganz einfaches sogenanntes Kohlemikrofon. Es enthält ein dünnes Plättchen, Membran genannt. Diese liegt ähnlich wie ein Deckel auf einem Näpfchen, das mit Kohlekörnchen gefüllt ist. Wenn wir den Hörer abnehmen, wird elektrischer Strom eingeschaltet. Er fließt von der Membran durch die Kohlekörnchen. Sie setzen dem Durchfluß des Stroms jedoch einen Widerstand entgegen. Werden die Körnchen fester gegeneinander gedrückt, so ist dieser Widerstand geringer. Liegen sie locker aufeinander, so erhöht er sich.

Wenn wir ins Mikrofon sprechen, drücken die Luftteilchen im Rhythmus der Schallschwingungen gegen die Membran. Dadurch drückt diese ebenfalls im gleichen Rhythmus gegen die Kohlekörn-



chen. Sie werden folglich in schnellem Wechsel stärker oder schwächer gegeneinandergedrückt. Da hiervon der elektrische Widerstand abhängt, wechselt die Stromstärke im Rhythmus der Schallschwingungen. Mittels eines weiteren Widerstands kann man diese Änderungen der Stromstärke in Schwankungen der elektrischen Spannung umwandeln, also in elektrische Schwingungen. Damit ist das Ziel der ersten Etappe erreicht: Schall ist in elektrische Schwingungen umgewandelt.

Elektrische Schwingungen breiten sich mit einer viel größeren Geschwindigkeit als Schall, nämlich mit rund 300 000 km/s (Kilometer je Sekunde), also fast ohne Zeitverbrauch, durch die Leitung aus. Dabei haben die im Mikrofon erzeugten elektrischen Schwingungen die gleiche Frequenz wie die Schallschwingungen, sie sind gewissermaßen elektrische Signale des Schalls. Aber elektrische Schwingungen können wir nicht hören. Folglich müssen sie am anderen Ende der Leitung wieder in Schallschwingungen zurückverwandelt werden. Das geschieht im Kopfhörer des Telefons, den wir an unser Ohr halten.

Bei dieser Rückverwandlung kommt der Technik die „Verwandtschaft“ zwischen Elektrizität und Magnetismus zu Hilfe. Elektrizität kann Magnetismus erzeugen und umgekehrt. Die elektrischen Schwingungen werden in eine Spule aus einigen Windungen isolierten Drahtes geleitet. Dadurch entsteht in dem von der Spule umschlossenen Raum eine magnetische Kraft. Ihre Richtung und Stärke wechselt im genau gleichen Rhythmus wie die elektrischen Schwingungen. Vor der Spule ist als Membran ein dünnes Blech angeordnet. Es wird durch den Magnetismus im Rhythmus der Schwingungen in sehr schnell aufeinanderfolgende Hin- und Herbewegungen, in Schwingungen von der gleichen Frequenz versetzt, wie sie der ins Mikrofon gesprochene Schall hat. Die Membran stößt die Luftteilchen zu Schwingungen an. Damit ist der Kreis geschlossen: Die elektrischen Schwingungen sind wieder in Schall zurückverwandelt.

Im Telefon von Philipp Reis diente das Schweinsdarmhäutchen mit dem aufgeklebten Platinblech als Mikrofon-Membran. Je nachdem, ob es durch den Schall stärker oder schwächer gegen das andere Blech gedrückt wurde, floß ein stärkerer oder schwächerer Strom

von dem ersten zum zweiten Platinblech. In der Hörvorrichtung fungierte die Stricknadel als Magnet. Mit einer Membran hatte Reis sie noch nicht verbunden. Vielmehr mußte die schwingende Stricknadel selbst die Luftteilchen in Schwingungen versetzen. Deshalb war die Wiedergabe nur leise und nicht so deutlich wie bei heutigen Fernsprechapparaten.

Von allen Telefonen in den Betrieben und Wohnungen verlaufen Drahtleitungen zu den Fernsprechämtern. Wenn wir an der Wählerscheibe drehen, werden dort elektrische Vorrichtungen betätigt, welche die Kontakte zwischen den Leitungen der verschiedenen Fernsprechteilnehmer herstellen. So kommt es, daß wir von einem Apparat aus beliebige andere Teilnehmer anrufen beziehungsweise von ihnen angerufen werden können. Heute besteht aber nicht mehr in jedem Falle eine durchgehende Drahtleitung zwischen den Gesprächspartnern. Manche Strecken werden bereits drahtlos auf die gleiche Weise überbrückt, durch die der Rundfunk funktioniert.

Weltwunder Radio

Im Altertum bezeichnete man besonders große Leistungen der damaligen Technik als Weltwunder. Sieben solche Leistungen waren als Weltwunder anerkannt. Wollten wir die Weltwunder der modernen Technik zählen, kämen weit mehr als sieben zusammen. Das Radio gehört bestimmt dazu.

Radio und Telefon haben Gemeinsames: Schall wird in elektrische Schwingungen umgewandelt, diese vom Sender zum Empfänger übertragen und dort wieder in Schall zurückverwandelt. Der Unterschied zwischen Radio und Telefon besteht darin, daß die Rundfunkübertragung drahtlos durch die Luft oder den luftleeren Weltraum erfolgt. Deshalb nannte man die Radiotechnik anfangs drahtlose Telefonie. Wie aber kann man elektrische Schwingungen ohne Draht durch den Raum übertragen?

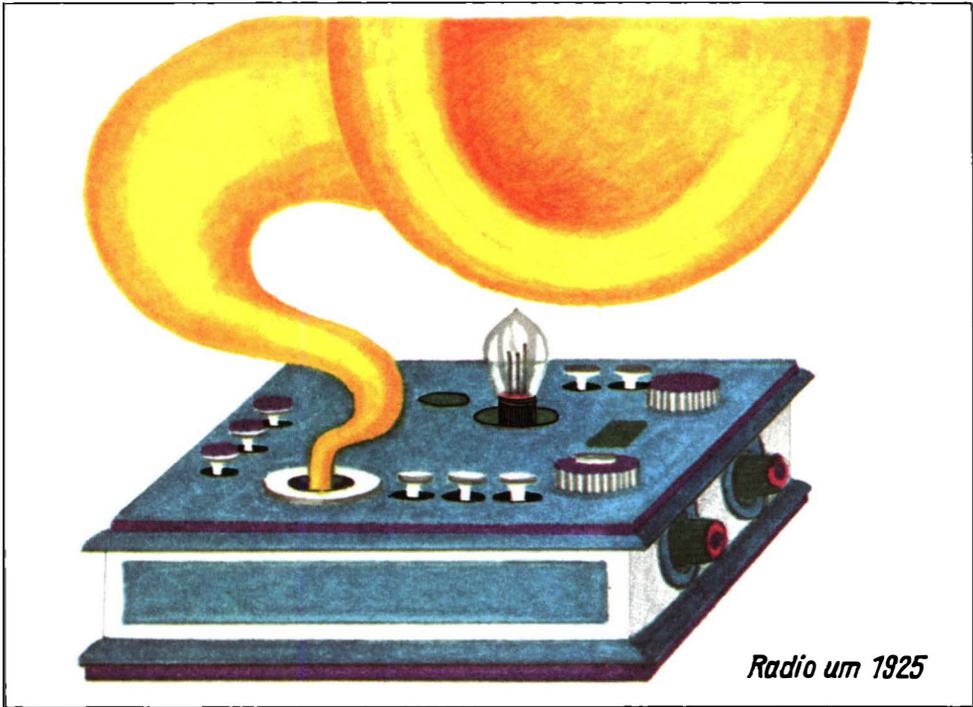
„Transportmittel“ der elektrischen Schwingungen, die als Schallsignale dienen, sind beim Rundfunk die Radiowellen. Diese sind eine noch andere Art von Schwingungen. Sie gleichen weder den Schallschwingungen der Luft- und anderen Stoffteilchen noch den elektrischen Schwingungen, die sich durch den Draht ausbreiten. Man kann Radiowellen jedoch erzeugen, indem man elektrische Schwingungen sehr hoher Frequenz in einer isoliert aufgehängten Draht, die Sende-Antenne, leitet. Von der Antenne breiten sich dann Radiowellen durch den Raum aus. Man bezeichnet sie als elektromagnetische Wellen. Auch das Licht gehört zu den elektromagnetischen Wellen. So braucht es uns eigentlich nicht zu wundern, daß sich Radiowellen ebenso wie Licht drahtlos durch die Luft und den Weltraum ausbreiten.

