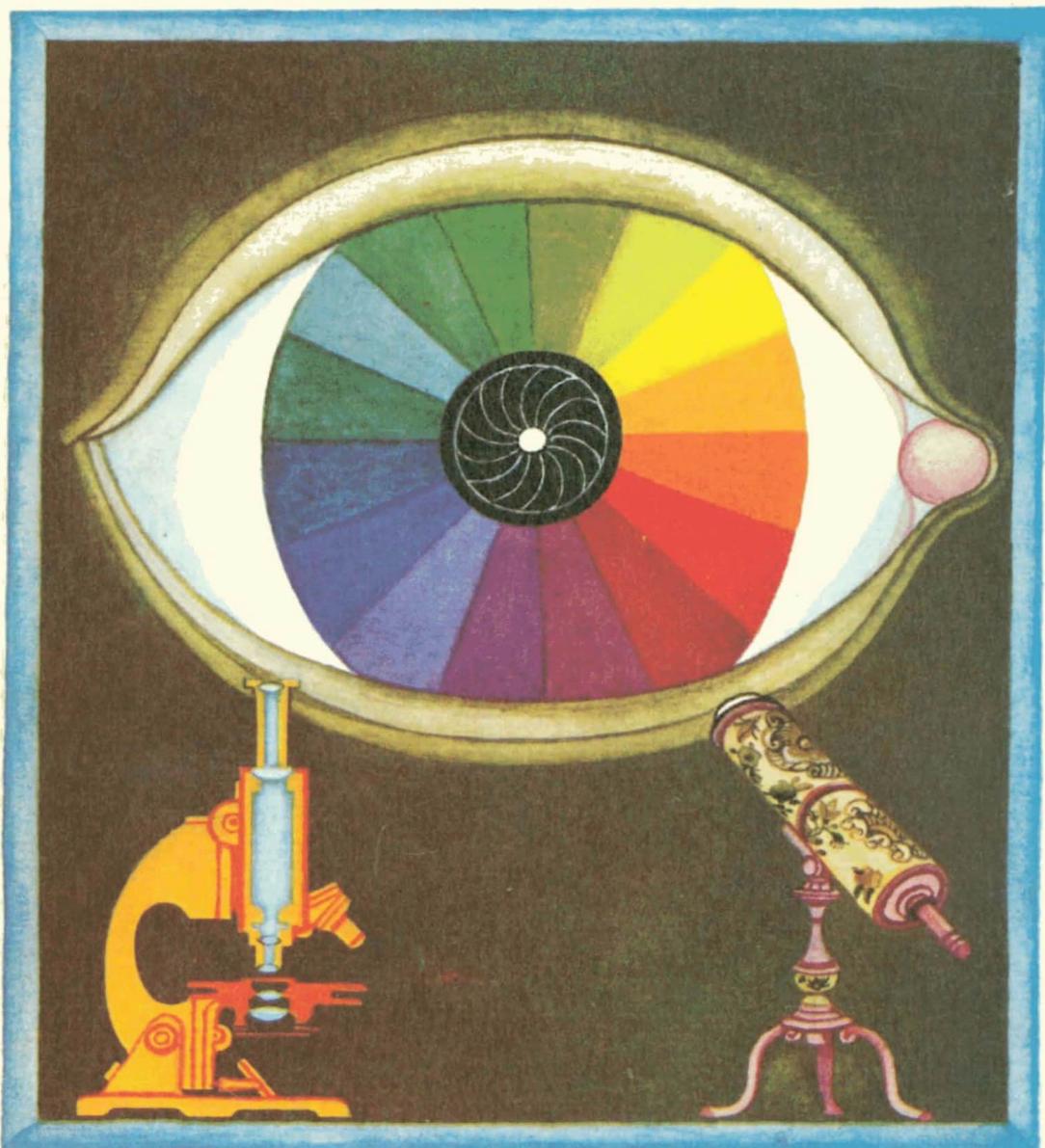
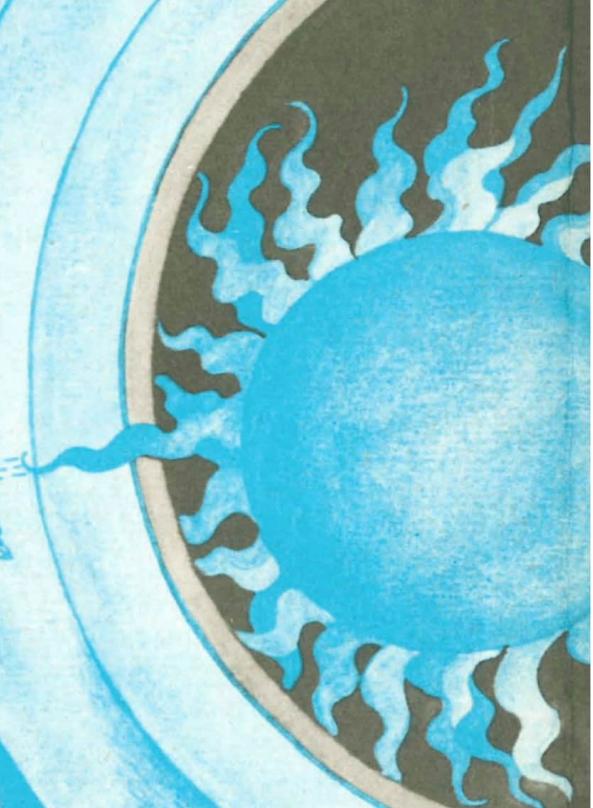
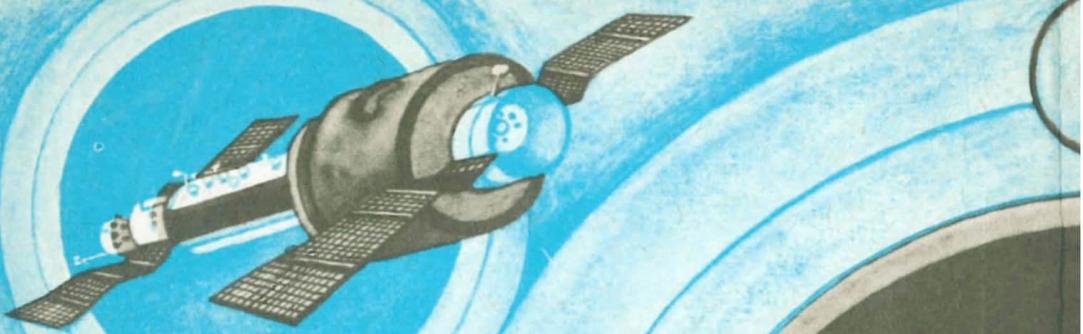
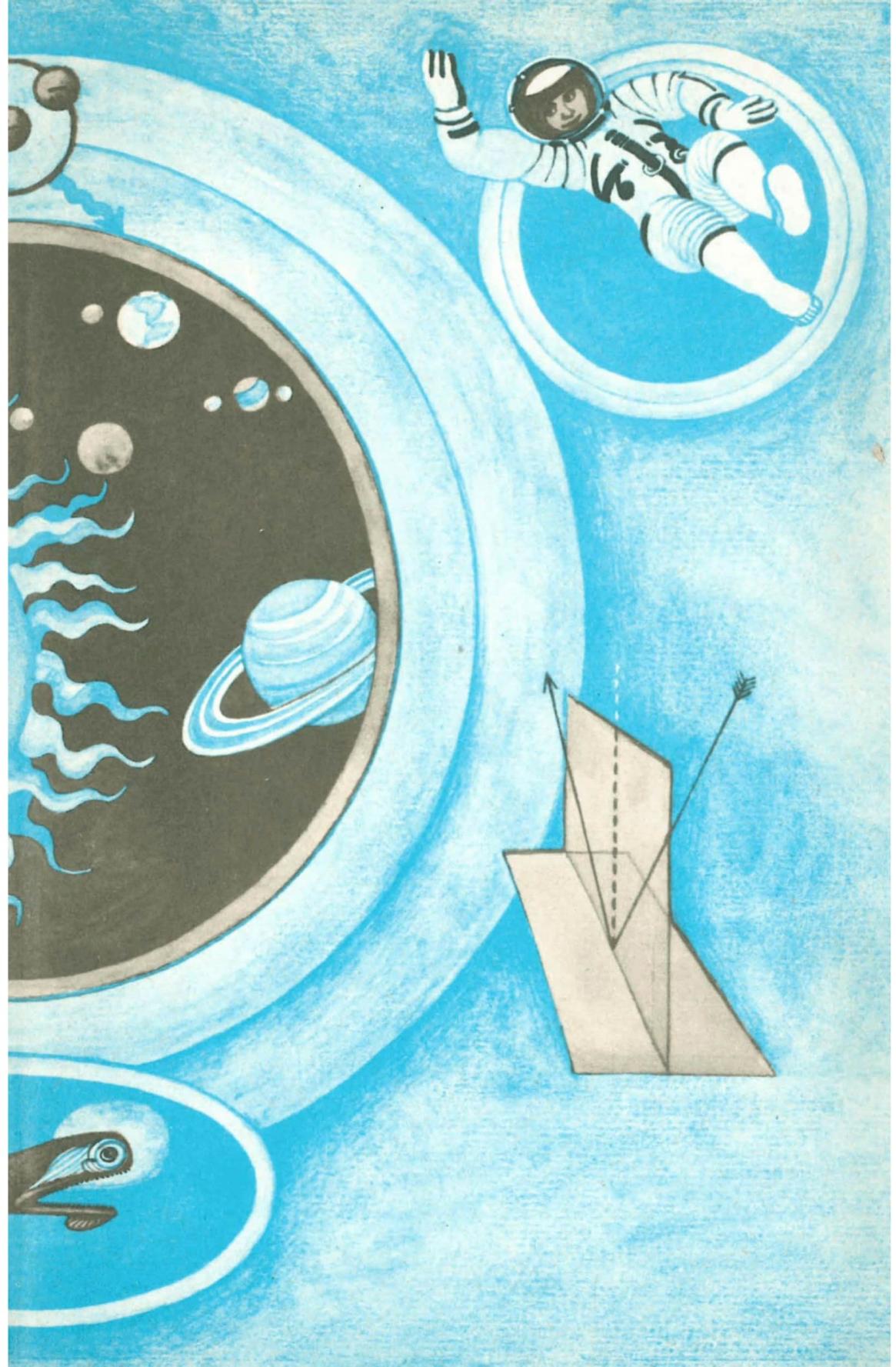


HANS
KLEFFE

Farbe, Licht und Röntgen- strahlen







Hans Kleffe
Farbe, Licht und Röntgenstrahlen

Wir erforschen die Natur

Hans Kleffe

Farbe, Licht und Röntgen- strahlen

Illustrationen von
Renate Totzke-Israel

Der Kinderbuchverlag
Berlin

3. Auflage 1985 · © DER KINDERBUCHVERLAG BERLIN – DDR 1978
Lizenz-Nr. 304-270/367/85-(80)

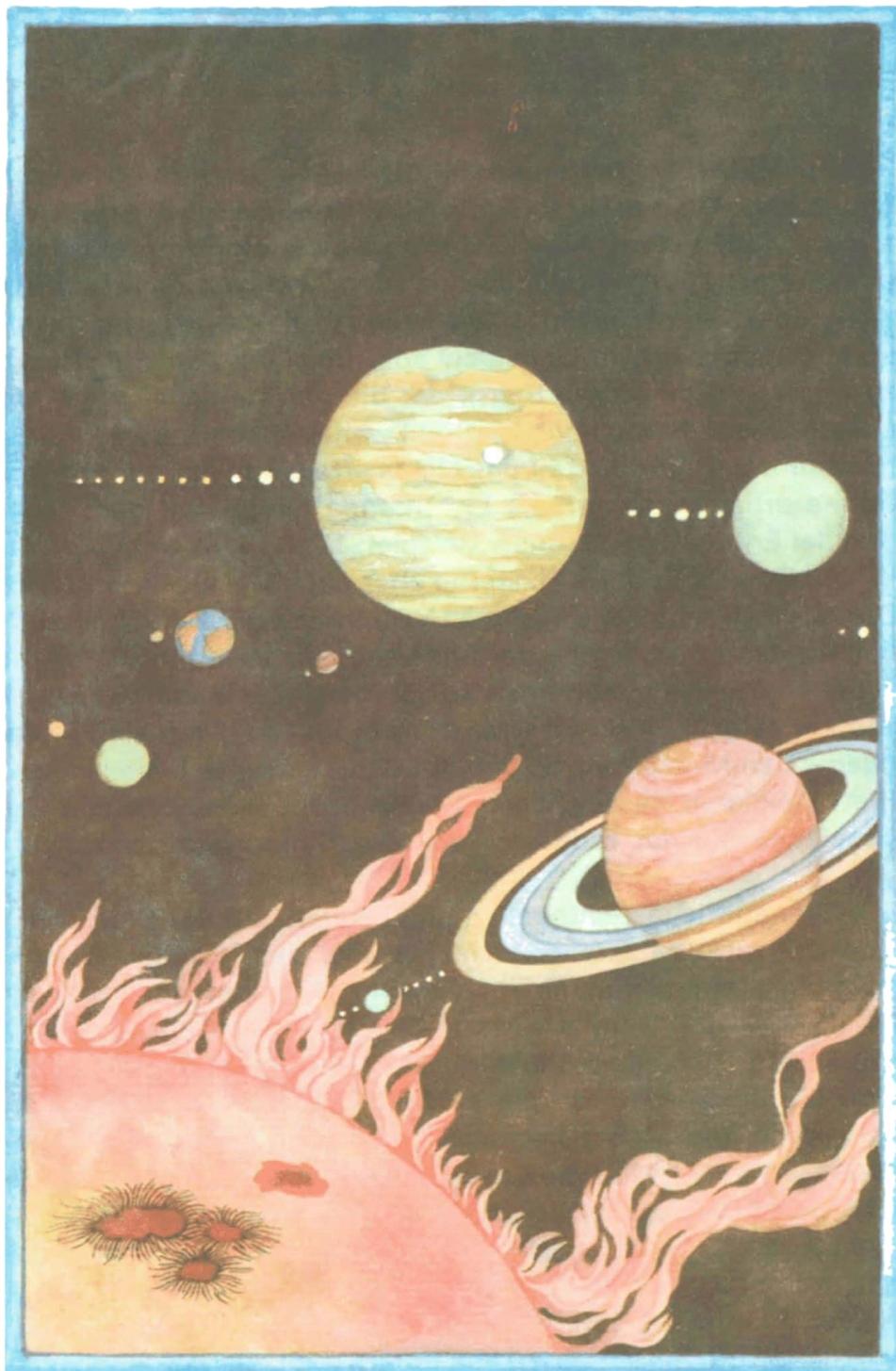
Lichtsatz: INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb Leipzig – III/18/97
Repro, Druck und buchbinderrische Verarbeitung:
Grafischer Großbetrieb Sachsendruck Plauen
LSV 7841 · Für Leser von 10 Jahren an
Best.-Nr. 630 295 2 · 00680

Lichtquellen – vom Weltraum bis in die Tiefsee

Seit 4,5 Milliarden Jahren strahlt die Sonne das für uns lebensnotwendige Licht zur Erde. Außer ihr gibt es im Weltall noch viele andere Lichtquellen. Alle Fixsterne, die wir am Himmel sehen, sind Sonnen, nur befinden sie sich sehr viel weiter entfernt als die unsere. Darum sehen wir sie lediglich als kleine Lichtpunkte, und deshalb reicht ihr Licht nicht aus, um auf der Erde die Nacht zu erhellen. Von einem Stern, der die gleiche Leuchtkraft wie unsere Sonne hätte, aber 1000mal weiter entfernt wäre, würde uns nur der 1 000 000. Teil des Lichts erreichen, das wir von der Sonne erhalten. Denn: die Lichtmenge nimmt mit dem Quadrat der Entfernung ab (unser Beispiel: $1\,000 \cdot 1\,000 = 1\,000\,000$). In Wirklichkeit sind die Fixsterne aber noch viel weiter entfernt. Der Abstand schon des nächsten Nachbarsterns, Alpha Centauri, beträgt das 271 000fache der Entfernung Erde–Sonne.

Die anderen Planeten unseres Sonnensystems und der Mond senden selbst kein Licht aus, obwohl wir sie als helle Punkte oder – den Mond – als Scheibe beziehungsweise Sichel sehen. Sie reflektieren das Licht der Sonne nur, ebenso wie alle Gegenstände auf der Erde bei Tage das Sonnenlicht zurückwerfen.

Viele natürliche Lichtquellen gibt es auch auf der Erde. Beim Gewitter zuckt ein greller Lichtblitz über den Himmel. Wetterleuchten stammt von einem Gewitter, welches so weit weg ist, daß wir den Donner nicht mehr hören. Doch das Licht der Blitze kann sich unter bestimmten Bedingungen durch Reflexion (Zurückwerfen) an den Wolken über weite Entfernnungen ausbreiten und als schwacher Schimmer zu sehen sein. Großstadtbewohner bekommen manche Lichtquellen selten oder nie zu sehen: Da zittert und zuckt nachts bald hier, bald dort ein kleines bläuliches Flämmchen über den Wassertümpeln und Mooren auf und verlischt nach kurzer Zeit wieder. Irrlichter nennt sie der Volksmund. Um den Monat Juli schwirren kleine Lichter durch die Luft. Sie stammen von Käfern mit Leuchtorganen, von



Glühwürmchen. Die Männchen können fliegen, die Weibchen kriechen nur am Boden umher, leuchten aber auch.

Seefahrer beobachten zuweilen ein nächtliches Leuchten des Meeres. Es röhrt von unzähligen winzigen Leuchttierchen her. Sie schwimmen in riesigen Schwärmen. In großen Meerestiefen, die kein Sonnenlicht erreicht, haben Tiefseeforscher Tiere beobachtet, die Leuchtorgane haben und damit ihre nächste Umgebung erhellen.