Der Unterschied zwischen Radiowellen und Licht besteht nur in der Frequenz. Radiowellen haben Frequenzen von ungefähr 150 000 Hz bis 100 000 000 Hz. Das sichtbare Licht hat Frequenzen um 100 000 000 000 000 Hz, also millionen- bis milliardenfach höhere.

Detektorempfänger um 1920



Um diese großen Zahlen etwas kürzer auszudrücken, werden 1000 Hz als 1 Kilohertz (Kurzzeichen: kHz) und 1000 000 Hz als 1 Megahertz (Kurzzeichen: MHz) zusammengefaßt. Die Zeichen kHz und MHz finden wir daher auf der Skale der Radios. Jeder Sender strahlt elektromagnetische Wellen einer bestimmten Frequenz aus, so wie jedes Haus eine Nummer hat, durch die man es in der Straße finden kann. Wenn wir am Skalenknopf des Radios drehen, stellen wir es auf die Frequenz des gewünschten Senders ein.



Schallsignale reisen huckepack

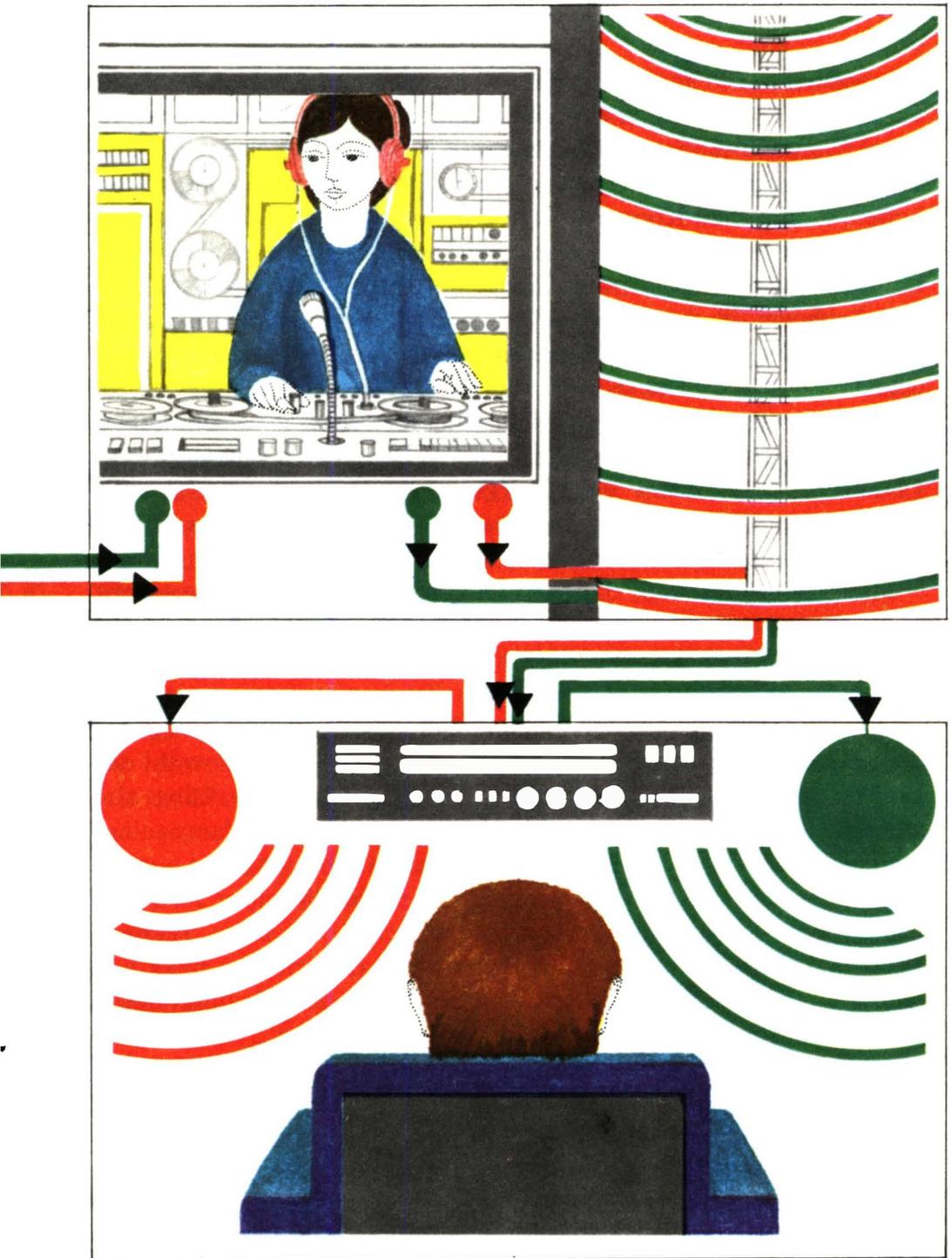
Die Radiowellen dienen als „Transportmittel“, mit dem die als Schallsignale dienenden elektrischen Schwingungen „befördert“ werden. Weil sie die Schallsignale gleichsam „huckepack“ tragen, nennt man die von einem Sender benutzte Frequenz auch Trägerfrequenz. Wie aber kann man den Radiowellen elektrische Schallsignale „aufladen“? Das geschieht, indem man die Eigenschaften der Trägerfrequenz im Rhythmus der als Schallsignale dienenden elektrischen Schwingungen etwas verändert. Dabei wird entweder die Amplitude der Radiowellen oder ihre Frequenz verändert. In der Fachsprache der Technik nennt man diese Veränderung Modulation. Das erklärt zwei weitere Buchstabenpaare, die wir auf Radioskalen finden: AM und FM. AM bedeutet Amplitudenmodulation, FM Frequenzmodulation. Mit AM arbeiten alle Sender des Lang-, Mittel- und Kurzwellenbereichs, mit FM alle Ultrakurzwellen(UKW)-



Sender. Der FM-Teil eines Radios ist deshalb der UKW-Teil, der AM-Teil der für die übrigen Wellenbereiche.

Im Rundfunkempfänger werden die von der Trägerfrequenz huckepack beförderten, als Schallsignale dienenden elektrischen Schwingungen wieder „abgeladen“, verstärkt und dann dem Lautsprecher zugeleitet. Er funktioniert nach dem gleichen Grundprinzip wie der Kopfhörer des Telefons und wandelt die elektrischen Schwingungen in sehr schnelle Hin- und Herbewegungen einer Membran um. Beim Lautsprecher ist die Membran der Teil, der die Form eines flachen Trichters hat. Durch seine Schwingungen versetzt der Trichter auch die ihn umgebende Luft in Schallschwingungen. So gelangt der im Rundfunkstudio ins Mikrofon gesprochene oder von Instrumenten erzeugte Schall schließlich an unser Ohr.

Der Klang eines UKW-Senders ist viel heller und naturgetreuer als der von Lang-, Mittel- oder Kurzwellen-Sendern. Woran liegt das? UKW-Sender übertragen Schallfrequenzen bis 15 000 Hz, die anderen bis nur 4500 Hz. Die höheren Frequenzen werden abgeschnitten. Daher ist der Klang dunkler und dumpfer.



Töne auf Raten

An welcher Stelle im Zimmer der Wecker steht und tickt, können wir auch mit verbundenen Augen allein nach dem Gehör feststellen. Im Konzertsaal hören wir ebenfalls deutlich, welche Instrumente links oder rechts im Orchesterraum stehen. Beim Hören einer gewöhnlichen, monofonen Konzertübertragung durch den Rundfunk gelingt uns das nicht. Selbst wenn vor dem Orchester mehrere Mikrofone an unterschiedlichen Punkten aufgestellt sind, fließen nämlich die Schallsignale aller Mikrofone in einem „Topf“ zusammen. Sie werden nicht getrennt voneinander übertragen. Anders beim stereofonen Rundfunk. Dabei wird der von einem links aufgestellten Mikrofon aufgenommene Schall völlig getrennt von dem Schall übertragen, den ein rechts aufgebautes aufnimmt. Zu Hause wird der Links-Ton von einem links aufgestellten Lautsprecher wiedergegeben, der Rechts-Ton getrennt davon über einen rechts stehenden. Dieses Verfahren nennt man Zweikanal-Stereofonie.