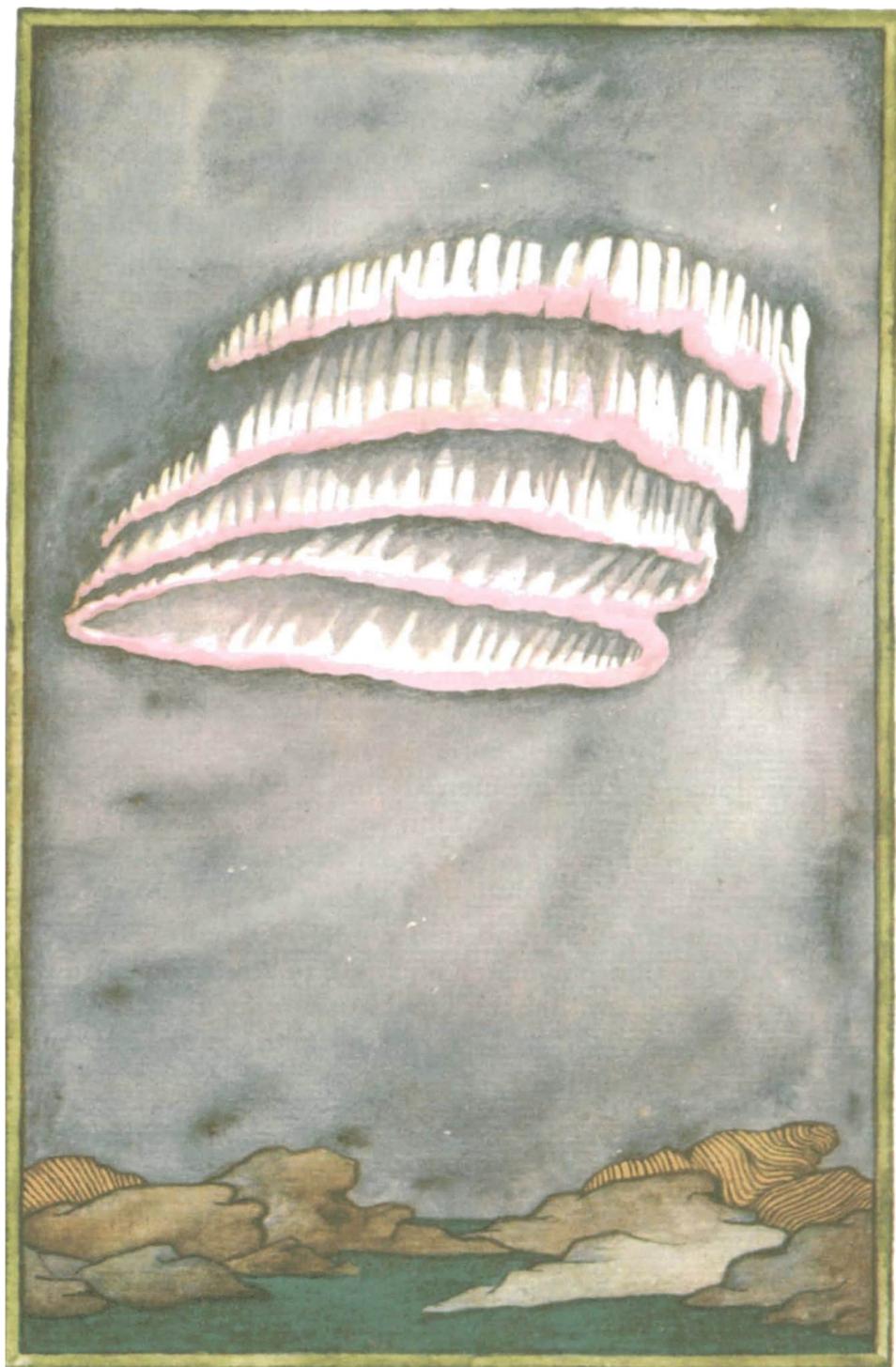
Besonders geheimnisumwittert waren lange Zeit die Elmsfeuer. Bei manchen Wetterlagen erscheinen sie über Kirchturm spitzen, Schiffsmasten und anderen nach oben ragenden Gegenständen. Heute weiß man, daß sie wie der Blitz elektrische Erscheinungen sind. In den Gebieten um den Nord- und Südpol sind am nächtlichen Himmel häufig farbenprächtige Lichterscheinungen zu beobachten, die sogenannten Polarlichter. Sie sehen wie über den Himmel gespannte leuchtende Vorhänge aus.

Längst haben die Menschen viele Arten künstlicher Lichtquellen ersonnen. Auf Straßen und Plätzen brennen Laternen, in unseren Wohnungen Glühlampen, Leuchtstofflampen oder – zu festlichen Anlässen – Kerzen. Fast gespenstisch leuchten die Strichmarken des Wecker-Zifferblatts und die Zeiger aus dem nächtlichen Dunkel. Auch sie sind Lichtquellen, ebenso die Bildschirme der Fernsehempfänger, deren Licht uns bewegte Bilder sehen läßt. Im elektronischen Taschenrechner leuchten grüne oder rote Ziffern auf und zeigen das Ergebnis an...

Die Aufzählung der künstlichen Lichtquellen ist damit noch lange nicht vollständig. Doch lassen wir es damit genug sein und wenden wir uns der Frage zu: Wodurch leuchten eigentlich die verschiedenen Lichtquellen?



Manche Tiefseetiere haben Leuchtorgane



Polarlicht

Ein Experiment mit dem Wecker

Mit einem Wecker, der ein Leuchtzifferblatt hat, läßt sich ein interessanter Versuch ausführen: Wenn es finster ist, legen wir die Uhr einige Minuten, mit dem Zifferblatt nach oben, direkt unter die Tisch- oder Stehleuchte, so daß grelles Licht darauf fällt. Dann schalten wir die Lampe aus. Jetzt sehen wir die Strichmarken und Zeiger aus dem Dunkel kräftig leuchten. So hell strahlen sie am nächsten Morgen nicht mehr. Warum ist ihr Licht besonders hell, wenn sie kurz zuvor viel Licht empfangen haben, und warum läßt ihre Leuchtkraft mit der Zeit nach?

Die nächstliegende Erklärung wäre, daß der Leuchtstoff, der sich auf dem Zifferblatt und den Zeigern befindet, selbst erst Licht bekommen muß, bevor er Licht aussenden kann. Der Stoff sammelt gewissermaßen einen Lichtvorrat und gibt ihn dann allmählich in kleinen Mengen wieder ab. Warten wir genügend lange, müßte daher der Lichtvorrat irgendwann verbraucht sein und der Leuchtstoff könnte kein Licht mehr aussenden.

Ob diese Vermutung richtig ist, wollen wir prüfen. Wenn wir zum Beispiel während der Ferien den Wecker einige Zeit nicht brauchen, legen wir ihn in einen Karton, in den kein Licht dringt. Nach einer Woche nehmen wir ihn wieder heraus, was im Dunkeln geschehen muß, damit er auch in diesem Moment kein Licht bekommt. Das Ergebnis des Versuchs sei vorweg verraten: Auf dem Zifferblatt und den Zeigern ist kein Lichtschimmer zu sehen. Das beweist: Leuchtstoffe müssen erst selbst Licht empfangen, um danach Licht aussenden zu können. Die über eine kürzere oder längere Zeit verteilte Lichtausstrahlung nennt man Nachleuchten.

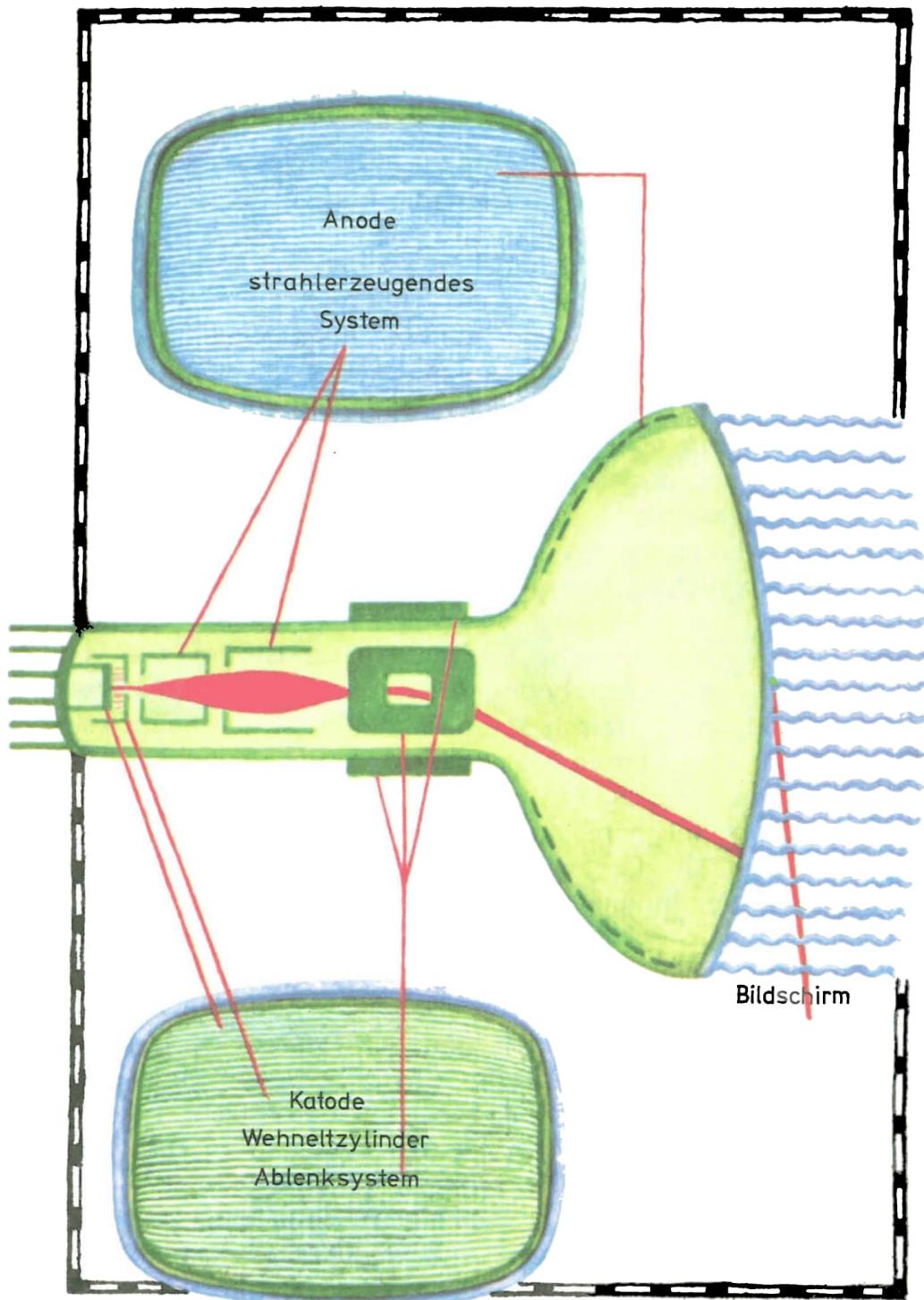
Wie entsteht das Licht im Fernseher?

Es gibt viele Arten Leuchtstoffe. Sie unterscheiden sich durch die Farbe des ausgesandten Lichts und durch die Nachleuchzeit. Bei dem Leuchtstoff der Zifferblätter und Zeiger beträgt die Nachleuchzeit viele Stunden, denn sie muß ja mindestens so lang wie die Nacht sein. Es gibt aber auch Leuchtstoffe, die nur eine tausendstel, ja sogar nur eine hundertmillionstel Sekunde nachleuchten. Derart kurze Nachleuchzeiten können wir mit unseren Augen gar nicht feststellen. Uns scheint, als würden die Stoffe überhaupt nicht nachleuchten, sondern nur im selben Moment, in dem sie von Licht getroffen werden, selbst auch Licht aussenden.

Man verwendet für das lang andauernde und das ganz kurzzeitige Nachleuchten zwei verschiedene Ausdrücke: Das erste nennt man Phosphoreszenz, das zweite Fluoreszenz. Phosphor und Fluor sind chemische Elemente (Grundstoffe). Die von ihnen abgeleiteten Bezeichnungen Phosphoreszenz und Fluoreszenz sind eigentlich falsch, denn Phosphor ist überhaupt kein Leuchtstoff, obwohl man das zunächst irrtümlich annahm, und die Fluoreszenz tritt nicht nur bei fluorhaltigen Stoffen auf.

Leuchtstoffe mit ganz kurzen Nachleuchzeiten braucht man zum Beispiel für das Fernsehen. Die grünlichgraue Schicht, die sich an der Innenseite der großen Vorderfläche der Bildröhre befindet, besteht aus solchen Leuchtstoffen. Sie werden durch eine Strahlung, die im hinteren Teil der Bildröhre künstlich erzeugt wird, zum Leuchten gebracht. Aus dem hinteren Röhren „hals“ fliegen nämlich ständig viele winzige Teilchen, Elektronen genannt, mit großer Geschwindigkeit gegen den Leuchtstoffschild. Wir sehen: Nicht nur durch Licht, sondern auch durch andere Strahlen können Leuchtstoffe zum Aussenden von Licht veranlaßt werden.

Beim Fernsehen darf die Nachleuchzeit nur ganz kurz sein, weil in jeder Sekunde 50 (halbe) unbewegte Bilder nacheinander auf dem Schirm erscheinen müssen. Einen so schnellen Wech-



sel der Bilder erkennt unser Auge nicht. Vielmehr „verschmelzen“ die vielen stehenden Einzelbilder zu einem bewegten Bild. Hätten die Leuchtstoffe längere Nachleuchtzeiten, so wäre das vorangegangene Einzelbild noch nicht erloschen, wenn das nächstfolgende erscheint.

Daß verschiedene Leuchtstoffarten Licht unterschiedlicher Farben aussenden, macht man sich beim Farbfernsehen zunutze. Der Bildschirm des Farbfernsehers ist mit drei Arten Leuchtstoff versehen: je einer sendet rotes, grünes oder blaues Licht aus. Alle anderen Farben entstehen durch die Mischung von rotem, grünem und blauem Licht.

Übrigens gibt es auch Zifferblätter, bei denen der Leuchtstoff nicht durch Licht zum Aussenden von Licht veranlaßt wird, sondern durch eine ganz andere Art Strahlung. Bei solchen Zifferblättern würde der zuvor geschilderte Versuch daher zu einem anderen Ergebnis führen. Diese Zifferblätter kann man sogar jahrelang ständig im Dunkeln aufbewahren, und sie leuchten trotzdem unaufhörlich weiter. Ihrem Leuchtstoff ist nämlich eine Substanz beigemischt, die von selbst ständig Strahlen aussendet. Diese Strahlen sind nicht sichtbar, doch wenn sie auf den Leuchtstoff einwirken, sendet dieser sichtbares Licht aus. So wird mittels einer unsichtbaren Strahlung sichtbares Licht erzeugt. Die unsichtbare Strahlung läßt erst im Verlaufe vieler Jahre allmählich nach und damit freilich auch die Lichtaussendung des Leuchtstoffs. Da diese unsichtbaren Strahlen nicht gut für den menschlichen Körper sind, werden derartige Leuchtzifferblätter heute nicht mehr hergestellt. Es könnte jedoch sein, daß eine ältere Armbanduhr noch ein solches Zifferblatt hat.

Im hinteren Teil der Fernsehbildröhre werden Elektronenstrahlen erzeugt. Wenn sie auf den Leuchtstoff an der Vorderseite treffen, sendet dieser Licht aus

Warum leuchten die Glühwürmchen?

Das Leuchten der Glühwürmchen und verschiedener Tiere im Meer erklärt sich auf andere Weise. Im Körper dieser Lebewesen ereignen sich chemische Prozesse, Umwandlungen von Stoffen, die mit der Aussendung von Licht verbunden sind. Auf solchen chemischen Vorgängen beruhen auch die Irrlichter über dem Moor. Alle diese Leuchterscheinungen sowie die Fluoreszenz des Fernsehbildschirms und die Phosphoreszenz der Zifferblätter nennt man zusammenfassend Lumineszenz (von lateinisch lumen = Licht). Sie haben ein gemeinsames Merkmal: sie sind „kaltes“ Licht. Lumineszierende Lichtquellen werden also nicht heiß. Das unterscheidet sie von der Glühlampe, deren Lichtaussendung dadurch entsteht, daß ein Metallfaden auf sehr hohe Temperatur von einigen tausend Grad Celsius erhitzt wird. Auch das Licht der Sonne und der anderen Fixsterne entsteht im Gefolge sehr hoher Temperaturen. Diese Arten von Licht nennt man deshalb Temperaturstrahlung.

Ob es zwischen der Temperaturstrahlung und der Lumineszenz aber doch etwas gibt, das jeder Art von Licht gemeinsam ist? Damit werfen wir eine neue Frage auf:

Was ist Licht?

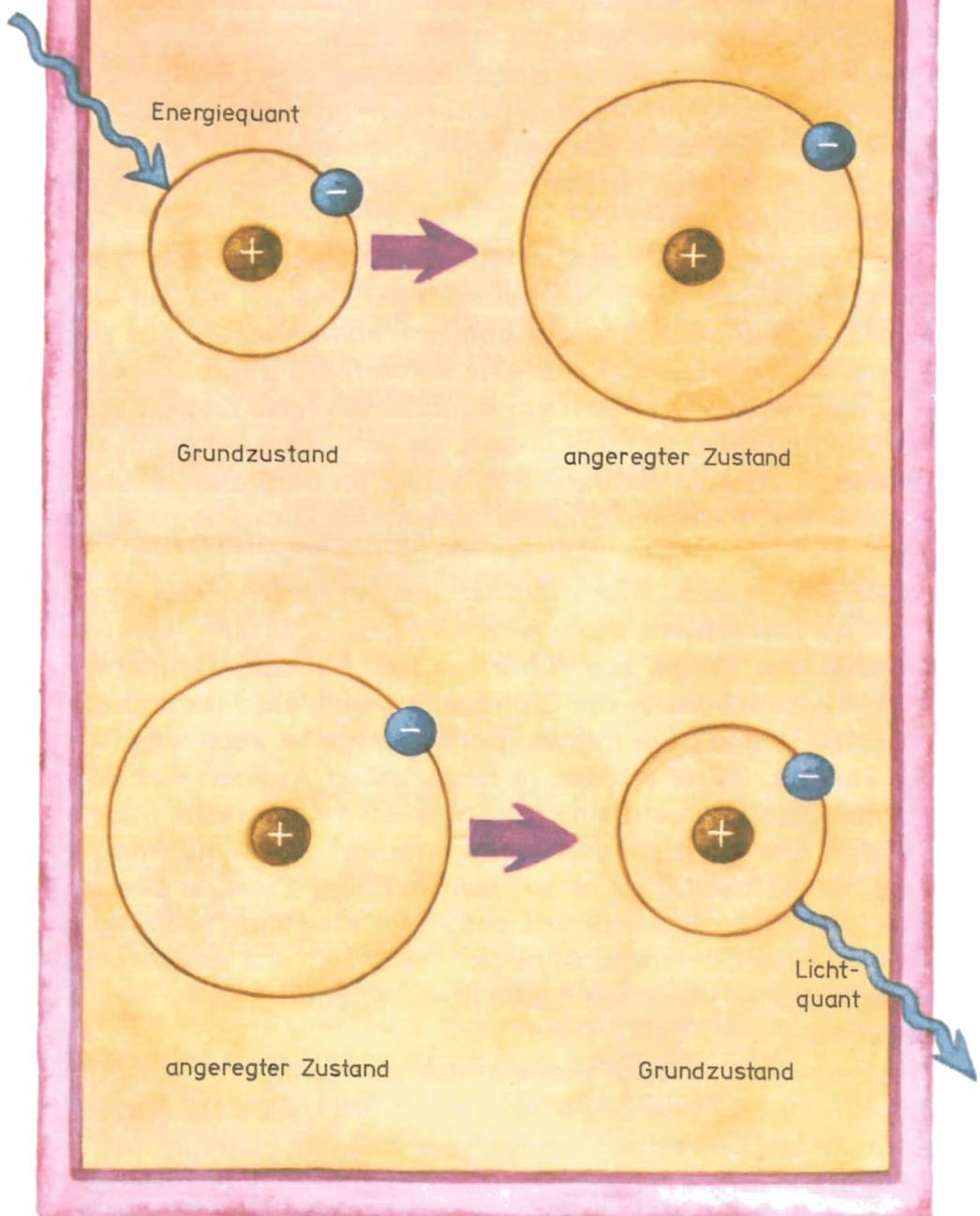
Wenn wir der Frage auf den Grund gehen wollen, müssen wir einen Gedankenausflug ins Reich der kleinsten Teilchen der Materie unternehmen. So wie ein Haufen Sand aus ungezählten einzelnen Sandkörnchen besteht, so sind alle Gegenstände und Stoffe, auch alle Gase und Flüssigkeiten, aus unvorstellbar winzigen Bausteinen zusammengesetzt. Man nennt sie Atome; das bedeutet soviel wie „das Unteilbare“. Aber die Annahme, daß die Atome die kleinsten, nicht weiter teilbaren Bausteine der Stoffe sind, erwies sich später als Irrtum. Es stellte sich heraus, daß die Atome aus noch kleineren Teilen bestehen.