Man könnte denken, daß dafür auch zwei Sender nötig wären, wobei der eine den Links- und der andere den Rechts-Ton zu übertragen hätte. Aber das würde viele technische und andere Probleme aufwerfen. Deshalb wird wieder ein Trick angewendet, der dem „Betrug“ der Augen im Kino ähnelt. Derselbe Sender überträgt auf der gleichen Trägerfrequenz sehr schnell abwechselnd sowohl den Links-Ton als auch den Rechts-Ton. Genau genommen erklingt also aus den beiden Lautsprecher-Boxen einer Stereo-Empfangsanlage niemals gleichzeitig ein Ton. Vielmehr ertönt abwechselnd nur der linke oder der rechte Lautsprecher. Aber der Wechsel zwischen Links- und Rechts-Ton erfolgt so schnell – in jeder Sekunde 38 000mal –, daß wir ihn nicht bemerken, sondern von links und rechts einen ununterbrochenen Ton hören. Technisch funktioniert das so: Im Stereo-Empfänger befindet sich eine Art „Weiche“, die blitzschnell abwechselnd nach links und rechts umschaltet; dadurch werden alle Links-Töne nur dem linken und alle Rechts-Töne nur dem rechten Lautsprecher zugeführt.

Der Sinn der Stereofonie besteht allerdings nicht nur darin, die Richtung feststellen zu können, aus der ein Ton, ein Geräusch kommt. Wichtig ist diese Richtungsordnung bei Hörspielen. Stereo-

fone Musiksendungen aber wirken insgesamt räumlicher, klangschöner und eindrucksvoller als monofone. Doch ist die Wirkung nur dann am besten ausgeprägt, wenn man in der Mitte zwischen den beiden Lautsprecher-Boxen sitzt, und zwar möglichst so, daß die gedachten Verbindungslinien zwischen dem Hörplatz und den beiden Boxen ein gleichseitiges oder zumindest gleichschenkliges Dreieck bilden.

Künftig wird es wahrscheinlich sogar einmal Vierkanal-Stereofonie, Quadrofonie genannt, geben. Dabei werden zum Beispiel der Ton von vorn links, von vorn rechts, die Schallreflexionen der linken Wand des Konzertsaals und die der rechten Wand getrennt voneinander übertragen und zu Hause über vier entsprechend im Raum verteilte Lautsprecher gesondert wiedergegeben. Eine ähnliche Wirkung kann man heute schon bei der Zweikanal-Stereofonie mit Hilfe eines kleinen Zusatzgeräts und zwei weiteren Lautsprechern erzielen. Man nennt das Pseudoquadrofonie. Das bedeutet soviel wie eine nicht echte Quadrofonie, ein behelfsmäßiger Ersatz für die Vierkanal-Technik.

Musik auf Platten gepreßt

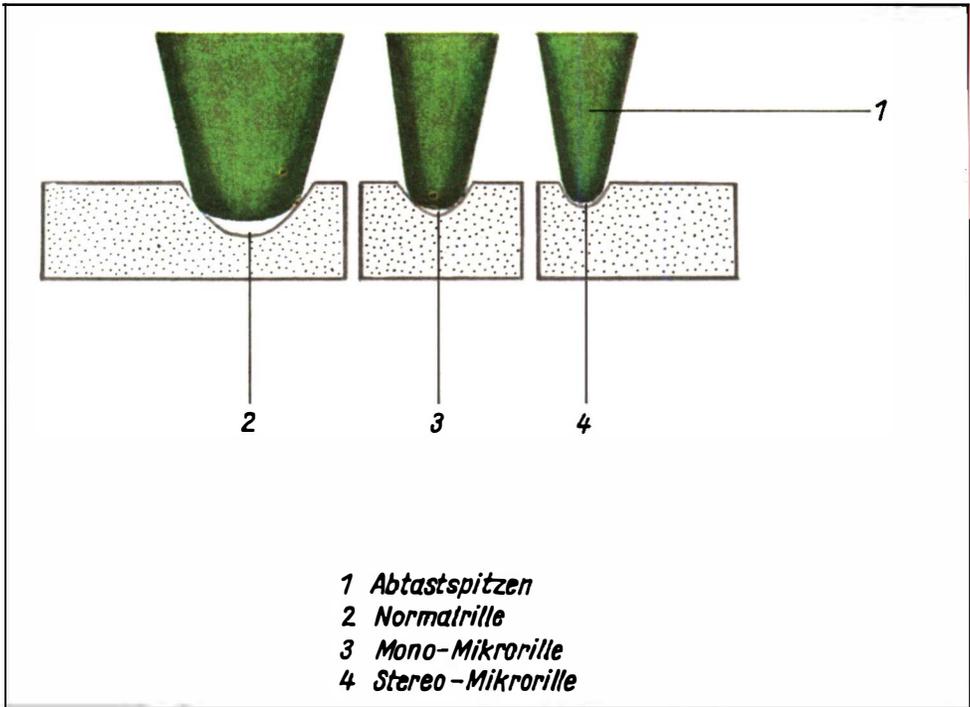
Den „Verwandlungsspielen“ mit dem Schall verdanken wir auch die Möglichkeit, Musik und Sprache von Schallplatten ertönen zu lassen. Beobachten wir einmal genau, was beim Abspielen einer Platte geschieht! Sie liegt auf dem Plattenteller, der durch einen Elektromotor in gleichmäßige Umdrehungen versetzt wird. Aus einem langen, armförmigen Gebilde, dem Tonarm, ragt an dessen Ende unten eine feine Spitze heraus. Während sich der Teller mit der Platte dreht, liegt die Spitze auf der Platte.

In der Oberfläche der Platte befinden sich winzige Vertiefungen, Rillen. Wir können sie mit den Schienen der Straßenbahn vergleichen, die zumeist auch Vertiefungen in der Straßendecke darstellen. Die Rille der Schallplatte ist spiralförmig. Sie beginnt am äußersten Rand und verläuft in vielen sich allmählich verengenden Windungen zur Plattenmitte. Wir können sehr leicht ausrechnen, wie viele Windungen die Spirale hat. Läuft eine Plattenseite zum Beispiel 20 min bei 33 U/min (Umdrehungen je Minute), dann sind es $20 \cdot 33 = 660$ Windungen. Jede nächste in Richtung zur Plattenmitte gelegene Windung ist etwas enger als die vorangegangene.

Die Abtastspitze des Tonarms wird in der Rille geführt wie das Rad der Straßenbahn in der Schiene. Wenn sich die Platte dreht, „fährt“ die Spitze die ganze Spirale entlang, bis sie in der engsten Windung nahe der Plattenmitte angekommen ist. Während sich bei der Fahrt der Straßenbahn die Bahn bewegt und die Schiene stillsteht, ist es bei der „Fahrt“ der Abtastspitze umgekehrt – die Platte bewegt sich, und die Spitze steht (fast) still.

*Phonograph
um 1900*





„Schleuderfahrt“ durch die Rille

Es gibt aber einen noch wichtigeren Unterschied bei unserem Vergleich: Die Plattenrille verläuft nicht als gleichmäßig gekrümmte Linie wie die Straßenbahnschiene in der Kurve, sondern sie ist „gezackt“. Entlang der gesamten Spiralstrecke „beult“ die Rille abwechselnd ein kurzes Stückchen nach rechts und links aus. Man nennt dies die Auslenkungen der Rille. Die Abtastspitze wird dadurch ständig sehr schnell um ein Weniges nach links oder nach rechts ausgelenkt, hin und her geschleudert. Ihr passiert also etwas Ähnliches wie der Membran des Telefon-Kopfhörers und des Lautsprechers.

Außer dieser „Seitenschrift“ mit seitlichen Auslenkungen der Rille ist auch eine „Tiefenschrift“ möglich; bei ihr ändert sich die Rillentiefe im Rhythmus der Schallschwingungen. Eine Art Kombination von Seiten- und Tiefenschrift wird bei Stereo-Schallplatten

angewendet. Dadurch können zwei Tonkanäle in einer Rille aufgezeichnet werden.

Auch die Hin- und Herbewegungen der Abtastspitze stellen Schwingungen dar. Sie haben die Frequenzen des Schalls, der auf der Platte aufgezeichnet ist. Ertönt beispielsweise der Ton a' von 440 Hz, dann wird die Spitze auf der Strecke der Spirale, die sie in einer Sekunde durchfährt, 440mal nach links und rechts ausgelenkt. Die schwingende Abtastspitze versetzt die sie umgebenden Teilchen der Luft ebenfalls in Schwingungen gleicher Frequenz. Ganz leise können wir deshalb auch dann eine Schallplatte hören, wenn überhaupt kein Verstärker oder Radio mit Lautsprecher an den Plattenspieler angeschlossen ist.

Allerdings ist die Wiedergabe dann so leise, daß man daran keinen Genuß haben könnte. Deshalb werden die Schwingungen der Abtastspitze wieder einmal in elektrische Schwingungen gleicher Frequenz umgewandelt. Diese werden verstärkt, also ihre Amplituden vergrößert, und dann dem Lautsprecher zugeführt. So ertönen von der Platte laut und klangschön Musik und Sprache. Wie aber kommen die Rillen auf die Platte?

Das Einschneiden von Rillen in die Oberfläche der Platte erfolgt nach dem gleichen Grundprinzip wie die Rückverwandlung der Rillenauslenkungen in Schall, nur verläuft der Vorgang dabei umgekehrt. Durch den Schall werden elektrische Schwingungen erzeugt. Diese bewirken wie im Kopfhörer und Lautsprecher einen Elektromagnetismus von schnell wechselnder Richtung und Stärke. Diesmal benutzt man die magnetische Kraft jedoch nicht, um eine Membran in Schwingungen zu versetzen, sondern sie wird dafür verwendet, einen Schneidstichel sehr schnell hin und her zu bewegen. Die Spitze des Stichels liegt auf einer rotierenden Platte und ritzt in eine Lackschicht der Oberfläche die „gezackte“ spiralförmige Rille ein.

In dieser Weise wird nicht jede einzelne Platte, die wir im Geschäft kaufen können, mit Rillen versehen. Mit dem Schneidstichel erzeugt man vielmehr nur eine Art Urmuster der Rille. Nach diesem Musterstück wird über verschiedene Arbeitsgänge eine Platte angefertigt, die anstelle von Rillen kleine Erhöhungen hat. Sie entsprechen genau dem Rillennmuster. Wenn diese Platte auf die noch etwas

weiche Masse gedrückt wird, aus der man Schallplatten herstellt, prägt sie wie eine Art Stempel die Rillen ein. So kann man Zehntausende von Platten pressen.

Das Tonbandgerät

Eine Schallplatte kann man sich nicht selbst anfertigen, denn dafür sind viele und teure Apparate erforderlich. Mit einem Tonbandgerät ist es dagegen möglich, jede Rundfunksendung, die wir gern wiederhören möchten, und mit einem Mikrofon auch Gespräche und Hausmusik selbst aufzuzeichnen. Deshalb erlangen Tonbandgeräte zunehmende Beliebtheit und Verbreitung. Das Funktionsprinzip des Tonbandgeräts beruht wiederum auf einem mehrfachen „Verwandlungsspiel“ mit dem Schall.

Die vom Mikrofon erzeugten oder aus dem Rundfunkempfänger erhaltenen, als Schallsignale dienenden elektrischen Schwingungen werden dabei ähnlich wie im Kopfhörer und Lautsprecher in Drahtwicklungen geleitet, die wie eine Spule einen Elektromagneten umschließen. Dort rufen sie eine magnetische Kraft hervor, die im Rhythmus der Schallschwingungen ihre Richtung und Stärke wechselt. Diesmal wird die magnetische Kraft aber nicht dazu verwendet, eine Membran in Schwingungen zu versetzen, sondern um ein an dem Elektromagneten mit gleichmäßiger Geschwindigkeit vorbeilaufendes schmales Band zu magnetisieren.

Magnetismus läßt sich nämlich von einem Körper auf einen anderen übertragen, er ist gewissermaßen „ansteckend“. Wenn wir mit einem Magneten mehrmals über den Schraubenzieher streichen, so wird dieser dadurch ebenfalls magnetisch und zieht kleine Gegenstände aus Eisen oder Stahl, zum Beispiel Schrauben und Nägel, an. Nicht alle Stoffe, sondern nur bestimmte Metalle lassen sich magnetisieren. Auf dem Tonband befindet sich eine dünne Schicht aus den magnetisierbaren Stoffen Eisenoxid oder Chromdioxid. Man bezeichnet es deshalb richtiger als Magnetband.

Der Elektromagnet des Tonbandgeräts ist ringförmig. Der Ring ist aber nicht ganz geschlossen, er hat einen winzig schmalen Spalt. Wenn das Magnetband an diesem Spalt vorüberläuft, wird die dem

Spalt anliegende Stelle der Schicht in bestimmter Weise magnetisiert. Beim Durchlaufen des Bandes entstehen also an den verschiedenen Stellen der Schicht hintereinander bestimmte Magnetisierungen. So wird der Schall in Form magnetischer Signale aufgezeichnet.

Beim Abhören wird der Vorgang umgekehrt. Wieder läuft das Band an dem schmalen Spalt des ringförmigen Magneten vorüber. Aber diesmal magnetisiert er nicht das Band, sondern der Magnetismus des Bandes erzeugt in den Drahtwicklungen des Magneten schwache elektrische Stromstöße, elektrische Schwingungen. Sie haben die gleichen Frequenzen wie der aufgezeichnete Schall. Wenn man die Schwingungen verstärkt und einem Lautsprecher oder Kopfhörer zuführt, wird der Schall wieder hörbar.

Wie kommen die Fernsehbilder durch die Luft?

Schon vor etwa 150 Jahren erschien ein Buch, in dem geschildert wurde, wie man künftig fernsehen könne. Eine seiner Illustrationen zeigt zum Beispiel, wie eine Studentin zu Hause am Schreibtisch sitzt und an der Wand das Bild des Dozenten sieht, der eine mathematische Formel erläutert. An Schulfernsehen dachte man also schon damals. Aber es war nur ein Wunschtraum, und niemand wußte, wie er zu verwirklichen sei.

Daß man Schall in elektrische Schwingungen und folglich in elektrische Signale umwandeln kann, ist uns inzwischen geläufig. Solche Verwandlungen sind auch mit Licht möglich. Fotoamateure benutzen einen Belichtungsmesser, um festzustellen, welche Blende und Belichtungszeit sie an der Kamera einstellen müssen, um richtig belichtete Aufnahmen zu erhalten. Eine Art dieses Belichtungsmessers wandelt das einfallende Licht in einen schwachen elektrischen Strom um. Dadurch wird ein Zeiger betätigt, und auf einer Skale kann man die günstigsten Belichtungsdaten ablesen.

Nun können wir uns schon denken, wie das „Rezept“ des Fernsehens lautet: Man wandle Licht in elektrische Schwingungen um, präge sie elektromagnetischen Wellen auf, die drahtlos vom Sender zum Empfänger übertragen werden, und verwandle dort die elektrischen Schwingungen wieder in Licht.

Jedes Bild können wir uns aus sehr vielen Punkten zusammengesetzt denken. Betrachten wir einmal ein Zeitungsfoto mit der Lupe! Wir stellen fest: es besteht tatsächlich aus vielen einzelnen Punkten. An ganz dunklen Stellen liegen die Punkte so dicht, daß sie ineinander verschwimmen, aber an helleren Stellen sind deutlich einzelne Punkte zu sehen.

Es wäre allerdings nicht ganz richtig zu sagen, das Bild im Fernsehempfänger bestehe aus Punkten. Man kann ein Bild nämlich noch auf andere Weise zusammensetzen: aus vielen einzelnen Linien. Sie



liegen untereinander wie die Schriftzeilen einer Buchseite. Unser Fernsehbild besteht aus 625 waagrecht eng untereinanderliegenden Zeilen.