Das Atom ähnelt in seinem Aufbau unserem Planetensystem. So wie die Sonne von mehreren Planeten umlaufen wird, so befindet sich in der Mitte des Atoms ein Kern, um den sich in verschiedenen Abständen auf kreisförmigen oder elliptischen Bahnen Teilchen bewegen, die man Elektronen nennt. Nun verhalten sich im Unterschied zum Planetensystem die Elektronen des Atoms oft sehr merkwürdig: Sie können plötzlich von einer Bahn auf eine andere überspringen, die weiter vom Kern entfernt ist, und ebenso plötzlich wieder auf eine dem Kern nähere zurückspringen.

Befindet sich ein Elektron auf einer vom Atomkern weiter entfernten Umlaufbahn, so hat es mehr Energie als auf einer dem Kern näheren. Energie entsteht aber niemals aus dem Nichts. Soll ein Elektron auf eine kernfernere Bahn überspringen, dann muß dem Atom auf irgendeine Weise Energie zugeführt werden. Das ist nicht anders als im täglichen Leben. Zum Beispiel rückt kein Schrank von selbst an eine andere Stelle. Wir müssen vielmehr Energie aufwenden, um ihn zu bewegen.

Die Energie, die dafür nötig ist, um ein Elektron des Atoms auf eine kernfernere Bahn überspringen zu lassen, kann auf verschiedene Weise zugeführt werden. Bei den Temperaturstrahlern, zum Beispiel der Glühlampe, geschieht das durch starkes Erhitzen des Glühdrahtes. Denn Wärme ist auch eine Form der Energie. Dabei werden in ungezählten Atomen des Glühdrahtes Elektronen auf eine kernfernere Bahn gebracht. Sie bleiben dort aber nicht, sondern springen sofort wieder auf eine dem Kern nähere zurück. Dabei senden sie Energie wieder aus, und zwar in Form eines winzigen Lichtblitzes, man kann auch sagen: in Form einer Lichtwelle. Alles Licht setzt sich aus unvorstellbar vielen solcher einzelnen Lichtblitze beziehungsweise -wellen zusammen.

Die lumineszierenden Stoffe enthalten Atome, die nicht durch Zufuhr von Wärmeenergie, also durch Erhitzen, dazu angeregt werden, Elektronen auf kernfernere Bahnen überspringen zu lassen, sondern auf andere Weise. In den Leuchtstoffen des Fernsehbildschirms beispielsweise geschieht dies durch das



Aufprallen anderer Elektronen, die aus dem Bildröhrenhals mit großer Geschwindigkeit auf den Schirm „geschossen“ werden. In den Leuchtstoffen der Uhrenzifferblätter genügt schon das Auftreffen von Licht, um Elektronen auf kernfernere Bahnen überspringen zu lassen. Beim Leuchten der Glühwürmchen und anderen Tiere sowie beim Irrlicht sorgen chemische Vorgänge dafür. Beim Blitz wird den Luftgasen Energie durch einen elektrischen Vorgang zugeführt.

Die Leuchtstoffe mit langer Nachleuchtzeit zeichnen sich dadurch aus, daß in ihnen die Elektronen zahlreicher Atome nicht sofort wieder auf eine kernnähere Bahn zurückspringen, sondern erst nach einiger Zeit. Durch diese Verzögerung erfolgt die Lichtaussendung nicht schlagartig auf einmal, sondern über einen längeren Zeitraum verteilt.

Licht ist ein Gemisch unvorstellbar vieler Lichtwellen. Je mehr Lichtwellen gleichzeitig einen gleich großen Raum durch-eilen, desto heller ist das Licht. Aber nicht alle Lichtwellen sind einander gleich. Wie wir wissen, gibt es verschiedene Farben. Der Unterschied zwischen ihnen besteht darin, daß die Lichtwellen der einzelnen Farben verschiedene Wellenlängen haben. Was ist Wellenlänge?

Direkt anschaulich sind für uns Wasserwellen. Wird ein Stein ins Wasser geworfen, so breiten sich rings um den Einschlagspunkt Wellen aus. Die Wasseroberfläche „kräuselt“ sich. Es entstehen abwechselnde Erhöhungen und Vertiefungen des Wasserspiegels. Man nennt sie Wellenberge und Wellentäler. Der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wellenbergen oder -tälern ist die Wellenlänge. Lichtwellen sind nicht so anschaulich. Aber wir können sie uns auch als Wellenzüge mit abwechselnden Bergen und Tälern vorstellen. Bei ihnen ist die Wellenlänge gleichfalls so groß wie der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wellenbergen oder -tälern. Doch sind

Darstellung eines Atoms mit Kern und Elektronenhülle. Oben: Ein Atom nimmt Energie auf; dabei springt ein Elektron von einer kernnäheren auf eine kernfernere Bahn über. Unten: Beim Zurückspringen des Elektrons auf eine kernnähere Bahn sendet das Atom Licht aus. Alles Licht entsteht auf diese Weise

Lichtwellen von ganz anderer Art als Wasserwellen, die hier nur zum Vergleich dienen.

Die Wellenlängen des Lichts sind unvorstellbar klein. Beim sichtbaren Licht betragen sie etwa 400 bis 750 nm (Nanometer). Ein Nanometer ist der milliardste Teil eines Meters oder der millionste Teil eines Millimeters. Die kürzesten Wellenlängen haben das violette und blaue, die längste Wellenlänge hat das rote Licht. Besteht Licht aus einem Gemisch aller Wellenlängen, also aller Lichtfarben, so erscheint es unseren Augen weiß, genauer gesagt: farblos.

Das seltsame ist, daß wir Lichtwellen selbst überhaupt nicht sehen können, sondern nur Gegenstände, auf die sie treffen. Sieht eine Blume zum Beispiel rot aus, dann bedeutet das: sie wirft von dem Gemisch der Lichtwellen, das auf sie einstrahlt, nur die zurück, deren Wellenlänge der Farbe Rot entspricht. Das Licht aller anderen Wellenlängen absorbiert, „verschluckt“ sie. Blaue Gegenstände werfen nur die Wellen des blauen Lichts zurück und absorbieren alle anderen Lichtwellen und so weiter. Sieht ein Gegenstand weiß aus, dann reflektiert er alle Lichtwellenlängen, sieht er schwarz aus, so reflektiert er keine Lichtwellen, sondern absorbiert alle (fast) vollständig. Wir sehen Gegenstände also immer in der Farbe, die der Wellenlänge des von ihm reflektierten Lichts entspricht.

Stellen wir uns in Gedanken noch ein Experiment vor: Ein weißes Blatt Papier, das heißt Papier, das bei Beleuchtung mit Licht *aller* Wellenlängen weiß aussieht, wird von einer Lichtquelle bestrahlt, die nur rotes Licht aussendet. Wie wird es jetzt aussehen? Selbstverständlich rot! Denn wenn nur rotes Licht auf das Papier einwirkt, kann dieses auch kein anderes Licht zurückwerfen. Betrachten wir nun einmal ein weißes Blatt Papier vergleichsweise am Abend beim Schein der Glühlampe unserer Tischleuchte und am Mittag bei Tageslicht am Fenster. Wer genau beobachtet, wird einen deutlichen Unterschied feststellen. Bei Tageslicht um die Mittagszeit sieht das Papier wirklich weiß aus, im Schein der abendlichen Tischlampe dagegen gelblich. Das liegt daran, daß die Glühlampe zwar ein Gemisch aller Lichtfarben aussendet, in dem jedoch das gelbe und das rote Licht vorherrschen.

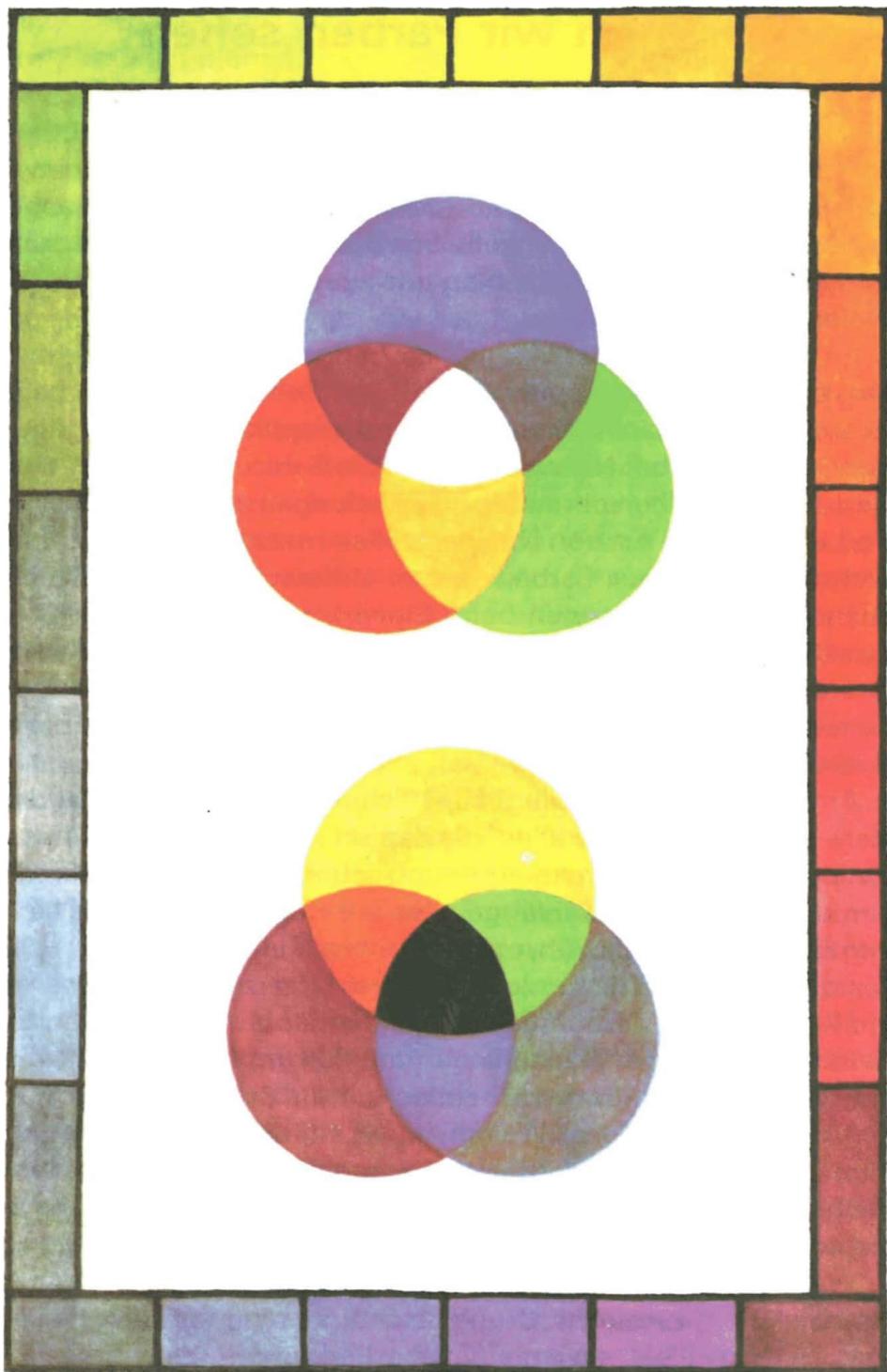
Warum wir Farben sehen

Das merkwürdigste ist: Die Lichtwellen haben gar keine Farben! Nur unsere Augen und unser Gehirn empfinden Licht bestimmter Wellenlänge als farbig, und zwar Licht von etwa 620 nm bis 750 nm als rot, von 590 nm bis 620 nm als orange, von 565 nm bis 590 nm als gelb, von 510 nm bis 540 nm als grün, von 426 nm bis 475 nm als blau und von 400 nm bis 425 nm als violett.

Im hinteren Teil des Augapfels befindet sich die Netzhaut. Sie besteht aus sehr vielen winzigen Zellen, in denen beim Einwirken von Licht chemische und physikalische Vorgänge ausgelöst und über Nervenbahnen dem Gehirn „gemeldet“ werden. Dort entstehen daraufhin Empfindungen der verschiedenen Farben. Die eine Art von Netzhautzellen macht jedoch zwischen Licht verschiedener Farben keinen Unterschied. Diese Zellen, Stäbchen genannt, treten beim Einwirken schwachen Lichts in Funktion, also nachts oder am Tage in einem dunklen Raum. Bei schwachem Licht können wir daher keine Farben unterscheiden. Das besagt schon das Sprichwort: „Nachts sind alle Katzen grau.“

Am Tage oder bei hellem künstlichem Licht arbeitet eine andere Art von Netzhautzellen, die Zapfen. Sie gliedern sich in drei Unterarten. Die eine reagiert hauptsächlich auf Licht im Bereich um etwa 650 nm Wellenlänge, also auf Rot, die zweite auf Licht um 525 nm, also auf Grün, und die dritte auf Licht um 450 nm Wellenlänge, also auf Blau. Jede der drei Unterarten ist gewissermaßen für ein Drittel des Wellenlängenbereichs zuständig. Wirkt nur Licht mit Wellenlängen um 650 nm auf das Auge ein, so sehen wir Rot. Entsprechendes gilt für Blau und Grün. Fällt jedoch Licht sämtlicher Wellenlängen auf die Netzhaut, so werden alle drei Arten von Zapfen gleichzeitig erregt. Daraus resultiert die Empfindung „weißen“, genauer: farblosen Mischlichts.

Werden nur zwei Arten von Zapfen gleichzeitig erregt, zum Beispiel die für Rot und Grün zuständigen, die auf Blau reagierenden aber nicht, so entsteht die Farbempfindung Gelb. Bei



gleichzeitiger Reizung der für Blau und Rot zuständigen Zapfen resultiert die Farbempfindung Purpur, die gleichzeitige Reizung der auf Blau und Grün reagierenden Zapfen ergibt die Farbempfindung Blaugrün.

Hier eine Übersicht:

$$\text{Blau} + \text{Grün} = \text{Blaugrün}$$

$$\text{Blau} + \text{Rot} = \text{Purpur}$$

$$\text{Grün} + \text{Rot} = \text{Gelb}$$

$$\text{Blau} + \text{Grün} + \text{Rot} = \text{Weiß}$$

Wir sehen: Außer den drei Grundfarben Blau, Grün und Rot werden durch „Addition“ von zwei oder drei Grundfarben auch andere Farben beziehungsweise Weiß ermischt. Verändert man die Anteile der Grundfarben und mischt zum Beispiel viel Grün mit wenig Rot, so sind noch weitere Farbtöne zu erzeugen. Das menschliche Auge kann etwa 130 verschiedene Farbtöne unterscheiden.

Blau, Grün und Rot fungieren deshalb als Grundfarben, aus denen sich alle anderen Farben ermischen lassen, weil wir drei Arten von Netzhaut-Zapfen haben, von denen jede auf eine der Grundfarben spezialisiert ist.

Strahlt man mit je einem Bildwerfer rotes, grünes und blaues Licht übereinander auf dieselbe Fläche, so heben sich alle Farbempfindungen gegenseitig auf, und wir sehen Weiß. Weil hierbei die Farben gewissermaßen addiert werden, nennt man das additive Farbmischung. Es ist aber auch das umgekehrte Prinzip möglich, von weißem Mischlicht durch Filter bestimmte Farben zu „verschlucken“, also gewissermaßen von der Summe des Lichts abzuziehen, zu subtrahieren. Das nennt man subtraktive Farbmischung.

Oben: additive Farbmischung. Werden rotes, grünes und blaues Licht auf eine Fläche übereinandergestrahlt, so entstehen durch Mischung auch Gelb, Purpur und Blaugrün sowie Weiß. Unten: subtraktive Farbmischung. Strahlt man weißes Licht durch blaugrüne, purpurne und gelbe Filter, so werden Anteile des weißen Lichts von diesen „verschluckt“. Dabei erscheinen die Farben Rot, Grün und Blau sowie Schwarz. Als Filter wirken Farbstoffe, die das Farb-Diapositiv enthält

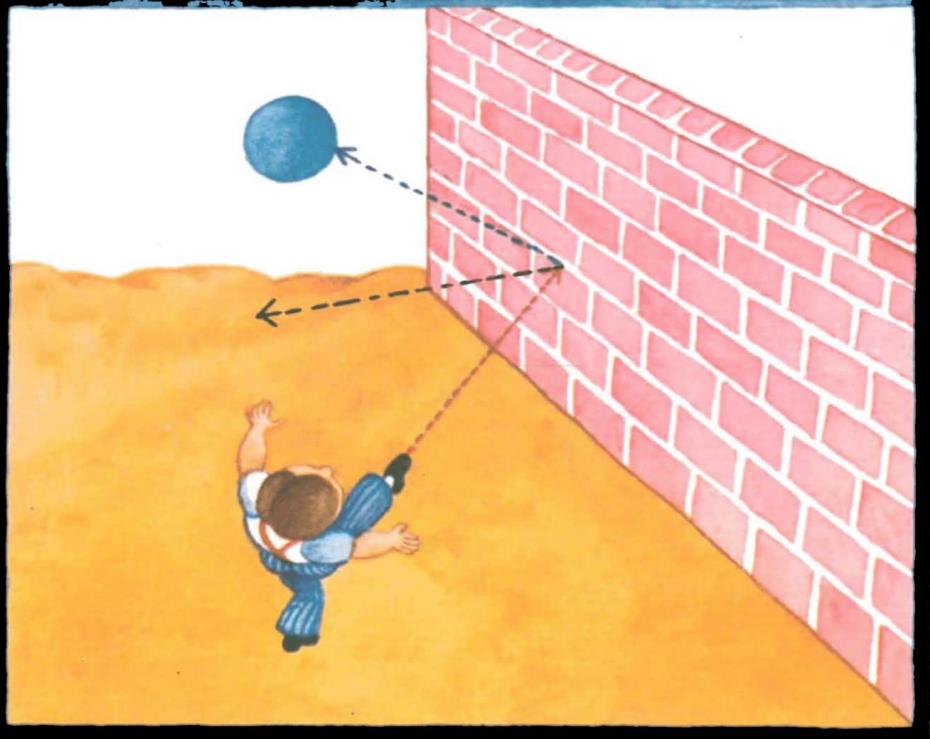
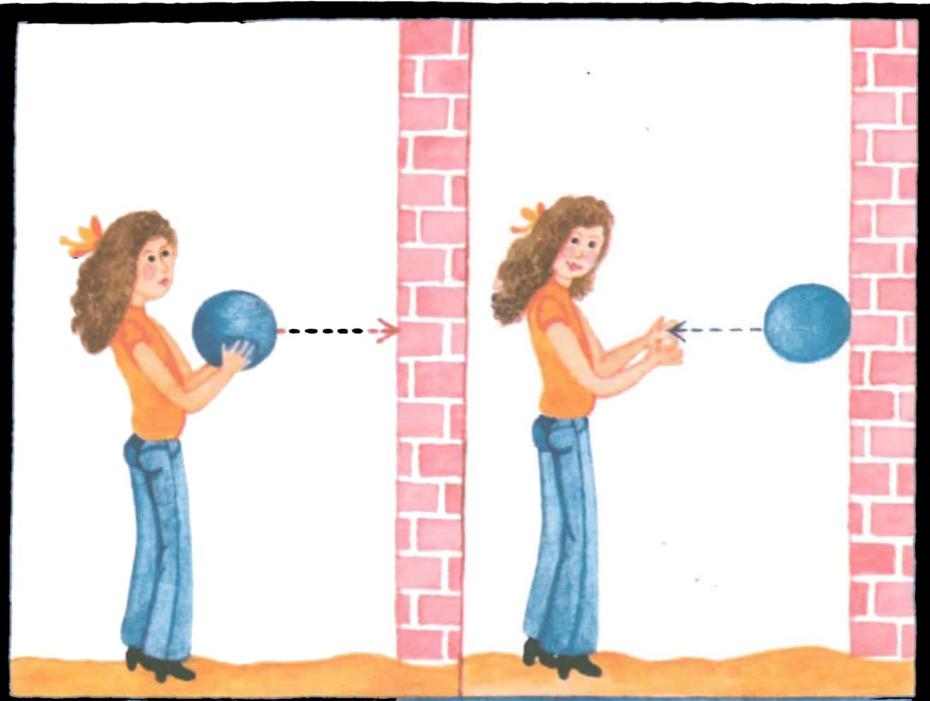
tive Farbmischung. Sie wird in der Farbenfotografie angewendet. Die Lampe im Bildwerfer erzeugt weißes Mischlicht. Bevor es jedoch zur Projektionswand gelangt, geht es durch das eingelegte Dia. Dieses enthält Farbstoffe, die einige Farbanteile des weißen Mischlichts verschlucken, so daß nur bestimmte andere Farben übrigbleiben und auf der Projektionswand erscheinen. Auch die farbigen Kinobilder werden subtraktiv ermischt, das Fernsehbild dagegen additiv.

Wie entsteht das Spiegelbild?

Werfen wir einen Ball kräftig gegen die Wand, so prallt er wieder zu uns zurück. Das wollen wir uns im Bild auf Seite 23 oben einmal genau ansehen. Dort ist die Fluglinie des Balls von der werfenden Hand zur Wand rot gezeichnet. Sie bildet mit der Ebene der Wand einen Winkel von 90° . Im gleichen Winkel prallt er von der Wand wieder ab und kehrt deshalb zu uns zurück (blaue Linie). Man kann diese Gesetzmäßigkeit ganz kurz so beschreiben: Einfallwinkel = Ausfallwinkel.

Im Bild darunter wird der Ball schräg gegen die Wand geworfen. Seine Fluglinie zur Wand ist wieder rot gezeichnet. Sie bildet mit der Ebene der Wand diesmal einen Winkel von 45° . Jetzt kehrt der Ball nicht zu uns zurück, sondern prallt nach dem Gesetz Einfallwinkel = Ausfallwinkel um 45° nach der anderen Seite ab (blaue Linie). Um genau zu sein, müssen wir diese Gesetzmäßigkeit noch um eine Kleinigkeit ergänzen: Einfall- und Ausfallwinkel liegen stets in einer Ebene mit dem Einfallslot. Das ist die in unserem Bild schwarz gezeichnete Gerade. Die Fluglinien des Balls zur Wand und von der Wand zurück sowie das Einfallslot liegen also in einer und derselben Ebene.

Oben: Ein gerade gegen die Wand geworfener Ball kehrt zu uns zurück. Unten: Werfen wir den Ball schräg gegen die Wand, so prallt er im gleichen Winkel nach der anderen Seite ab

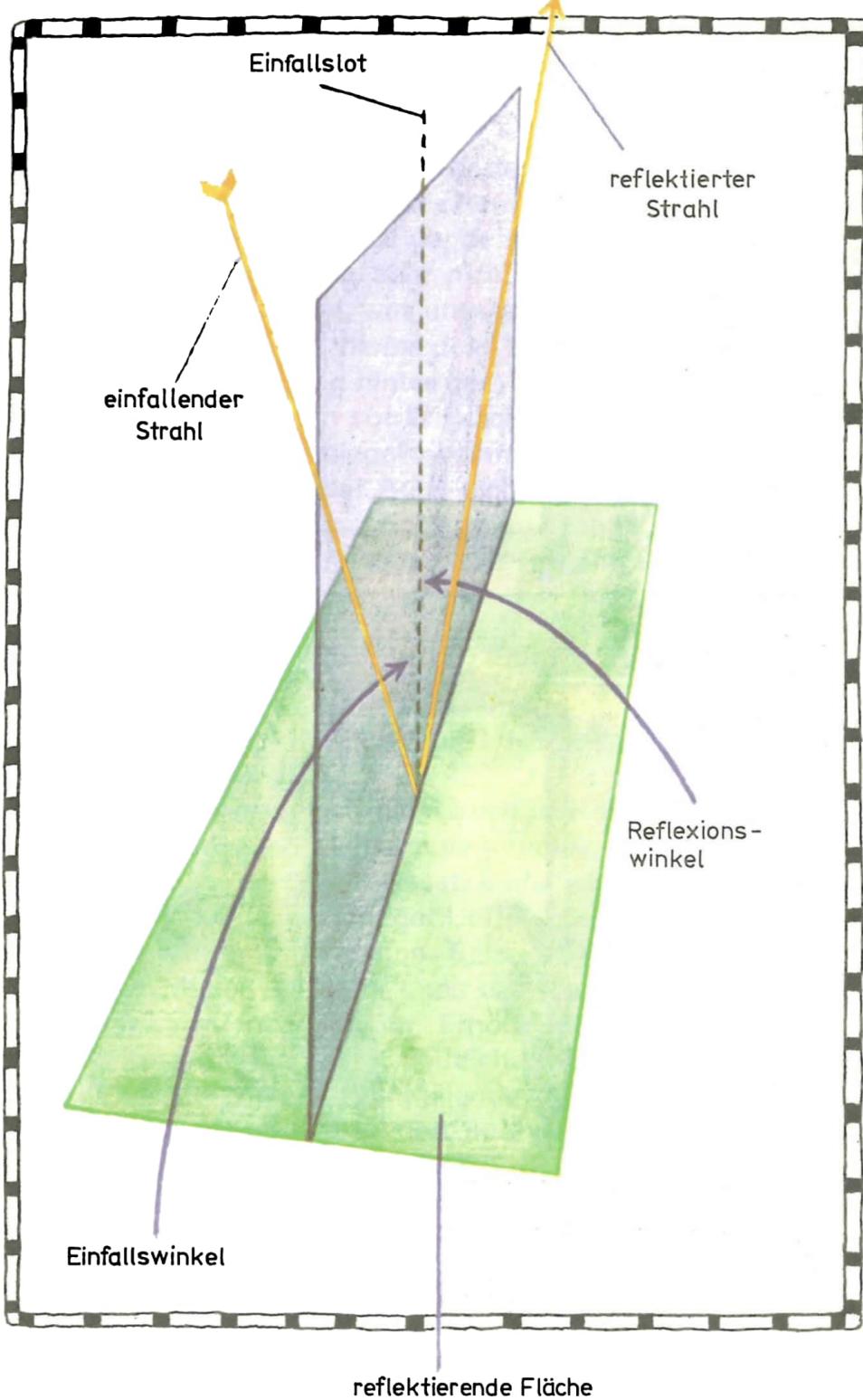


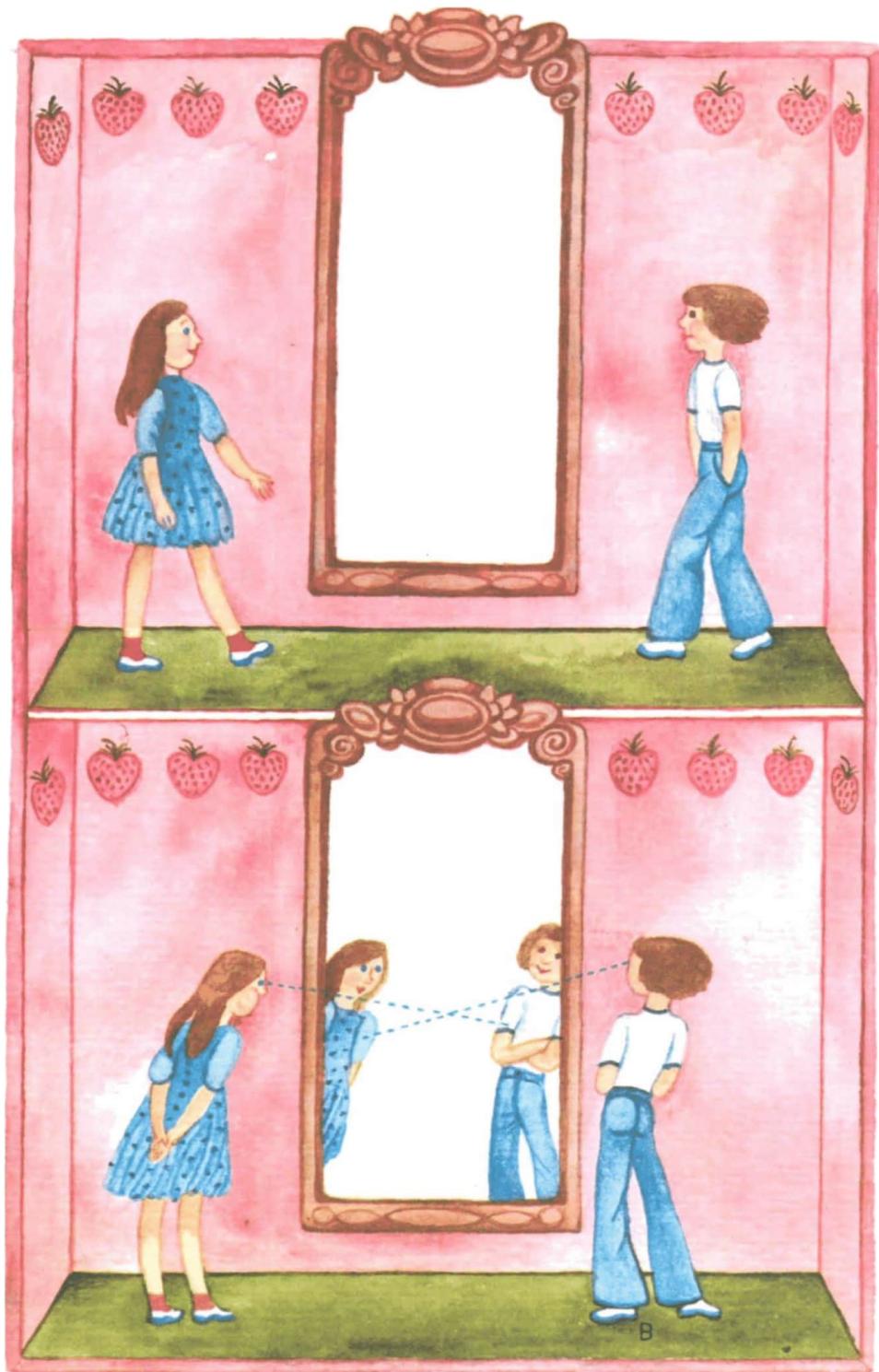
Beim Wurf eines Balles wären die Flugbahnen in Wirklichkeit nicht ganz so gerade wie hier gezeichnet, weil der Ball während des Fluges etwas an Höhe über dem Erdboden verliert. Aber Lichtstrahlen verlaufen, wenn sie auf einen Spiegel treffen, ganz genau so wie in unserem Bild dargestellt. Stehen wir vor einem Spiegel, so treffen die von unserem Körper zurückgeworfenen Lichtstrahlen auf die Spiegelfläche und werden von dieser in unser Auge reflektiert. Ob das in den Bildern auf Seite 23 Gezeigte auch für Lichtstrahlen gilt, können wir leicht nachprüfen. Stellen wir uns – entsprechend dem oberen Bild auf Seite 23 – genau vor den Spiegel, so sehen wir uns. Stellen wir uns aber seitlich davor – entsprechend dem Bild auf Seite 26 unten –, so fallen die von unserem Körper ausgehenden Lichtstrahlen im Winkel von 45° auf den Spiegel und werden daher im gleichen Winkel nach der anderen Seite reflektiert. Wir sehen uns im Spiegel selbst nicht. Aber jemand, der an dem mit B bezeichneten Punkt steht, sieht unser Spiegelbild und wir das seine. Keiner sieht sich also selbst, aber jeder sieht das Spiegelbild des anderen.

Wie ist ein Spiegel beschaffen?

In jeder sehr glatten Fläche kann man sich spiegeln, also beispielsweise auch in einer gewöhnlichen Glasscheibe. Doch dabei entsteht bloß ein sehr schwaches Spiegelbild, weil nur ein kleiner Teil der Lichtstrahlen von der Glasoberfläche zurückgeworfen wird. Der größte Teil geht durch die Scheibe hindurch. Um das zu verhindern, ist die Glasscheibe eines Spiegels auf der Rückseite mit einer dünnen Metallschicht versehen, die das Licht (fast) vollständig zurückwirft. Zum Schutz der dünnen Schicht gegen Kratzer und andere Beschädigungen ist sie noch

So entsteht eine Spiegelung. Als Einfallslot bezeichnet man die gedachte Linie, die im Auftreffpunkt des Lichtstrahls senkrecht auf der reflektierenden Fläche steht





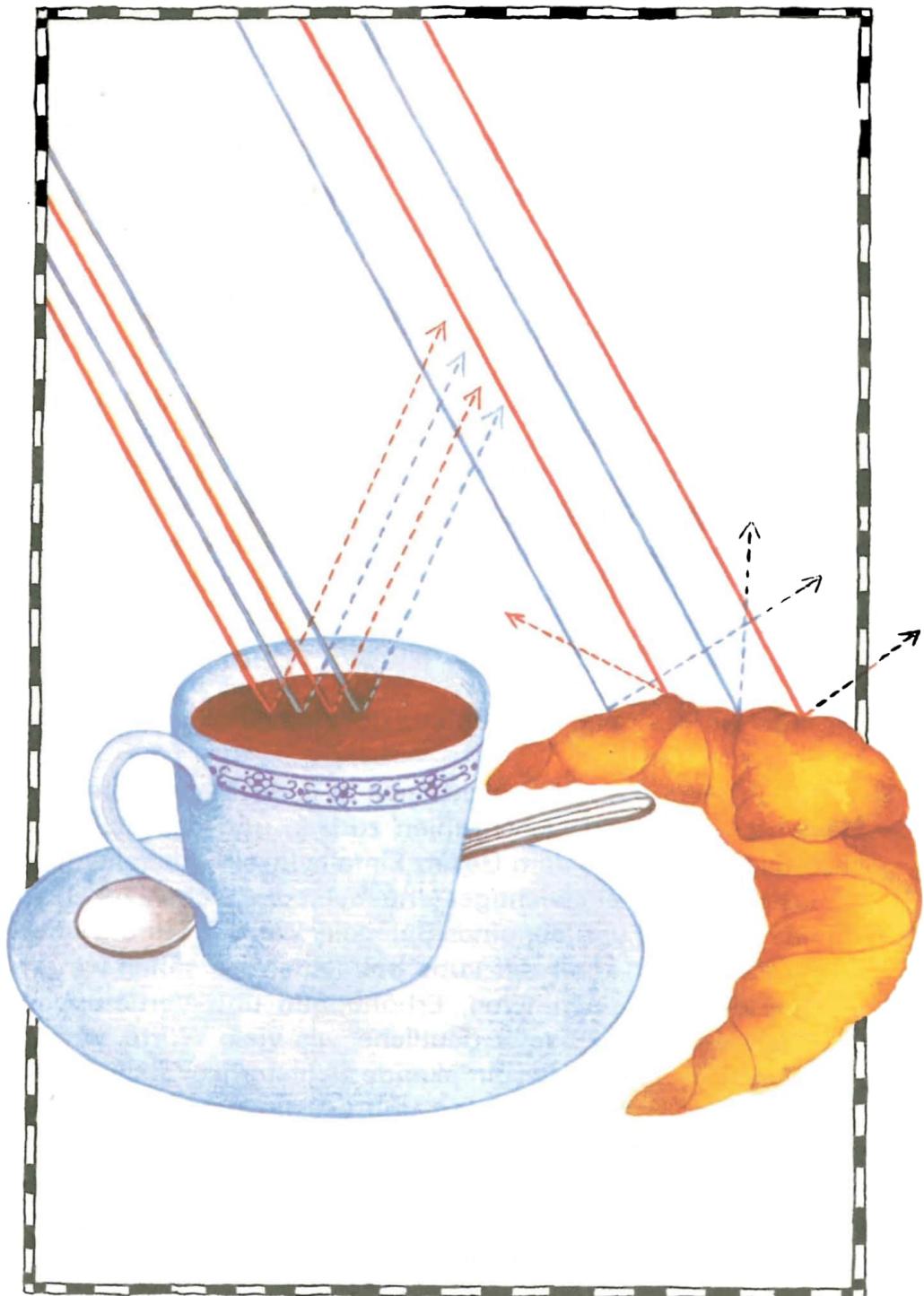
mit einer Schutzfarbe überzogen. Es gibt auch Metallspiegel. Sie haben eine verchromte Oberfläche, die ebenfalls ganz glatt ist und spiegelt. Obendrein haben sie den Vorteil, unzerbrechlich zu sein.