Verfolgen wir eine Zeile von links nach rechts, so unterscheiden sich ihre einzelnen Stellen durch verschiedene Helligkeit. Wir können also sagen: die Zeile ist aus einzelnen Bildpunkten unterschiedlicher Helligkeit zusammengesetzt. Man kann nämlich ein Bild auch auf Papier zeichnen, indem man mit Hilfe von Bleistift und Lineal Strich unter Strich setzt und dabei an manchen Stellen der Linien den Stift nur ganz schwach oder gar nicht aufdrückt, an anderen Stellen mäßig stark und an wieder anderen sehr kräftig. Wechseln wir den Druck des Stiftes in richtiger Weise, so entsteht ein Bild, das deutlich die Gegenstände mit ihren verschiedenen Abstufungen von Hell und Dunkel zeigt. Freilich wäre es für den Menschen eine Qual, in dieser Weise Bilder zu zeichnen.

Der blitzschnelle „Bleistift“

Für einen technischen Apparat ist manchmal das, was für den Menschen schwierig oder unmöglich ist, einfach, und das, was für den Menschen leicht ist, schwierig oder unmöglich. Der Fernseher zeichnet die Bilder jedenfalls linienförmig auf: Eine Art „Bleistift“ fährt mit unvorstellbarer Geschwindigkeit über den Bildschirm und „schreibt“ dabei das Bild in Form von 625 eng untereinanderliegenden Zeilen. Der „Bleistift“ ist ein fein gebündelter Strahl von Elektronen, die sich durch den luftleer gepumpten Innenraum der Bildröhre bewegen.

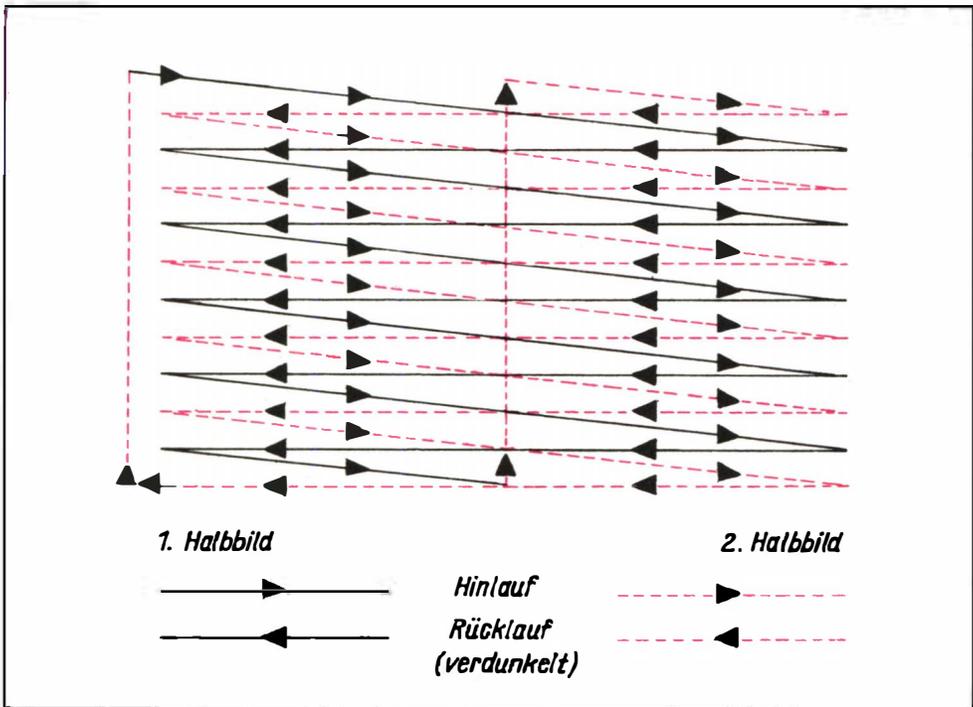
Wir können den Elektronenstrahl mit einem Wasserstrahl vergleichen, der aus der Düse eines Gartenschlauchs hervorschießt. Der Elektronenstrom wird aus dem hinteren Teil der Bildröhre auf den Leuchtschirm „geschossen“, der die Innenfläche der vorderen großen Röhrenwand einnimmt. Dieser Leuchtschirm ist mit einem Stoff beschichtet, der beim Auftreffen von Elektronen Licht ausstrahlt. Es ist ein ähnlicher Stoff, wie er auch an der Innenwand der Glasröhre einer Leuchtstofflampe haftet.

Treffen viele Elektronen auf eine Stelle des Bildschirms, so leuchtet der Stoff sehr hell auf, bei wenigen Elektronen leuchtet er dagegen nur schwach. Man kann die einzelnen Stellen des Bildschirms daher verschieden hell aufleuchten lassen, je nachdem, wie viele Elektronen mit dem Strahl auf die betreffende Stelle geschossen werden.

Im Unterschied zum Wasserstrahl des Gartenschlauchs, aus dem immer gleich viele Wasserteilchen kommen, ändert sich die Anzahl der Teilchen im Elektronenstrahl ständig. Sie wird durch die drahtlos übertragenen elektrischen Bildsignale gesteuert.

Dabei wird der Elektronenstrahl außerdem zeilenweise über die verschiedenen Stellen des Bildschirms gelenkt. Diese Ablenkung erfolgt wieder durch elektrische und magnetische Kräfte, deren Richtung und Stärke in schnellem Rhythmus wechseln. Der Takt der Ablenkung wird ebenfalls durch elektrische Signale gesteuert, die der Fernsehsender mit ausstrahlt.

Das Erstaunlichste ist die Schnelligkeit, mit der das alles geschieht. In jeder Sekunde wird der Elektronenstrahl 15 625mal von links nach



rechts gelenkt und wieder zum linken Rand des Bildes zurückgerissen, wobei er jedesmal eine Zeile auf den Bildschirm zeichnet. Das sind $15\,625 : 625 = 25$ volle Bilder je Sekunde. Nun wollen wir aber nicht nur stehende, sondern bewegte Bilder auf dem Fernsehschirm sehen. Wie wir schon vom Kino her wissen, reichen für eine flimmerfreie Wiedergabe 25 Bilder je Sekunde aber nicht aus. Wir benötigen vielmehr mindestens 48.

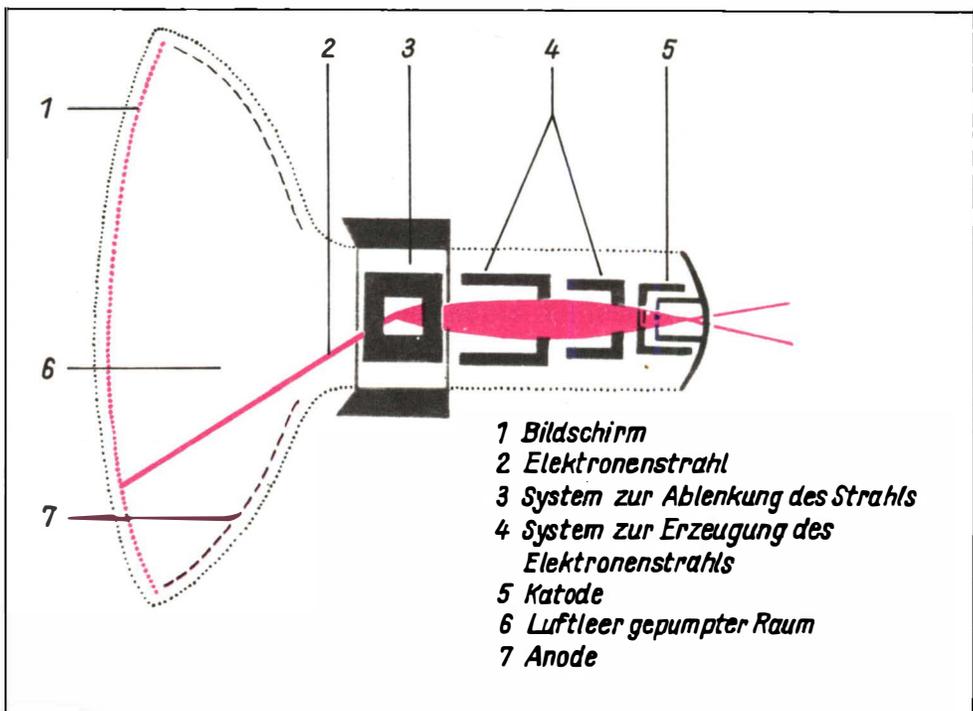
Wieder wendet man deshalb einen kleinen Trick an, um aus den 25 Einzelbildern je Sekunde die doppelte Anzahl zu gewinnen. Beim Kino wird jedes Bild zweimal gezeigt. Beim Fernsehen ist der Trick etwas anders. Um ein Bild zu sehen, brauchen wir nämlich gar nicht alle 625 Zeilen. Schon die Hälfte genügt. Daher reicht es aus, wenn der Elektronenstrahl zunächst nicht alle Zeilen des Bildes schreibt, sondern immer eine ausläßt. Er schreibt also nur die 1., 3., 5., 7., 9. Zeile und so weiter. Ist er bei der 625. Zeile angelangt, so springt er schnell zurück zur oberen linken Ecke des Bildschirms und schreibt jetzt nacheinander die 2., 4., 6., 8. Zeile und so weiter. Auf diese Weise entstehen in der Sekunde 50 „Halbbilder“, die uns aber

als ganze Bilder erscheinen. Durch die hohe Bildanzahl je Sekunde ist das Flimmern unterdrückt. Wir sehen ein klares, gleichbleibendes und bewegtes Bild.