Wir stellen uns noch einmal vor den Spiegel und fragen: Wo, das heißt an welcher Stelle des Raumes, sehen wir unser Spiegelbild? Wir wissen, daß wir vor dem Spiegel stehen. Wenn wir uns von diesem Wissen aber nicht beeinflussen lassen, sondern genau beschreiben, was unsere Augen sehen, müssen wir sagen, daß unser Bild *hinter* dem Spiegel steht, und zwar in der gleichen Entfernung hinter dem Spiegel, in der wir vor ihm stehen. Das erklärt sich so: Das Licht durchläuft den Weg zwischen uns und dem Spiegel zweimal, nämlich hin und zurück. Das „weiß“ jedoch unser Auge nicht. Es sieht das Spiegelbild vielmehr in der doppelten Entfernung, also in einer Ebene hinter dem Spiegel, die doppelt so weit von uns entfernt ist als der Spiegel.

Noch etwas ist merkwürdig am Spiegelbild: Es ist stets seitенverkehrt! Heben wir einmal den linken Arm! Im Spiegelbild ist es der rechte. Wiederum wissen wir, daß es in Wirklichkeit der linke ist. Aber vom Standpunkt des Spiegelbildes aus gesehen ist es der rechte.

Warum kann man sich nicht auch in einer Mauer spiegeln? Sie wirft doch auch Lichtstrahlen zurück, und das geschieht ebenfalls streng nach dem Gesetz Einfallwinkel = Ausfallwinkel. Es besteht jedoch ein wichtiger Unterschied zwischen der Oberfläche der Mauer und der eines Spiegels. Würden wir die Oberfläche der Mauer unter der Lupe betrachten, so sähen wir unzählige kleine Unebenheiten, Erhöhungen und Vertiefungen. Das Bild auf Seite 28 zeigt deutlicher als viele Worte, warum eine ebene Fläche parallel einfallende Lichtstrahlen auch wieder als parallele Strahlen reflektiert und warum das bei einer unebenen Fläche nicht der Fall ist. Diese wirft parallel auftreffende

Stehen zwei Kinder seitlich vor einem Spiegel, so sieht jedes das Spiegelbild des anderen, aber nicht sein eigenes



Strahlen in die verschiedensten Richtungen zurück. Das nennt man **diffuse Reflexion** oder **Lichtstreuung**, weil das Licht regellos in die Umgebung gestreut wird. Dabei kann kein Spiegelbild entstehen.

Nur sehr glatte Oberflächen, wie man sie durch Polieren oder Schleifen erzeugt, ergeben eine regelmäßige Reflexion. Die meisten Oberflächen, die wir im gewöhnlichen Sinne als glatt bezeichnen, wie zum Beispiel Tapeten, Papier, gehobeltes Holz und so weiter, sind in dem hier beschriebenen strengen Sinne nicht glatt, sondern haben gleichfalls feine Unebenheiten. Folglich bildet die Spiegelung von Licht die Ausnahme und die Lichtstreuung die Regel. Fast alle Gegenstände streuen das Licht nur.

Doch auch Gegenstände, die nicht spiegeln, können sehr viel Licht reflektieren. Die Menge des reflektierten Lichts allein ist also nicht ausschlaggebend dafür, ob ein Gegenstand spiegelt. Häufig sagt man, daß Katzenaugen im Dunkeln leuchten. Doch das stimmt nicht. In einem völlig finsternen Raum können wir die Augen einer Katze nicht sehen, weil sie kein Licht aussenden. Aber sie reflektieren Licht besonders gut. Daher sind Katzenaugen schon bei schwachem Licht deutlich zu erkennen, wohingegen die übrigen Körperteile der Katze nicht zu sehen sind, weil sie zuwenig von dem schwachen Licht zurückwerfen.

Die Rückstrahler an den Fahrrad-Pedalen sind ebenfalls so beschaffen, daß sie Licht sehr gut reflektieren. Dadurch kann ein Kraftfahrer einen vor ihm befindlichen Radler leichter bemerken.

Reflexion parallel einfallender Lichtstrahlen an einer ebenen Fläche (z. B. Wasserspiegel in der Tasse). Fallen parallele Lichtstrahlen auf eine unebene Fläche (z. B. Hörnchen), so werden sie in verschiedene Richtungen zurückgeworfen

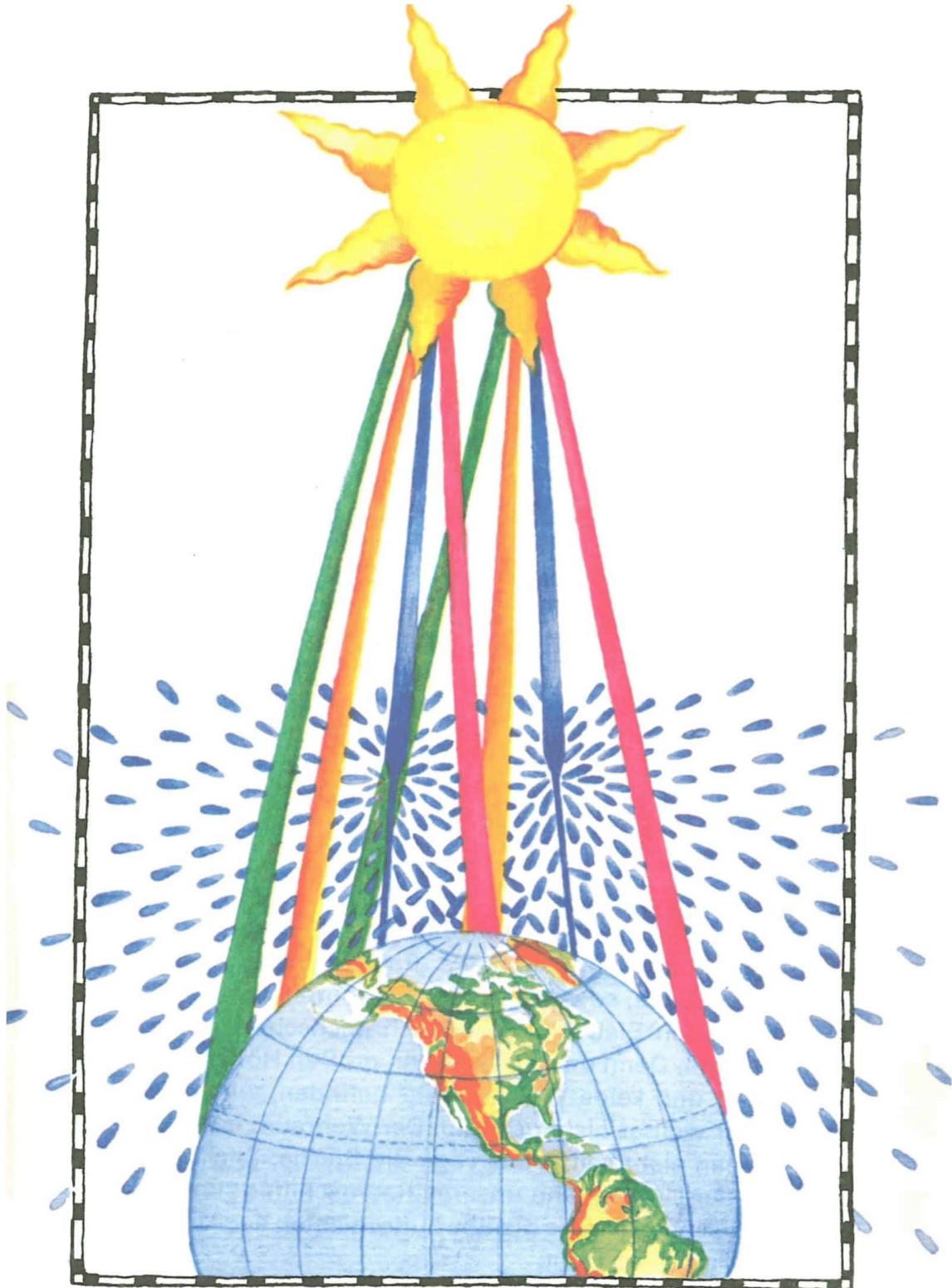
Warum ist der Himmel blau?

Die Lichtstreuung erzeugt interessante Farbenspiele der Natur. Das Blau des Himmels, das Weiß der Wolken, das Morgen- und das Abendrot sowie das alle Gegenstände „vergoldende“ Licht der frühen Morgen- und der späten Abendsonne – all das beruht auf Lichtstreuung, ohne die wir zum Beispiel auch den Tabakrauch nicht sehen könnten. Die Rauchteilchen sind nämlich viel zu klein, um sie mit bloßem Auge erkennen zu können. Wenn aber Licht auf sie trifft, wird es regellos in alle Richtungen reflektiert. Dadurch sehen wir sie indirekt. Das gleiche gilt für den Staub, den wir in der Luft des Zimmers schweben sehen, wenn er in bestimmter Weise von den Sonnenstrahlen beleuchtet wird. Auch diese Teilchen sind an sich unsichtbar klein und werden nur durch ihre Lichtreflexion indirekt bemerkbar.

Noch viel kleiner und daher erst recht unsichtbar sind die Gas- teilchen, aus denen sich die Luft zusammensetzt. Der Erdball ist von einer großen Hülle aus Luft umgeben: der Atmosphäre. Sie reicht bis in große Höhen. Allerdings befindet sich der weit- aus größte Teil des atmosphärischen Gases in der untersten Schicht der Lufthülle, die nur bis in etwa 15 Kilometer Höhe reicht. Darüber ist die Atmosphäre sehr viel dünner, das heißt, es befinden sich dort je Raumeinheit weit weniger Gasteilchen als in der untersten Schicht.

Das von einem einzelnen Luftteilchen gestreute Licht zu sehen ist unmöglich. Wenn wir jedoch zum Himmel schauen, befinden sich in unserer Blickrichtung unvorstellbar viele Gasteilchen hintereinander gestaffelt. Sie alle streuen Licht. Die Gesamtheit des gestreuten Lichts sehen wir. Nun haben die Gasteilchen der Luft die Eigenschaft, das blaue Licht besonders stark zu streuen, weniger dagegen gelbes und rotes. Das ist der Grund

Das von der Sonne kommende Licht enthält alle Farben (hier durch die dick ausgezogenen farbigen Linien angedeutet). Das blaue Licht wird von den Luftteilchen jedoch besonders stark in verschiedene Richtungen gestreut. Dadurch erscheint die Masse der Luftteilchen, vom Erdboden aus gesehen, blau (im Bild angedeutet durch die blauen Punkte)



dafür, warum der Himmel blau aussieht. Was wir blauen Himmel nennen, ist also das von unzähligen Luftteilchen gestreute blaue Licht.

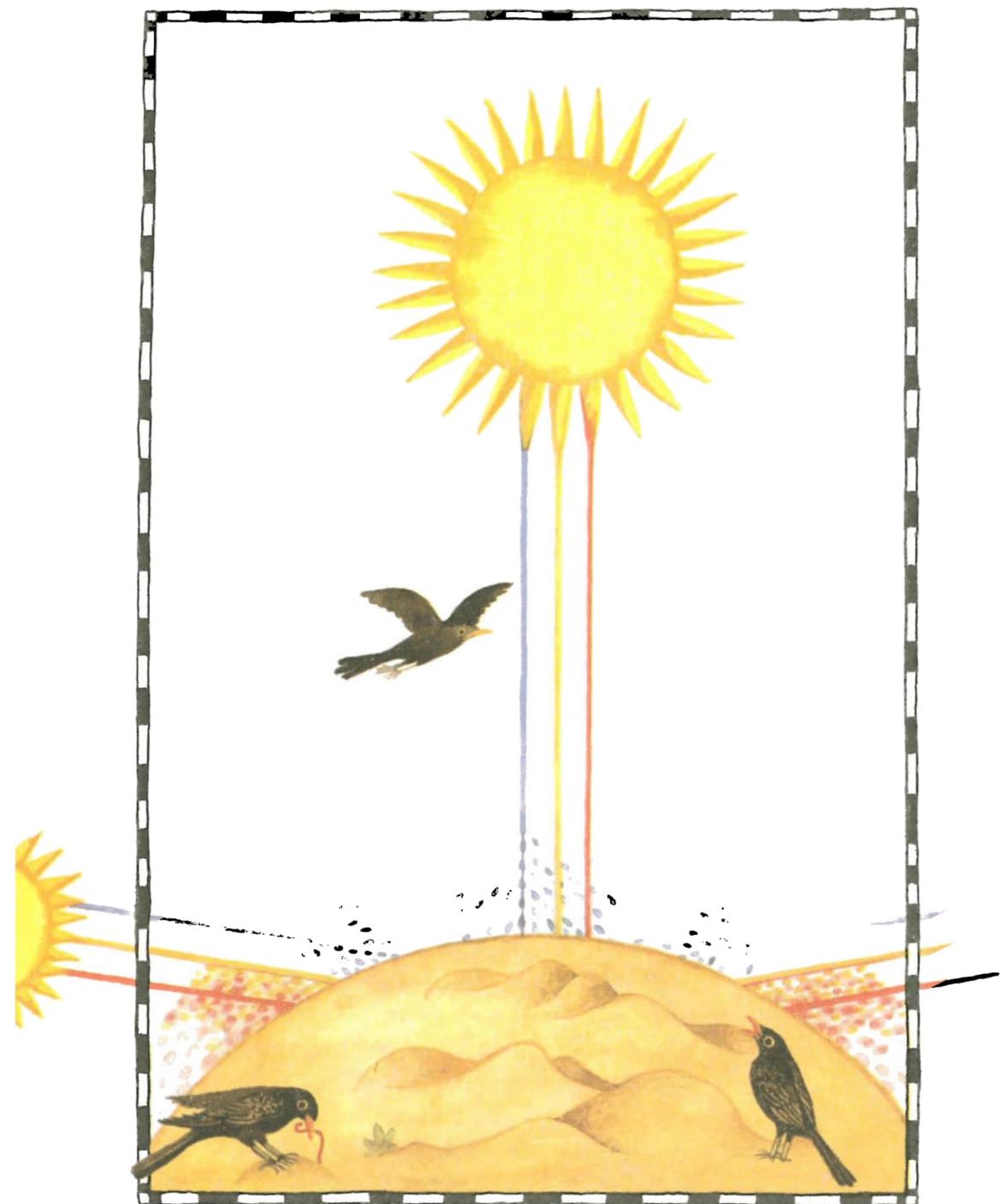
Anders verhält es sich mit den Wolken. Sie bestehen aus Wassertröpfchen oder Eiskristallen, die so winzig und leicht sind, daß sie in der Luft schweben bleiben. Sie streuen nicht vorzugsweise blaues, sondern Licht aller Farben. Das ergibt nach den Regeln der Farbmischung Weiß. Darum sehen die Wolken weiß aus.

Blaßblau ist der Himmel, wenn sich Dunst in der Luft befindet. Auch er besteht aus winzigen schwebenden Wassertröpfchen. Doch sind sie im Dunst nicht so dicht beieinander wie in der Wolke. Man kann daher durch den Dunst noch zum blauen Himmel hindurchsehen, wohingegen Wolken undurchsichtig sind. Doch das weiße Streulicht der Dunstteilchen mischt sich dem Blau des Himmels zu, der dadurch blaßblau wirkt. Das erklärt zugleich, warum der Himmel hoch über uns meist klarer blau ist als in Horizontnähe. Schauen wir senkrecht nach oben, so befinden sich in der Blickrichtung weniger Dunstteilchen als beim Blick zum Horizont. Daher ist der Himmel in der Nähe des Horizonts von einem besonders blassen Blau, oder er ist sogar weiß. Über dem Dunst und den Wolken ist der Himmel am Tage immer klarblau. Wenn wir an einem trüben Tage eine Flugreise unternehmen, bietet sich ein herrlicher Anblick, sobald das Flugzeug die Wolkendecke durchstoßen hat. Dann haben wir herrlich tiefblaue Himmel über uns und die Wolken unter uns. Ihre Oberseiten reflektieren das Licht der Sonne in gleißend hellem Weiß. Könnten wir mit einem Ballon oder Raumschiff noch höher steigen als Flugzeuge, so würde sich der Himmel in einem zunehmend dunkleren Blau und schließlich pechschwarz darbieten, auch am Tage. Denn da sich in diesen großen Höhen fast keine Gasteilchen und keine Wolken mehr befinden, wird auch kein blaues oder weißes Licht gestreut. Der Weltraum ist völlig dunkel, und man sieht selbst am Tage die Sterne. Blickten wir jedoch von der Umlaufbahn unseres Raumschiffes zum Horizont der Erde, so sähen wir die dichten Luftschichten der Atmosphäre in einem bläulichen Licht.

Wie entstehen das Morgen- und das Abendrot?

Da die Luftteilchen besonders viel blaues Licht streuen, könnte man auch sagen, daß sie aus dem Gemisch aller Lichtfarben das Blau „heraussortieren“. Noch anders ausgedrückt: Ein großer Teil des blauen Lichts bleibt schon in den höheren Schichten der Atmosphäre „stecken“ und dringt nicht bis zum Erdboden vor. Nun ist klar, daß um so mehr blaues Licht „heraussortiert“ wird, je länger der Weg des Sonnenlichts durch die Atmosphäre ist. Die Weglänge ist aber zu den verschiedenen Tageszeiten unterschiedlich. Am Mittag steht die Sonne sehr hoch am Himmel. Ihr Licht fällt in steilem Winkel in die Atmosphäre ein und hat daher nur einen kurzen Weg zur Erdoberfläche. Anders verhält es sich morgens und abends. Dann steht die Sonne dicht über dem Horizont, und ihre Strahlen fallen ganz flach in die Lufthülle ein. Folglich haben sie einen viel weiteren Weg durch die Luft, und es wird mehr von dem blauen Licht „herausgefiltert“. In dem Sonnenlicht, das zu dieser Zeit in den tieferen Schichten der Atmosphäre und am Erdboden eintrifft, herrschen daher Gelb und Rot vor.

Das hat zur Folge, daß die Farben von Gegenständen jetzt eine gelbrötliche Tönung erhalten. Betrachten wir ein Blatt weißen Papiers im Licht der Morgen- oder der Abendsonne, so sieht es ähnlich gelb aus wie im Licht einer Glühlampe. Und auch die Wolken und der Dunst haben nun jenen rosigen Schein, den wir Morgen- beziehungsweise Abendrot nennen.