Bilder in Elektrizität verwandelt

Bleibt die Frage: Wie wird im Fernsehstudio das Bild in elektrische Signale umgewandelt? Das geschieht in der Fernsehkamera mit Hilfe einer Bildaufnahmeöhre. Das Objektiv entwirft wie in jeder Foto- und Kinokamera ein Bild, doch befindet sich in der Fernsehkamera kein Film, sondern eine Platte. Auf sie wird das Bild projiziert. Es ist keine gewöhnliche fotografische Platte. Sie hat vielmehr die Eigenschaft, daß in ihr bei Auftreffen von Licht eine elektrische Ladung entsteht. Je mehr Licht auf eine Stelle der Platte trifft, desto höher ist die elektrische Ladung dieser Stelle. So wird das Bild in ein Mosaik unterschiedlicher Ladungszustände verwandelt.

Über die Platte wird im selben Takt, in dem der Elektronenstrahl

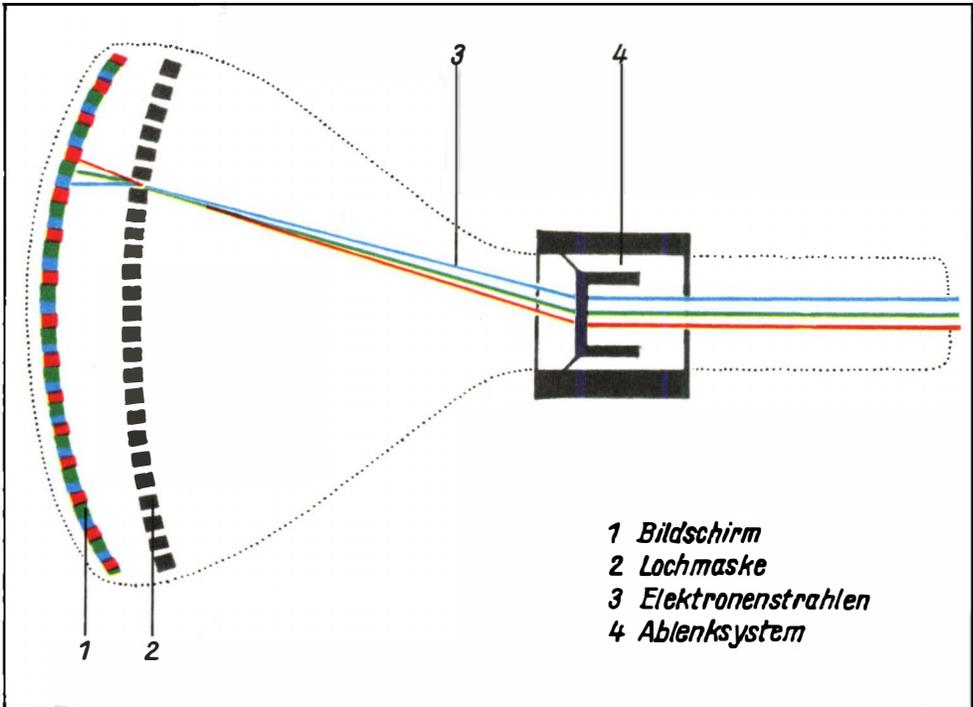


in der Bildröhre des Empfängers über den Leuchtschirm huscht, ebenfalls ein Elektronenstrahl gelenkt. Das führt zur Entladung der Platte. Je höher die Ladung einer Stelle der Platte ist, auf welche der Elektronenstrahl in dem betreffenden Moment trifft, desto stärker ist der Entladungsstrom. Wenn der Strahl nacheinander über die einzelnen Stellen der Platte fährt, entstehen daher entsprechend den örtlich unterschiedlichen Ladungen auch verschiedene elektrische Signale. So wird die ganze Platte ständig zeilenweise Punkt für Punkt „abgetastet“, wobei nacheinander unterschiedliche elektrische Signale entstehen. Sie signalisieren die verschiedenen Helligkeiten der einzelnen Stellen des Bildes. Die Amplituden der Trägerschwingungen des Fernsehsenders werden im Rhythmus dieser Signale verändert, moduliert. So gelangen die Signale über die Fernsehantenne in unseren Empfänger und werden dort in der geschilderten Weise wieder in Licht zurückverwandelt.

Farben durchs „Astloch“ gestrahlt

Inzwischen kann man auch farbige Fernsehbilder übertragen. Dafür ist allerdings eine noch kompliziertere Technik und eine andere Bildröhre erforderlich. So wie im Kino beruht auch das Entstehen eines farbigen Fernsehbildes auf der Mischung von drei Farben. Man kann nämlich aus nur drei Grundfarben alle übrigen Farben er-mischen. Beim Fernsehen dienen Rot, Grün und Blau als Grundfarben. (Beim Farbfilm verwendet man andere Ausgangsfarben.) Rot und Grün ergeben zusammen Gelb, Grün und Blau ergeben Blaugrün, Blau und Rot ergeben Purpur, alle drei Grundfarben – Rot, Grün, Blau – ergeben zusammen Weiß. Die zwischen den genannten Farben liegenden Tönungen erzielt man durch Veränderung der Anteile der Grundfarben.

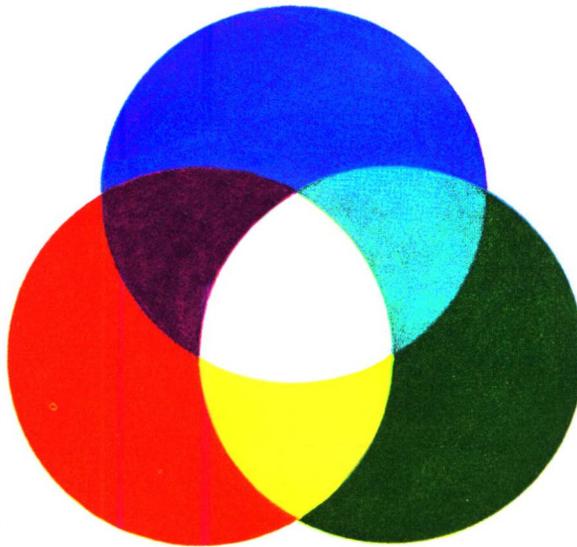
Der Leuchtschirm der Bildröhre eines Schwarzweiß-Empfängers besteht überall aus demselben Leuchtstoff. Der Leuchtschirm einer Farbfernseh-Bildröhre ist dagegen aus einem Mosaik vieler einzelner Leuchtstoffpünktchen zusammengesetzt. Dabei gibt es drei Sorten Leuchtstoffpunkte. Die eine Sorte sendet, wenn sie vom Elektronenstrahl getroffen wird, rotes Licht aus, die zweite grünes und die