Geschwindigkeitsrekord: 300 000 km/s

Schalten wir das Licht ein, dann ist es augenblicklich hell. Es erscheint uns unsinnig, die Zeit messen zu wollen, die vergeht, bis das Licht von der Lampe an unser Auge dringt. Weil Licht kein Gegenstand ist, hat es den Anschein, als würde es sich unendlich schnell ausbreiten. Aber dieser Eindruck trügt. Das fiel schon vor 300 Jahren dem dänischen Astronomen Olaf Römer bei der Beobachtung der Monde des Jupiters auf. Da sie ihn umkreisen wie unser Mond die Erde, müssen sie – von der Erde aus gesehen – in regelmäßigen Zeitabständen in den Schatten des Jupiters eintauchen, dadurch unsichtbar werden und auf der anderen Seite aus dem Schatten wieder hervortreten. Dabei stellte Römer „Verspätungen“ oder „Verfrühungen“ fest, je nachdem, wie weit der Jupiter und seine Monde von der Erde entfernt waren. Bei größerer Entfernung verspätete sich das Wiederaufer scheinen der Monde, bei kürzerer Entfernung verfrührte es sich gegenüber der berechneten Zeit. Römer zog daraus den Schluß, daß diese „Fahrplanabweichungen“ dadurch entstehen, daß sich Licht nur mit einer bestimmten Geschwindigkeit ausbreitet. Es benötigt für einen längeren Weg mehr Zeit als für einen kürzeren. Spätere Experimente bewiesen eindeutig, daß Römers Vermutung richtig war.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts ist unvorstellbar groß. Sie beträgt im Vakuum, im luftleeren Raum, 299 793 km/s, also rund 300 000 km/s, und ist auch in Luft nur wenig kleiner. Im Wasser beträgt die Lichtgeschwindigkeit 225 000 km/s, in Glas (je nach Glassorte etwas verschieden) bis zu etwa 200 000 km/s.

Mittags, bei hohem Sonnenstand, hat das Licht nur einen kurzen Weg durch die Lufthülle (Mitte des Bildes). Deshalb gelangt auch blaues Licht noch bis zum Erdboden. Morgens und abends (im Bild rechts und links) steht die Sonne tief am Horizont. Ihr Licht hat daher einen weiten Weg durch die Lufthülle. Dabei wird das blaue Licht fast völlig „verschluckt“, und es gelangen hauptsächlich nur noch das gelbe und rote zum Erdboden. Daher sind das Abend- und das Morgenlicht rötlich, und auch die vom Sonnenlicht beleuchteten Wolken sehen rötlich aus

Befindet sich die Deckenleuchte beispielsweise 3 m von unseren Augen entfernt, so dauert es nur $1/100\,000\,000$ s, bis das Licht den Weg zu uns zurückgelegt hat. Auch ein Lichtstrahl, der sich 30 km weit ausbreitet, braucht dafür nur die winzige Zeitspanne von $1/10\,000$ s. Für die im täglichen Leben gegebenen Verhältnisse brauchen wir diese Zeiten daher nicht zu berücksichtigen, sondern können so tun, als würde sich Licht ohne Zeitverbrauch ausbreiten.

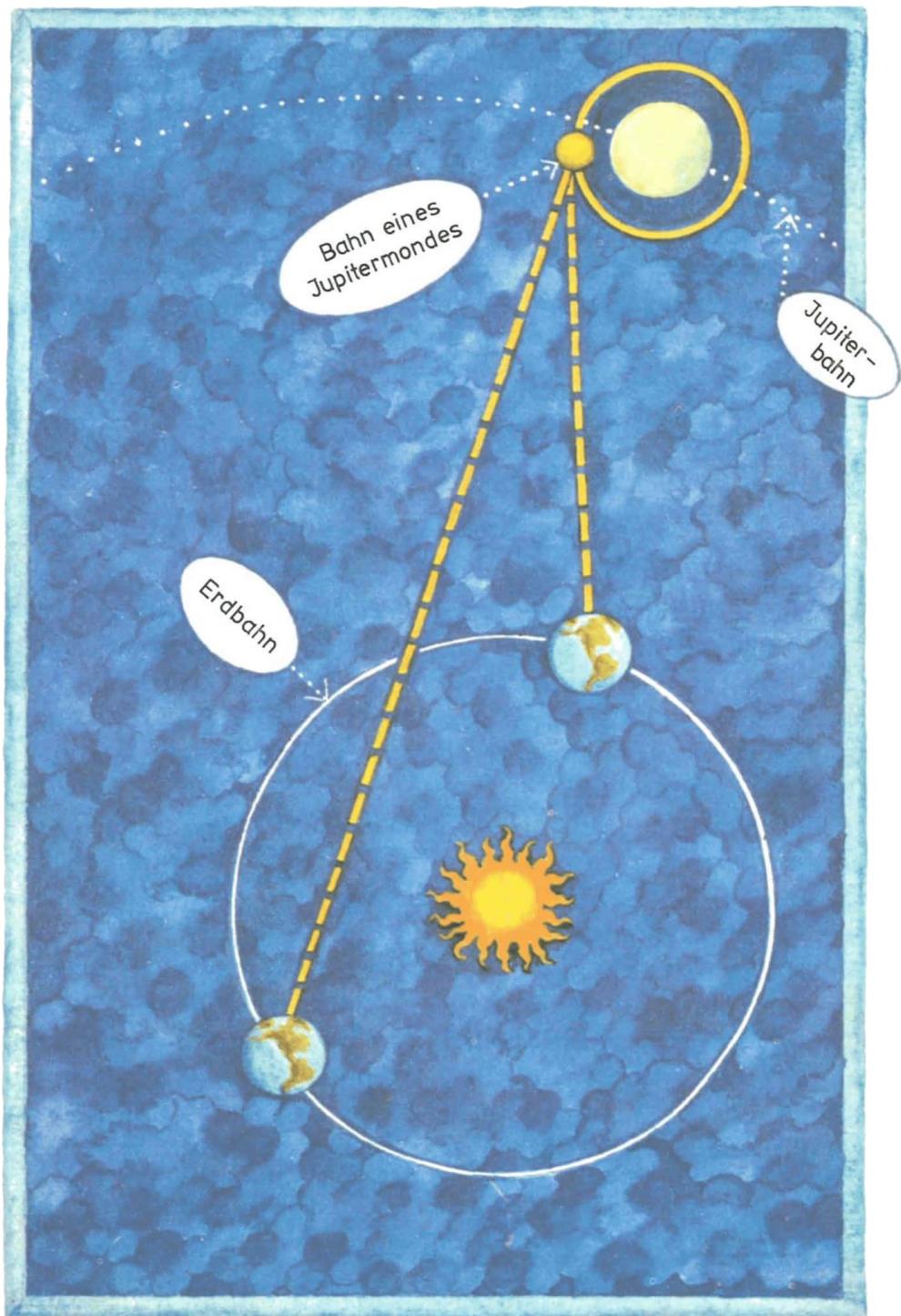
Beim Weg des Sonnenlichts zur Erde ist das schon anders. Die Sonne ist im Mittel etwa 150 000 000 km von der Erde entfernt. Folglich braucht ihr Licht bis zur Erde 150 000 000 km : $300\,000$ km/s = 500 s. Das sind 8 min 20 s. Wenn wir die Sonne soeben aufgehen sehen, steht sie also in Wirklichkeit schon seit mehr als 8 min über dem Horizont. Umgekehrt sehen wir sie noch, wenn sie bereits länger als 8 min zuvor untergegangen ist.

Es lohnt sich, einige Berechnungen mit der Lichtgeschwindigkeit anzustellen. Sie führen zu erstaunlichen Ergebnissen. Rechnen wir zunächst die Wegstrecke aus, die Licht im Verlaufe eines Jahres zurücklegt. Da 1 Minute 60 Sekunden, 1 Stunde 60 Minuten, ein Tag 24 Stunden und ein Jahr im Durchschnitt – das heißt unter Einrechnung der Schaltjahre – rund 365,25 Tage hat, lautet die Aufgabe:

$60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365,25 \cdot 299\,793$ km = rund 9 460 500 000 000 km. Das sind 9,46 Billionen km. Man bezeichnet diese Strecke als 1 Lichtjahr (Kurzzeichen: Lj). Sie ist ein in der Astronomie gebräuchliches Längenmaß, weil die Entfernung zu den Sternen zu groß sind, als daß man sie in Kilometern gut erfäßbar ausdrücken könnte.

Der nächste Nachbarstern der Sonne, der Alpha Centauri, ist 4,3 Lj entfernt. Gäbe es durch den Weltraum eine Brücke zu ihm, so wäre ein Schnellzug, der ununterbrochen mit einer Geschwindigkeit von 150 km/h fährt, 30 937 828 Jahre unterwegs. Die fernsten bisher bekannten Sternsysteme des Weltalls sind jedoch etwa 10 000 000 000 Lj weit entfernt! Das Licht, das jetzt auf

Durch Beobachtung der Jupitermonde wurde die Lichtgeschwindigkeit entdeckt



der Erde von ihnen eintrifft, ist also bereits vor 10 Milliarden Jahren „gestartet“. Folglich erblicken wir die Sternsysteme in dem Zustand, in dem sie sich vor 10 000 000 000 Jahren befanden, zu einer Zeit, als die Erde noch gar nicht existierte.

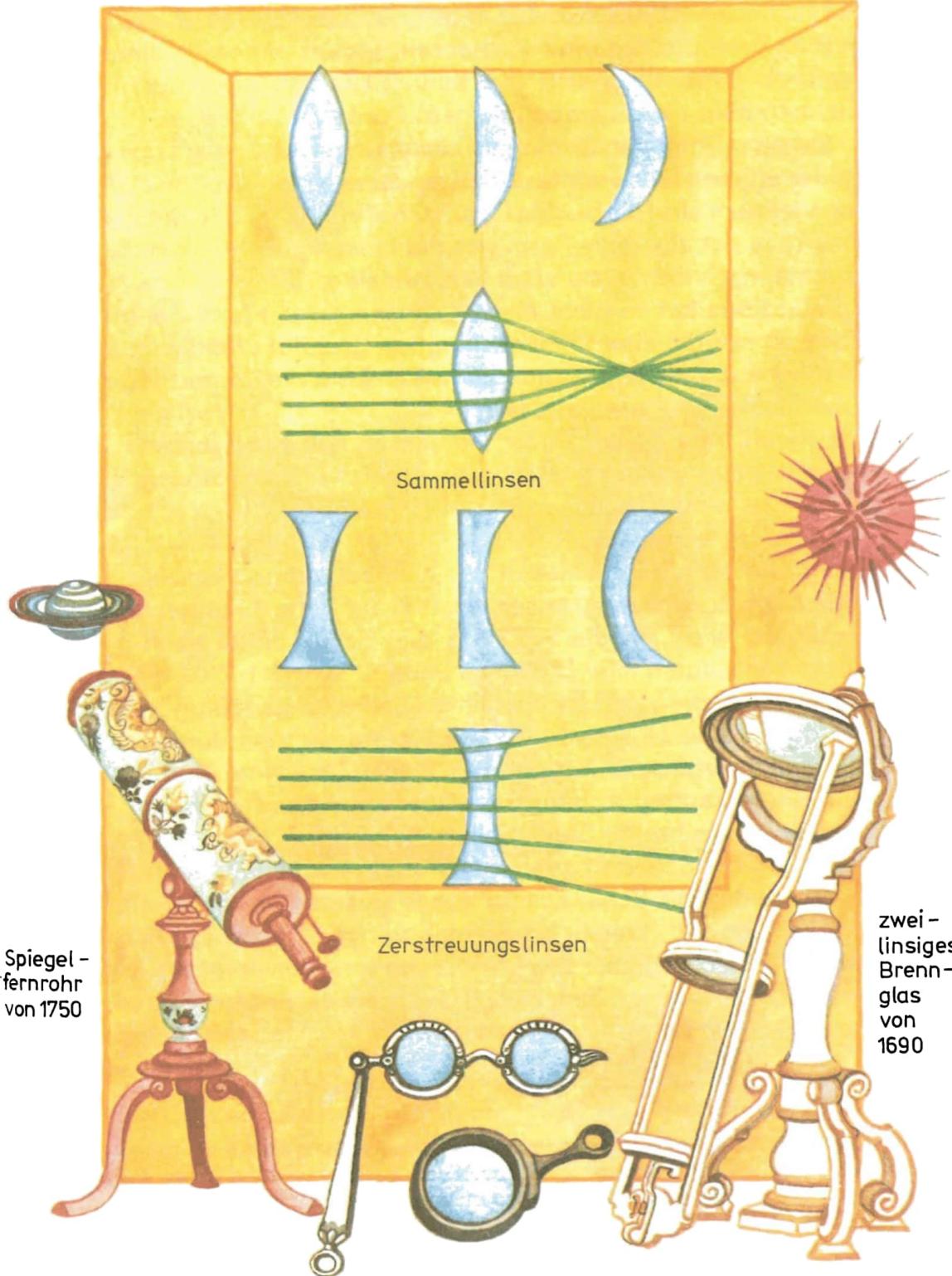
Das Licht hält den absoluten „Geschwindigkeitsrekord“, und die Physiker haben herausgefunden, daß dieser Rekord auch niemals gebrochen werden kann. Denn aus zwingenden naturgesetzlichen Gründen kann kein Gegenstand, und sei er noch so klein und leicht, jemals die gleiche Geschwindigkeit wie das Licht erreichen.

Wie funktioniert das Brennglas?

Mit dem Brennglas kann man Sonnenstrahlen auf einen winzigen Punkt konzentrieren. Er ist gließend hell. Fällt er auf Papier oder anderes brennbares Material, so fängt es an zu schwelen und schließlich zu brennen. Mit dem Brennglas muß man daher sehr vorsichtig umgehen, um Brände zu vermeiden. Auch jede Lupe ist ein Brennglas.

Wie kommt es, daß die Sonnenstrahlen Papier und andere Gegenstände entflammen, wenn sie durch ein Brennglas geleitet werden? Auf die der Sonne zugewandte Fläche des Glases fallen viele Sonnenstrahlen. Auf der anderen Seite des Glases breiten sie sich aber nicht ebenso geradlinig weiter aus, wie sie von der Sonne auf das Glas fielen. Vielmehr lenkt das Glas die Strahlen so um, daß sie alle in einem bestimmten Punkt zusammenlaufen. Damit ist auch die wärmende Wirkung der Sonnenstrahlen, die sich sonst über die ganze Fläche des Brennglases verteilt, in diesem winzigen Punkt zusammengeballt. Man nennt

Von oben nach unten: Drei Arten von Sammellinsen. – Die Sammellinse vereinigt parallel einfallende Lichtstrahlen in einem Brennpunkt. – Drei Arten von Zerstreuungslinsen. Die Zerstreuungslinse zerstreut parallel einfallende Lichtstrahlen



Spiegel -
fernrohr
von 1750

zwei -
linsiges
Brenn -
glas
von
1690

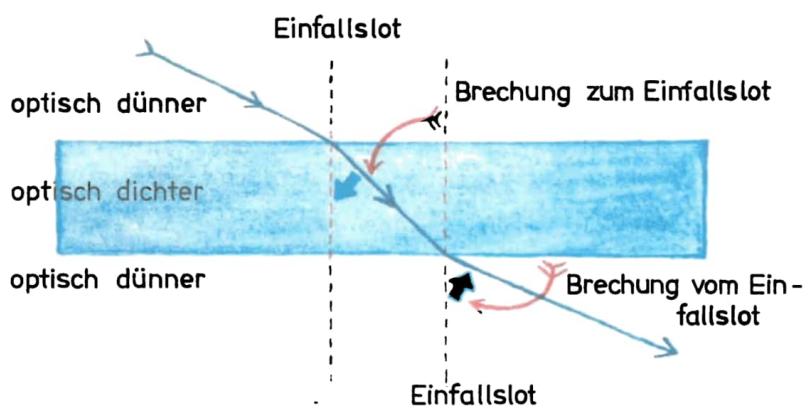
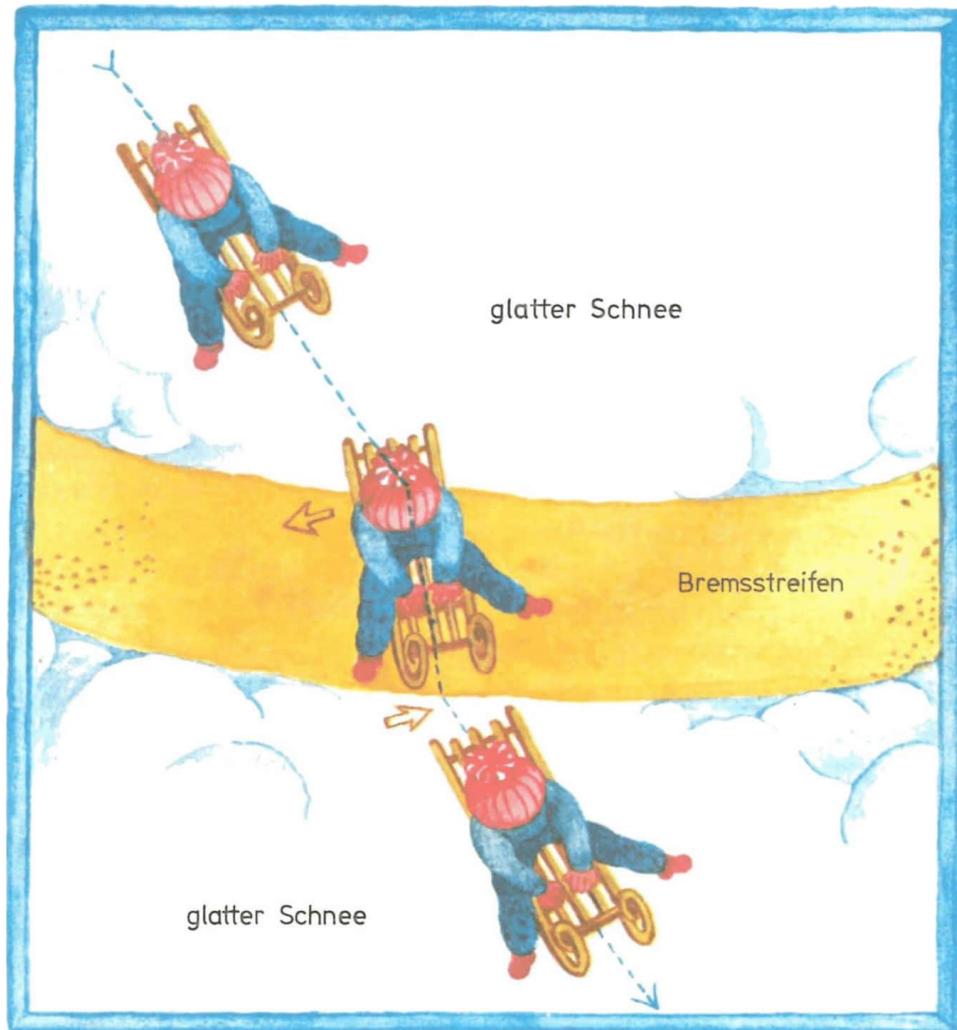
ihm Brennpunkt und seinen Abstand vom Glas Brennweite. Wir können die Brennweite messen, indem wir feststellen, in welcher Entfernung sich die Sonnenstrahlen oder auch die Lichtstrahlen einer Lampe in einem Punkt vereinigen.

Sehen wir uns ein Brennglas beziehungsweise eine Lupe genauer an, so stellen wir fest, daß es keine einfache Glasscheibe ist. Vielmehr sind die beiden Oberflächen nach außen gekrümmt. Das Glas hat also eine Form wie die Linsen genannten Hülsenfrüchte, nach denen sie auch benannt sind.

Allerdings haben nicht alle Glaslinsen diese Form. Bei manchen ist nur die eine Seite nach außen gewölbt und die andere plan (eben). Bei wieder anderen Linsen geht die Krümmung der Oberfläche nicht nach außen, sondern nach innen. Solche Gläser nennt man Konkav- oder Hohllinsen. Die nach außen, „erhaben“ gekrümmten heißen Convex- oder Sammellinsen, weil sie – wie wir am Beispiel des Brennglasses sahen – das einfallende Licht sammeln. Hohllinsen haben die umgekehrte Wirkung. Sie zerstreuen einfallende Lichtstrahlen und heißen deshalb auch Zerstreuungslinsen. Im Bild auf Seite 39 unten ist angedeutet, wie sich die Richtung der Lichtstrahlen nach dem Durchgang durch eine Hohllinse ändert.

Warum ändern Lichtstrahlen ihre Ausbreitungsrichtung, wenn sie durch eine Linse gehen? Das wollen wir uns durch einen Vergleich veranschaulichen. Wir stellen uns eine Rodelbahn auf einem sanften Abhang vor. Quer zur Abfahrtsrichtung befindet sich ein breiter Sandstreifen. Beim Überqueren des Streifens wird der Schlitten gebremst. Rodeln wir genau gerade hinunter, so daß die Schlittenspur den Bremsstreifen senkrecht, im Winkel von 90° , kreuzt, so werden wir nur gebremst. Fahren wir jedoch schräg über den Streifen, so werden wir nicht nur gebremst, sondern es ändert sich auch etwas unsere Fahrtrichtung. Das wollen wir uns im Bild auf Seite 41 oben ansehen:

Oben: Beim Überqueren eines bremsenden Sandstreifens wird die Fahrtrichtung eines Schlittens zweimal verändert. Unten: Auch der Lichtstrahl wird beim Übergang in Stoffe unterschiedlicher optischer Dichte zweimal abgelenkt



Die rechte Schlittenkufe berührt den bremsenden Streifen zuerst, während sich die linke noch einen Augenblick lang auf der glatten Schneefläche bewegt. Weil die rechte Kufe ihre Geschwindigkeit früher vermindert als die linke, wird der Schlitten aus seiner ursprünglichen Richtung ein Stück nach rechts umgelenkt. In dieser veränderten Richtung überqueren wir den Sandstreifen. Verlassen wir ihn, gerät wieder die rechte Kufe zuerst auf den glatten Schnee, während die linke noch einen Moment mit verlangsamter Geschwindigkeit über den Sand fährt. Die rechte Kufe bewegt sich in diesem Moment bereits wieder schneller über den Schnee. Dadurch wird der Schlitten abermals aus seiner Richtung abgelenkt, diesmal aber nicht nach rechts, sondern nach links. Auf dem Schnee setzt er seine Fahrt in der veränderten Richtung weiter fort. Als Ergebnis stellen wir fest: Die normalerweise gerade Fahrtrichtung wurde beim Durchqueren des Sandstreifens „gebrochen“.

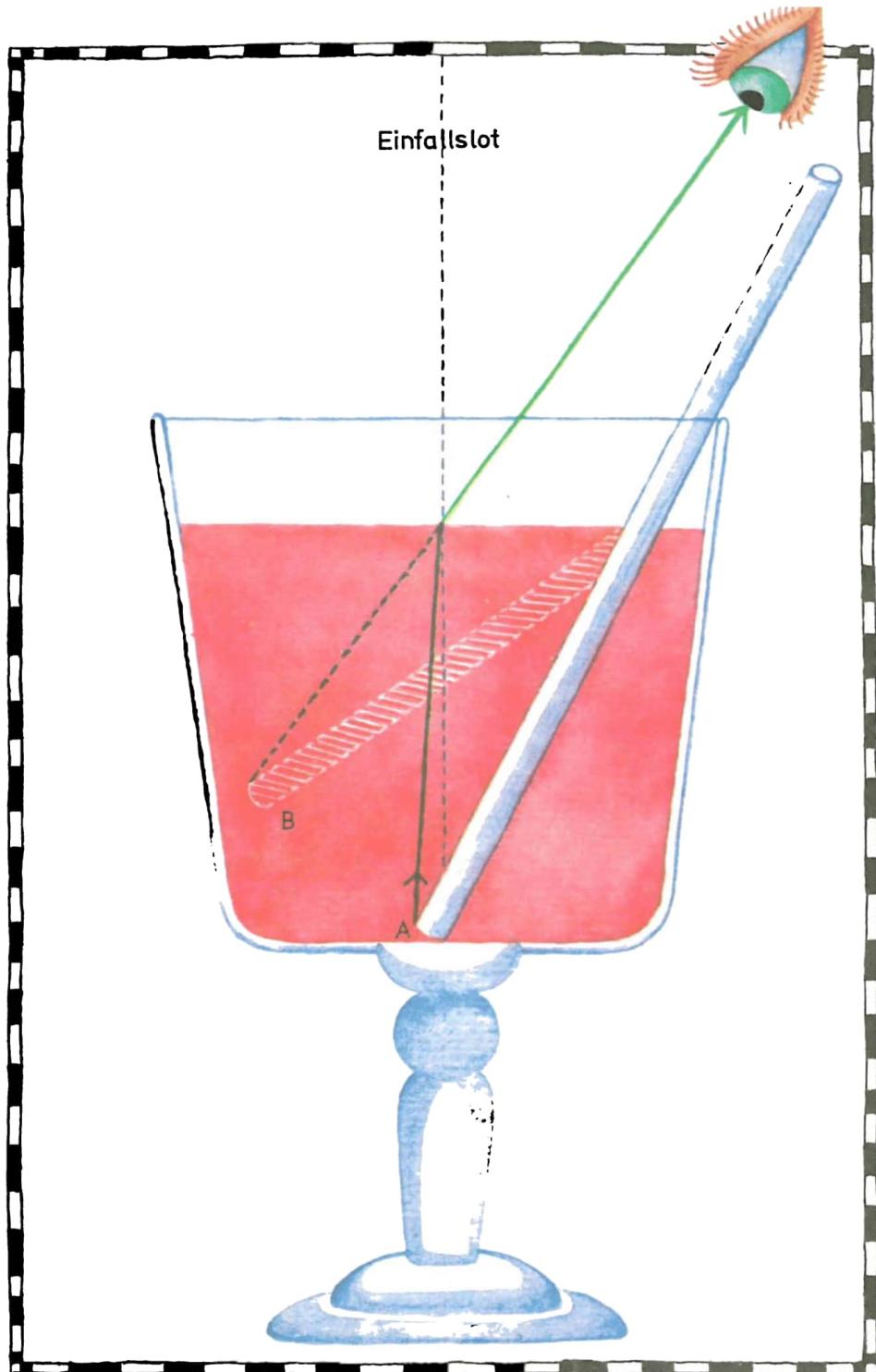
Ähnliches passiert mit einem Lichtstrahl, wenn er aus Luft in Glas übertritt oder umgekehrt. Erinnern wir uns: Die Lichtgeschwindigkeit in Luft ist fast ebenso groß wie im Vakuum, also rund 300 000 km/s, in Glas dagegen wesentlich niedriger, nämlich höchstens 200 000 km/s. Daher wird ein Lichtstrahl beim Übertritt aus Luft in Glas ähnlich abgelenkt wie der Schlitten beim Durchqueren des Sandstreifens. Mit der Form, die man einer Glaslinse gibt, kann man bestimmen, in welcher Weise und wie stark Lichtstrahlen abgelenkt, gebrochen werden. Auf dieser Lichtbrechung durch Linsen aus Glas oder neuerdings auch aus Plasten beruht die Funktion der Brenngläser, Lupen, Brillen, Operngläser, Feldstecher, Fernrohre, Mikroskope, der Objektive von Foto- und Filmkameras, Bildwerfern und Kinoprojektoren sowie zahlreicher anderer optischer Geräte.

Warum erscheint ein Bach flacher, als er ist?

Besonders deutlich können wir die Lichtbrechung bei einem einfachen Versuch beobachten. Wir geben einen Trinkhalm in ein durchsichtiges, mit Wasser gefülltes Glas. Blicken wir schräg von oben in das Wasser, so scheint der Halm an der Stelle, an der er den Wasserspiegel durchstößt, einen Knick bekommen zu haben. Nehmen wir ihn aus dem Wasser, dann können wir uns davon überzeugen, daß er in Wirklichkeit so gerade wie vorher ist. Unser Bild auf Seite 44 zeigt, wie das zustande kommt. Ein Lichtstrahl, der zum Beispiel von der unteren Halm spitze ausgeht, wird beim Übertritt vom Wasser in die Luft gebrochen, denn auch in Wasser hat Licht eine niedrigere Geschwindigkeit als in Luft. Daher bekommt der Lichtstrahl einen „Knick“ und breitet sich danach in der Luft wieder geradlinig in Richtung zum Auge aus. Unser Auge „weiß“ von dem eingetretenen Knick aber nichts, sondern „rechnet“ stets mit der geradlinigen Ausbreitung des Lichts. Folglich erblickt es die Halm spitze in Punkt B, der in einer verlängerten Geraden in entsprechender Entfernung unter dem Wasserspiegel liegt, obwohl sich die Halm spitze in Wirklichkeit in Punkt A befindet. Aus demselben Grund täuschen wir uns leicht über die Tiefe seichter Gewässer. Zum Beispiel erscheinen Bäche flacher, als sie sind.

Die Lichtbrechung erfolgt wie die Reflexion nach strengen Gesetzen, die in dem Bild auf Seite 44 ebenfalls angedeutet sind. Nach welcher Seite der Lichtstrahl gebrochen wird, hängt davon ab, ob er aus einem optisch „dünneren“ in einen „dichteren“ Stoff übergeht oder umgekehrt. Optisch dichter sind Stoffe, in denen Licht eine niedrigere Geschwindigkeit hat. Wasser ist optisch dichter als Luft, weil sich Licht in Wasser mit nur 225 000 km/s ausbreitet, in Luft dagegen mit fast 300 000 km/s. Glas ist optisch noch dichter als Wasser, weil die Lichtgeschwindigkeit darin nur rund 200 000 km/s beträgt.

Beim Übergang aus einem optisch dünneren in einen optisch dichteren Stoff wird der Lichtstrahl zum Einfallslot hin gebro-



chen, beim Übergang vom optisch dichteren zum dünneren vom Einfallslot weg. Einfallslot ist dabei wieder die gedachte Gerade, die senkrecht auf der Grenzfläche der beiden optisch verschiedenen dichten Stoffe steht, und einfallender sowie ausfallender Strahl und Einfallslot liegen – wie bei der Reflexion – in einer Ebene.

Wie entsteht das Bild im Fotoapparat?

Wer eine Lupe beziehungsweise ein Brennglas hat, kann leicht einen interessanten Versuch ausführen. Wir heften auf die dem Fenster gegenüberliegende Wand des Zimmers ein Blatt weißes Papier. Nun halten wir die Lupe vor das Papier und verändern ihren Abstand zu ihm so lange, bis an der Wand ein verkleinertes Bild des Fensters und der Gegenstände auf dem Fensterbrett entsteht. Das Bild ist kopfstehend und seitенverkehrt. Wir lernen daraus: Mit einer Sammellinse kann man nicht nur vergrößerte, sondern auch verkleinerte Bilder erzeugen. Ob ein verkleinertes oder ein vergrößertes Bild entsteht, hängt von der Brennweite und der Entfernung der Gegenstände zur Linse ab.

Befindet sich das betrachtete Objekt innerhalb der Brennweite, so vergrößert die Sammellinse. In dieser Weise benutzen wir sie als Lupe. Allerdings würde sich dieses vergrößerte Bild nicht auf einem Blatt Papier, einer Mattscheibe oder dergleichen auffangen lassen. Wir können es nur sehen. Man nennt es ein scheinbares oder virtuelles Bild. Befindet sich der Gegenstand in einer Entfernung, die zwischen der einfachen und doppelten Brennweite liegt, bei einer Sammellinse von 10 cm Brennweite also beispielsweise in 15 cm Entfernung, so entsteht eben-

Das in ein Wasserglas gestellte Trinkröhren erscheint an der Grenze von Wasser und Luft geknickt

falls ein vergrößertes Bild. Es läßt sich sogar auffangen, auf eine Fläche entwerfen. Man nennt es deshalb ein wirkliches oder reelles Bild. Befindet sich der Gegenstand weiter entfernt, als es der doppelten Brennweite der Sammellinse entspricht, so entsteht ein verkleinertes reelles Bild, wie in unserem Versuch. Es ist ebenso wie das vergrößerte reelle Bild kopfstehend und seitenverkehrt.

Auf diese Weise erzeugt auch das Objektiv auf der Rückwand der Kamera ein reelles Bild. Dort befindet sich der Film. Er hat eine dünne Schicht aus einem besonderen Stoffgemisch, in dem durch Einwirkung von Licht bestimmte Veränderungen hervorgerufen werden. Daß Licht die Farbe von Stoffen verändern kann, merken wir beim Papier. Alte Zeitungen sind vergilbt, alte Tapeten ebenso. Nur dort, wo längere Zeit ein Bild gehangen hat, ist die Tapete durch einen hellen Fleck markiert, weil das Bild sie an dieser Stelle vor Lichteinwirkung geschützt hat.

In der lichtempfindlichen Schicht des Films ruft das Licht nicht erst nach langer Zeit, sondern schon nach Bruchteilen einer Sekunde Veränderungen hervor. Sie sind allerdings so schwach, daß man sie zunächst nicht sehen kann. Erst durch das sogenannte Entwickeln werden sie sichtbar verstärkt. Im Entwickler sind chemische Substanzen gelöst. Sie bewirken, daß sich an den Stellen, an denen Licht einwirkte, aus dem ursprünglich in der Schicht vorhandenen Silbersalz winzige schwärzliche Silberkörnchen bilden. Aus ungezählten dieser Silberkörnchen ist wie ein Mosaik das Bild jedes Schwarzweißfotos zusammengesetzt. Die einzelnen Körnchen sind so klein, daß man sie mit bloßem Auge kaum zu erkennen vermag.

An dunklen Stellen des fotografischen Bildes befinden sich sehr viele Silberkörnchen dicht neben- und übereinander, an hellen Stellen nur wenige oder fast keine. Je mehr Licht auf eine Stelle einwirkte, desto mehr Silberkörnchen sind dort entstanden. Folglich werden alle hellen Gegenstände auf dem Film dunkel und alle dunklen hell abgebildet. Ein solches Bild mit umgekehrten Helligkeitswerten nennt man ein Negativ. Wird das Negativ auf ein Blatt Fotopapier oder auf einen anderen Film kopiert oder vergrößert, so erfolgt eine nochmalige Um-

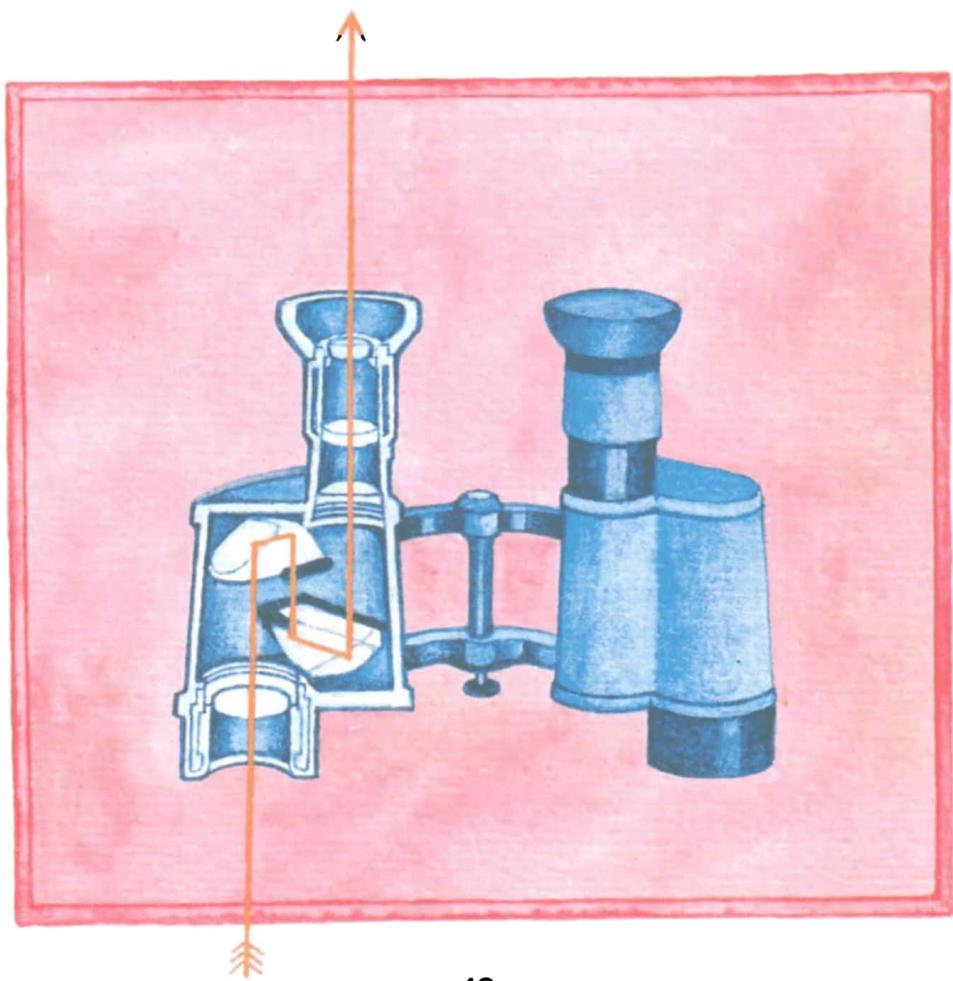
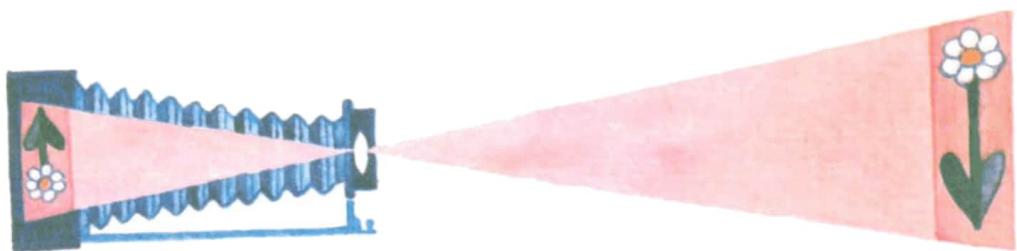
kehrung der Helligkeiten, also eine Richtigstellung. Jetzt sind die hellen Gegenstände wieder hell und die dunklen dunkel abgebildet. Dieses Bild nennt man ein Positiv.