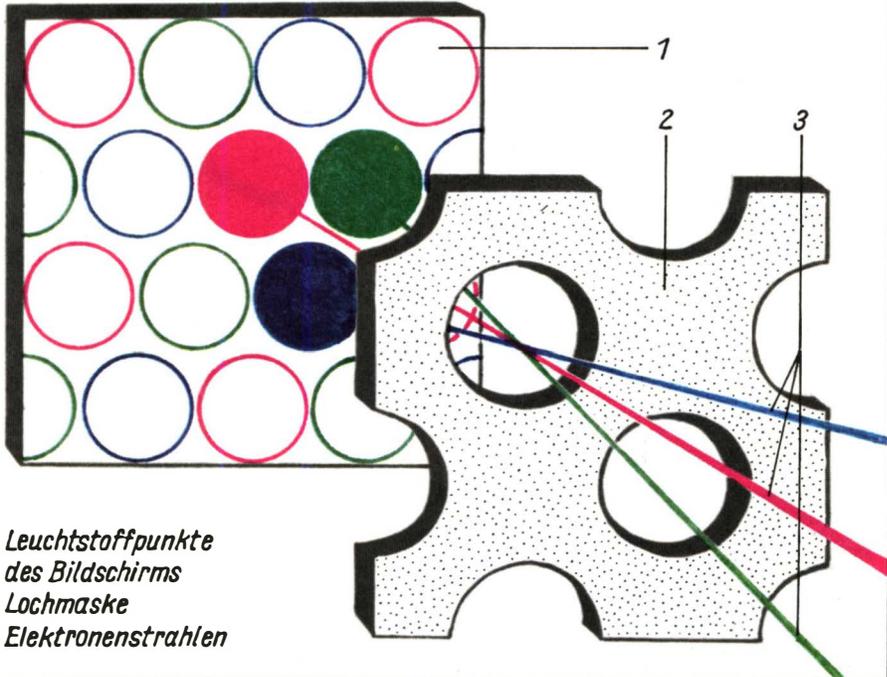
ditte blaues. Diese drei Sorten Pünktchen sind streng regelmäßig angeordnet, und zwar so, daß je ein roter, grüner und blauer Punkt dreieckförmig gruppiert sind. Mit einem solchen Dreiecksmuster verschiedenfarbiger Pünktchen ist die Innenseite der Vorderfläche der Farbbildröhre bedeckt.

Auf diesen Farb-Bildschirm werden drei gesonderte Elektronenstrahlen geschossen. Dabei sorgt ein dicht hinter dem Bildschirm angeordnetes, mit vielen winzigen Löchern versehenes Stahlblech dafür, daß der Elektronenstrahl, der die roten Leuchtstoffpünktchen zur Lichtaussendung anregen soll, nur die roten Punkte treffen kann, die anderen aber nicht. Entsprechendes gilt auch für die beiden anderen Elektronenstrahlen. Jeder Strahl trifft nur auf die Sorte Leuchtstoffpünktchen, für die er „zuständig“ ist. Man nennt das Stahlblech Lochmaske. Sie hat 400 000 kleine Löcher.

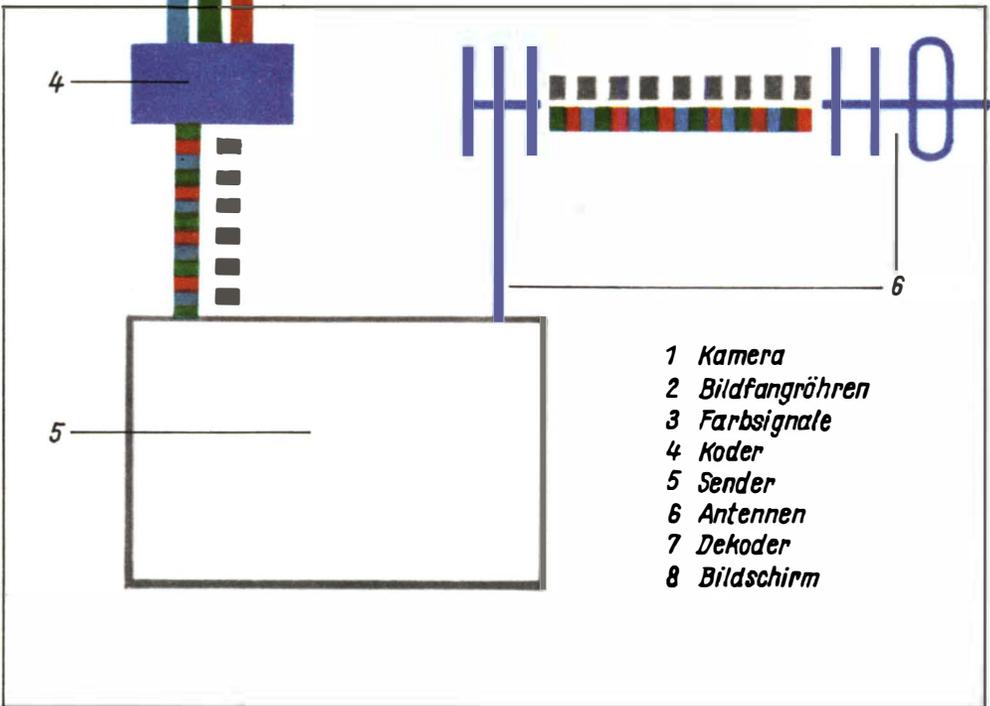
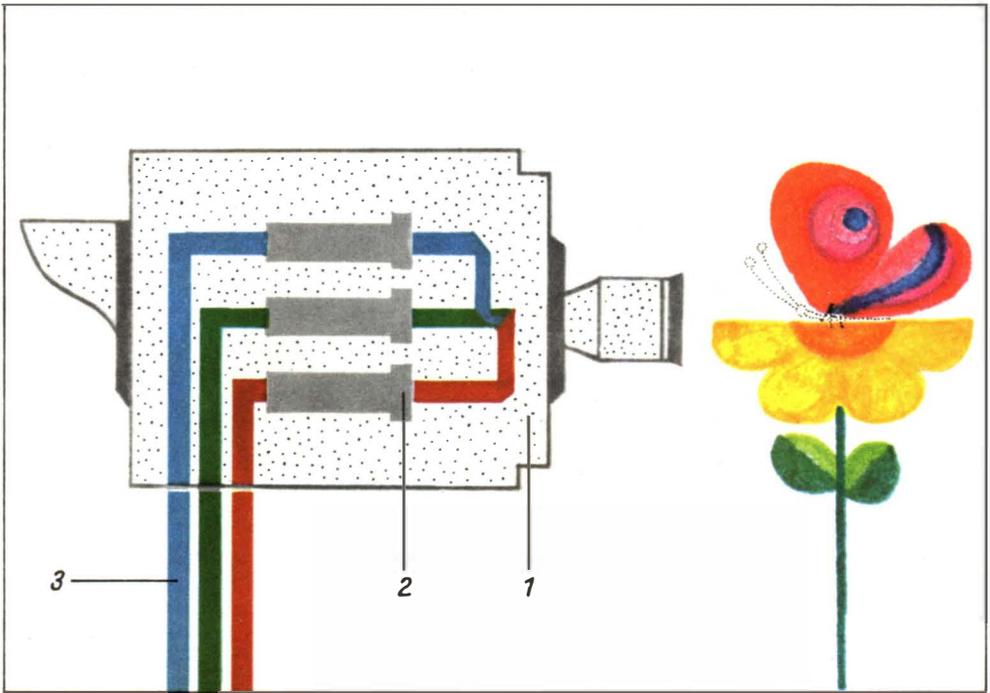
Warum jeder Elektronenstrahl nur eine Sorte Leuchtstoffpunkte treffen kann, wollen wir uns durch einen Vergleich veranschaulichen. In Lattenzäunen gibt es einzelne Astlöcher. Wenn man sich dicht vor ein Astloch stellt, sieht man die ganze Umgebung hinter



Additive Farbmischung



- 1 Leuchtstoffpunkte des Bildschirms
- 2 Lochmaske
- 3 Elektronenstrahlen

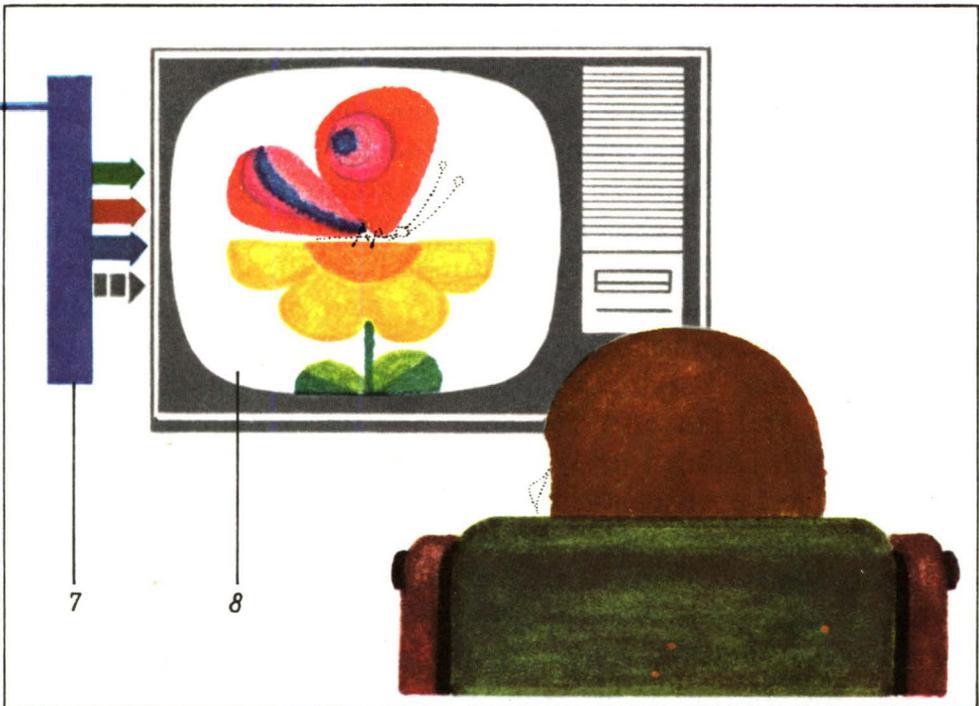


- 1 Kamera
- 2 Bildfangröhren
- 3 Farbsignale
- 4 Koder
- 5 Sender
- 6 Antennen
- 7 Dekoder
- 8 Bildschirm

dem Zaun. Schaut man jedoch aus einigem Abstand durch das Astloch, so ist nur ein ganz bestimmter Ausschnitt der Umgebung hinter dem Zaun zu sehen.

Stellen sich drei Kinder an verschiedenen Punkten in einiger Entfernung vor dem Astloch auf, so sieht jedes einen anderen Ausschnitt der Landschaft oder des Gartens hinter dem Zaun. Welcher Ausschnitt das ist, hängt von dem Winkel ab, unter dem das Kind durch das Loch blickt. Nehmen wir einmal an, dicht hinter dem Zaun sei ein großes Bild aufgestellt. Dann sieht jedes Kind nur einen kleinen Teil des Bildes, und zwar jedes Kind einen anderen.

Die drei Elektronenstrahlen der Farbbildröhre verlaufen nicht parallel zueinander, sondern sind gegeneinander geneigt. Man kann ihre Richtungen mit den verschiedenen Blickrichtungen der drei Kinder vergleichen. Dem Astloch des Zauns entspricht ein Loch der Maske, dem dicht hinter dem Zaun aufgestellten Bild der Farbbildschirm. So wie die Blicke der drei Kinder treffen daher auch die drei Elektronenstrahlen auf verschiedene Stellen des Bildschirms. Dabei liegt dort, wo der für Rot zuständige Elektronenstrahl auftrifft, stets



ein rotes Leuchtstoffpünktchen, in der Richtung des Grün signalisierenden Strahls ein grünes und in der des Blau signalisierenden ein blaues Leuchtstoffpünktchen. Entsprechendes gilt für sämtliche Punktgruppen des ganzen Bildschirm-Mosaiks und für alle 400 000 Löcher der Maske.

Der Bildschirm jedes Farbfernsehers besteht demnach aus $3 \cdot 400\,000 = 1\,200\,000$ Leuchtstoffpünktchen. Jeweils drei der verschiedenfarbigen Pünktchen liegen daher so dicht nebeneinander, daß sie unser Auge nicht einzeln erkennt. Wir sehen deshalb nicht drei Punkte nebeneinander in drei verschiedenen Farben aufleuchten, sondern die betreffende Stelle nur als einen in einheitlicher Farbe leuchtenden Punkt. Gleiches gilt für alle Stellen des Bildschirms. So entsteht für unsere Augen ein vielfarbiges Bild.

Kleine Nachbemerkung

Am Schluß unseres Streifzuges durch die Welt der Technik von der Glühlampe bis zum Farbfernseher ist eine kleine Nachbemerkung angebracht. Vieles wurde, um ein Verständnis ohne physikalische und technische Vorkenntnisse zu ermöglichen, sehr vereinfacht und nur in groben Zügen umrissen. Das könnte den Eindruck erwecken, als sei es spielendleicht, Radios, Fernseher und andere technische Erzeugnisse zu erfinden, zu konstruieren und zu bauen. Der Eindruck wäre aber ganz falsch. Die Lösung vieler äußerst komplizierter Probleme war dafür erforderlich. Die einzelnen Bauteile müssen mit höchster Genauigkeit arbeiten, wenn das ganze Gerät funktionieren soll. Das gilt nicht etwa nur für so komplizierte Geräte wie den Farbfernseher, sondern schon für die einfache Glühlampe. Viel Forscherarbeit war zum Beispiel nötig, um immer bessere Wolframfäden herstellen zu können, welche die heute gewohnte lange Lebensdauer der Lampen gewährleisten.

So erfordert die moderne Technik an jedem Arbeitsplatz schöpferisches Denken, Gewissenhaftigkeit, Sorgfalt und ständiges Bemühen um immer bessere technische Lösungen und höhere Qualität. Es wäre beispielsweise schön, wenn es ganz flache Bildröhren gäbe, die man wie ein Bild an die Wand hängen kann, so wie es mit Laut-

sprechern heute bereits möglich ist. Ferner könnte man sich wünschen, sehr viel größere, aber trotzdem scharfe Fernsehbilder zu erzeugen. Auf die nächste Generation von Wissenschaftlern und Technikern, die heute noch die Schulbank drückt, warten also viele Aufgaben. Sie werden nur durch große schöpferische Leistungen zu lösen sein.

INHALT

- 5 DAS FEUERLOSE LICHT
- 5 Wir untersuchen eine Glühlampe
- 11 Warum glüht der Draht?
- 12 2,8 Trillionen je Sekunde
- 14 Wie die Glühlampe kaputtgeht

- 16 LICHT AUF KALTEM WEGE

- 19 WIE SICH DAS BÜGELEISEN
SELBST REGELT
- 21 Warum Wärme die Körper ausdehnt
- 24 Der einfachste Automat

- 26 SAUBERMACHEN
MIT KÜNSTLICHEM WIND
- 26 Ein Sack voll Luft –
kaum zu tragen
- 27 Im Strom der Luft

- 30 KÄLTE DURCH WÄRME

- 35 WARUM BEWEGEN SICH
DIE BILDER IM KINO?
- 36 Das Gehirn spielt mit
- 40 Ein Trick beseitigt das Flimmern
- 41 Zeitlupe und Zeitraffung

- 42 GESPRÄCHE DURCH DEN DRAHT
- 44 Was ist Schall?
- 49 Das Mikrofon

- 53 WELTWUNDER RADIO
- 55 Schallsignale reisen huckepack
- 58 Töne auf Raten

- 60 MUSIK AUF PLATTEN GEPRESST
- 62 „Schleuderfahrt“ durch die Rille
- 64 Das Tonbandgerät

- 66 WIE KOMMEN DIE FERNSEHBILDER
DURCH DIE LUFT?
- 68 Der blitzschnelle „Bleistift“
- 70 Bilder in Elektrizität verwandelt
- 71 Farben durchs „Astloch“ gestrahlt
- 76 Kleine Nachbemerkung



© DER KINDERBUCHVERLAG BERLIN – DDR 1977

Lizenz-Nr. 304-270/98/77 – (20)

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

Repro, Druck und buchbinderische Verarbeitung:

Grafischer Großbetrieb Sachsen-Druck Plauen

1. Auflage · LSV 7821

Für Leser von 10 Jahren an

Bestell-Nr. 629 970 6

DDR 6,50 M



Wodurch entsteht das Licht in der Glühlampe? Wie arbeitet unser Kühlschrank? Warum schaltet sich das Reglerbügeleisen von selbst ein und aus? Wie kommt es, daß sich die Bilder im Kino bewegen? Warum kann man Musik auf Schallplatten und Tonbändern speichern? Wie funktionieren Telefon und Radio, und wie kommen die Fernsehbilder durch die Luft? – Wer wissen möchte, wie diese und andere Dinge, die zu unserem Alltag gehören, funktionieren, findet es hier anschaulich und leichtverständlich beschrieben.