Beim Kopieren wird das Negativ mit dem Fotopapier oder Film direkt in Kontakt gebracht, und das Licht wirkt durch das Negativ auf das Papier oder den Film ein. Dabei wird das Positiv ebenso groß wie das Negativ. Mit einem Vergrößerungsapparat kann man jedoch von einem kleinen Negativ ein vielfach vergrößertes Bild auf Fotopapier (oder Film) entwerfen und erhält daher ein Positiv, das größer als das Negativ ist.

Bei der Farbenfotografie ist die Bildung der schwärzlichen Silberkörnchen chemisch mit dem Entstehen bestimmter Farbstoffe gekoppelt. Nachdem diese entstanden sind, werden die Silberkörnchen aus der Schicht herausgelöst, so daß nur die Farbstoffe übrigbleiben und das farbige Bild ergeben. Farbfilme und -papiere müssen aber drei verschiedene lichtempfindliche Schichten aufweisen. Jede ist für ein Drittel der Farbskala empfindlich, und in jeder entsteht ein anderer Farbstoff. Durch Farbmischung lassen sich alle übrigen Farben erzeugen.

Warum sieht man die Dinge im Feldstecher größer?

Das vom Objektiv der Kamera erzeugte verkleinerte Bild könnte man mit einer Lupe betrachten und folglich stark vergrößert sehen. Nach diesem Prinzip ist das Fernrohr gebaut. Es hat an dem einen Ende das Objektiv – so genannt, weil es auf die Objekte (Gegenstände) gerichtet ist. Am anderen Ende des Fernrohrs, in das wir mit dem Auge hineinsehen, befindet sich die Lupe. Man nennt sie hier Okular (von lateinisch oculus = Auge). Wie stark ein Fernrohr vergrößert, hängt vom Verhältnis der Brennweiten des Objektivs und des Okulars ab. Hat das Objektiv 100 cm Brennweite und das Okular 4 cm, dann vergrößert das Fernrohr 25fach.



Könnte man ein Okular von nur 1 mm Brennweite verwenden, so wäre schon mit einem Objektiv von 10 cm = 100 mm Brennweite eine 100fache Vergrößerung zu erzielen. Doch sind Okulare mit so kurzer Brennweite ungeeignet. Man benötigt wesentlich größere Brennweiten. Um dabei eine starke Vergrößerung zu erzielen, muß die Brennweite des Objektivs ziemlich groß sein. Da das Okular aber erst hinter dem Brennpunkt angeordnet werden kann, folgt daraus, daß stark vergrößernde Fernrohre eine große Baulänge haben müssen.

Ein so langes Rohr ließe sich mit den Händen nicht ruhig genug halten. Jede kleinste Bewegung der Hände wird ja im selben Maßstab mitvergrößert wie das Bild. Dadurch würde das Bild unruhig hin und her „tanzen“, und wir könnten trotz starker Vergrößerung Einzelheiten ferner Objekte nicht erkennen. Beim Prismenfeldstecher wird dieses Problem der großen Baulänge umgangen, indem man die Lichtstrahlen innerhalb des Instruments zweimal umlenkt (siehe Bild auf Seite 48 unten). Dabei legen sie in dreikantigen Gläsern mit verspiegelten Flächen einen langen Weg zurück. Man nennt diese Gläser Prismen. Sie bewirken außerdem, daß das Bild aufrecht und seitenrichtig gestellt wird.

In der Regel besteht ein Prismenfeldstecher aus zwei Fernrohren – für jedes Auge eines –, die durch ein Gestell verbunden sind. Auf jedem Feldstecher sind der Vergrößerungsmaßstab und der Objektivdurchmesser angegeben. Ein Fernglas 8×30 vergrößert 8fach und hat Objektive mit 30 mm Durchmesser. Je größer der Objektivdurchmesser, desto heller ist das Bild und desto besser kann man damit noch in der Dämmerung und nachts sehen.

Bei Fernrohren, die ortsfest auf ein Stativ montiert sind, stört dagegen die große Baulänge des Rohres nicht, so daß man hierbei auf die Prismen verzichten kann. Sofern das Instrument für die Beobachtung von Gegenständen auf der Erde oder in der Luft bestimmt ist, wie zum Beispiel die Aussichtsfernrohre auf

Oben: Das Objektiv des Fotoapparats entwirft ein Bild der Umgebung auf den Film an der Rückwand der Kamera. Unten: Strahlengang im Prismenfeldstecher

Türmen und Bergen, ist zum Aufrecht- und Seitenrichtigstellen des Bildes außer dem Okular noch eine weitere Sammellinse erforderlich. Bei Fernrohren für die Beobachtung von Himmelsobjekten ist die Bildaufrichtung nicht nötig. Wenn wir in der Sternwarte durch ein astronomisches Fernrohr schauen, sehen wir den Mond kopfstehend und seitenverkehrt. In der Astronomie werden außer Linsenfernrohren (Refraktoren) auch Spiegelteleskope benutzt. Sie heißen so, weil ihr Kernstück ein großer Hohlspiegel ist.

Wie werden Bilder an die Wand entworfen?

Viele Leute lassen sich die auf Reisen gemachten Farbaufnahmen in Form von Dias herstellen und zeigen sie dann ihren Verwandten und Freunden als große Bilder in leuchtenden Farben auf einem weißen oder silberfarbenen Tuch, das man an die Wand hängt. Das Tuch heißt Projektionswand, der Apparat, mit dessen Hilfe die Bilder an diese Wand entworfen werden, Projektor oder Bildwerfer. Auf die gleiche Weise entstehen auch die Bilder im Kino, nur sind sie dort bewegt.

Der Bildwerfer enthält innen eine sehr hell leuchtende elektrische Lampe. Ihr Licht wird von einem dahinter befindlichen Hohlspiegel gebündelt und nach vorn auf das kleine Dia gerichtet, das man in den Projektor einlegt. Der Ausdruck Dia (oder genauer: Diapositiv) besagt, daß das Bild durchsichtig ist und mit Licht durchstrahlt werden kann. Zum Unterschied davon sind Papierbilder undurchsichtig. Zwischen der Lampe und dem Dia befinden sich noch eine oder mehrere Linsen, die man Kondensor nennt. Sie bewirken, daß das Dia möglichst gleichmäßig vom Licht durchstrahlt wird. Vor dem Dia befindet sich ein Objektiv, das hier richtiger Projektiv genannt werden muß. Es erzeugt ein vergrößertes reelles Bild des kleinen Dias auf der Projektionswand. Dieses Bild ist ebenfalls kopfstehend und seitenverkehrt. Wenn man jedoch das Dia kopfstehend und seiten-

verkehrt in den Apparat einlegt, erscheint das Bild auf der Projektionswand aufrecht und seitenrichtig.

Ein Vergrößerungsapparat gleicht in seinem prinzipiellen Aufbau dem Bildwerfer, nur wird hier das Bild des fotografischen Negativs nicht waagerecht auf eine Wand, sondern senkrecht auf ein Blatt Fotopapier projiziert. Außerdem enthält der Vergrößerungsapparat hinter der Lichtquelle keinen Spiegel.

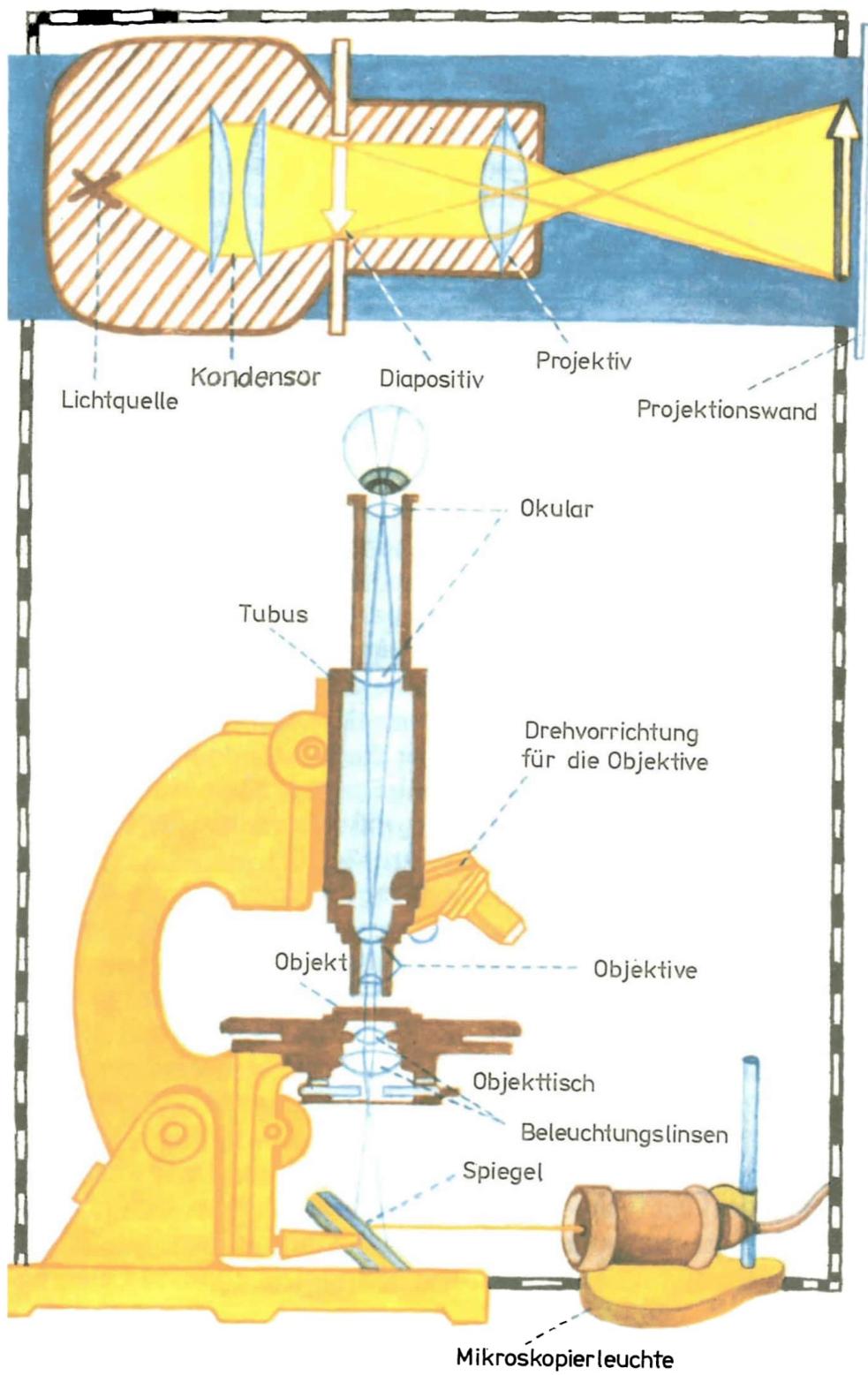
Warum vergrößert ein Mikroskop tausendfach?

Wenn man sich die Haut eingeritzt hat, tritt ein Blutstropfen aus. Er sieht fast so aus wie eine gewöhnliche rotfarbene Flüssigkeit. Verstreicht man jedoch diesen Tropfen Blut auf ein Glasplättchen und betrachtet ihn unter dem Mikroskop, so erkennt man, daß sich in ihm viele, viele Blutkörperchen, Blutzellen, befinden. Doch nicht nur das Blut, unser ganzer Körper, alle Tiere und Pflanzen sind aus ungezählten Zellen aufgebaut.

Mikroskope vergrößern bis etwa 1500fach. Sie eignen sich nur zum Betrachten winzig kleiner Gegenstände auf sehr kurze Entfernung. Man kann sie nicht wie Fernrohre benutzen, um weit entfernte Gegenstände damit vergrößert zu sehen. Wie entsteht das stark vergrößerte Bild im Mikroskop?

Bei der Beantwortung dieser Frage können wir an das uns schon bekannte Vergrößerungsgerät anknüpfen. Stellen wir es in Gedanken einmal kopf, so daß das Lampenhaus mit der Lichtquelle unten liegt. Darüber befindet sich nun das fotografische Negativ und über ihm das Objektiv, das ein vergrößertes reelles Bild nach oben entwirft. Jetzt brauchten wir dieses Bild lediglich durch eine Lupe zu betrachten, und wir hätten das Funktionsprinzip eines Mikroskops.

Aus einem Vergrößerungsapparat und einer Lupe kann man allerdings kein leistungsfähiges Mikroskop bauen. Dafür müßte das Objektiv besonderen Anforderungen genügen, die für das Vergrößern von Fotos nicht nötig sind. Die Lupe, die sich am



oberen Ende des Mikroskops befindet, heißt wieder Okular. Der Vergrößerungsmaßstab errechnet sich durch die Multiplikation der Vergrößerung des Objektivs und des Okulars. Vergrößert zum Beispiel das Objektiv 100fach und das Okular 5fach, so ergibt das eine 500fache Gesamtvergrößerung.

Das mikroskopisch betrachtete Objekt ist wegen seiner Winzigkeit meist durchsichtig und somit einem Fotonegativ vergleichbar. Die Lichtquelle befindet sich beim Mikroskop genau unterhalb oder seitlich unterhalb des Objekträgers. Im letzteren Falle werden die Lichtstrahlen durch einen schrägstehenden Spiegel nach oben gelenkt und gelangen durch einen Kondensor zum Objekt, dessen Träger – ein Glasplättchen – auf dem kleinen Tisch des Mikroskops liegt. Die Lichtstrahlen gehen von unten durch das Objekt zum Objektiv. Dieses entwirft innerhalb des Tubus – so nennt man das Rohr, das Objektiv und Okular verbindet – ein vergrößertes reelles Bild, welches mit dem Okular nochmals vergrößert betrachtet wird. Ein Papierschirm oder eine Mattscheibe innerhalb des Tubus zum Auffangen des reellen Bildes ist dabei nicht erforderlich. Man kann das reelle Bild – hier Zwischenbild genannt – auch ohne Auffangschirm mit einer Lupe vergrößert betrachten.

Warum brauchen manche Menschen eine Brille?

Das Auge funktioniert zum Teil wie eine Kamera. Im Augapfel befindet sich vorn eine Sammellinse. Sie besteht freilich nicht aus Glas oder Plast, sondern aus einer durchsichtigen gallertartigen Masse. Die Linse entwirft ein kopfstehendes und seitenverkehrtes Bild der Umgebung auf die Netzhaut am hinteren Ende des Augapfels. Daß wir die Dinge trotzdem nicht kopfstehend

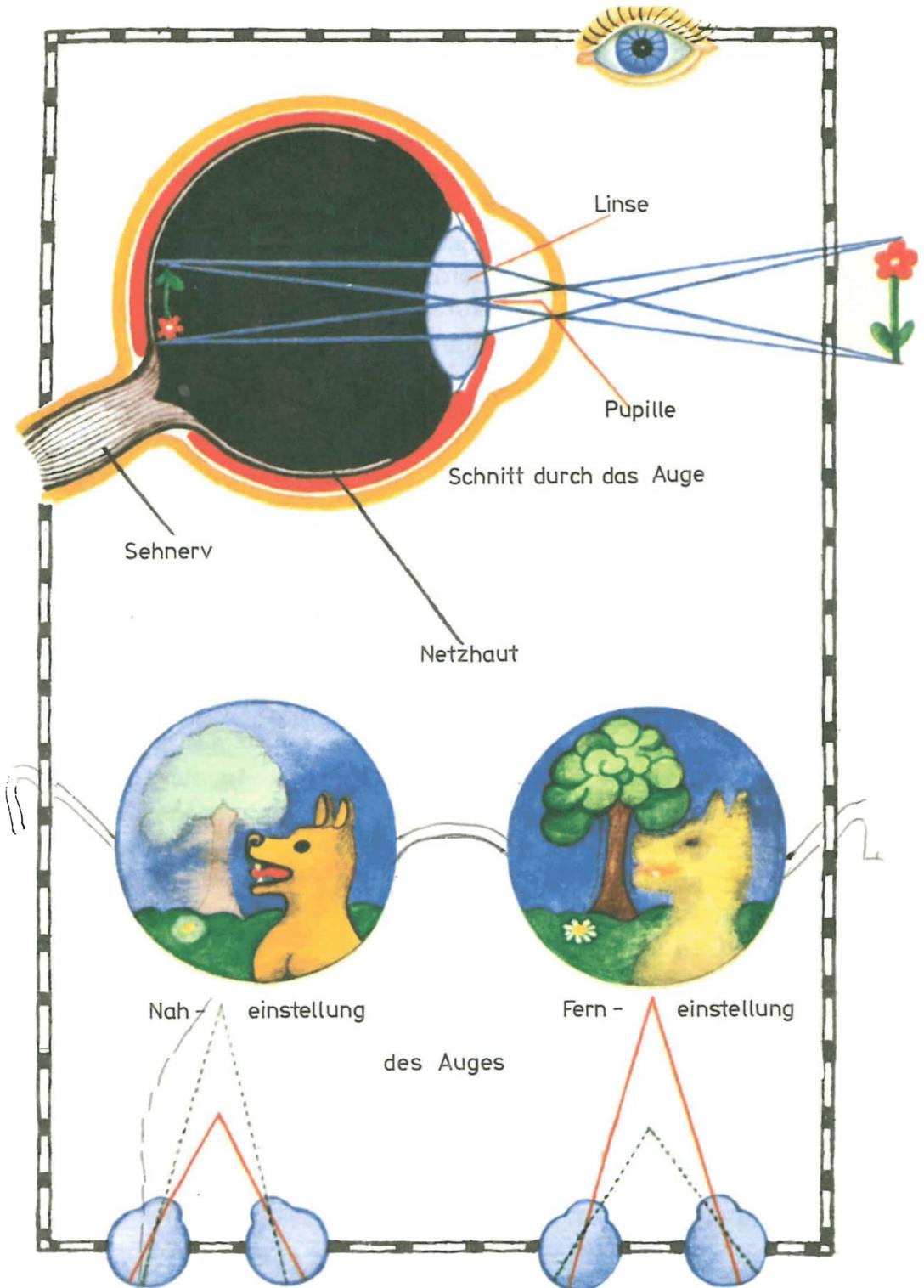
Oben: Schnitt durch einen Bildwerfer (Projektor). Unten links: Schnitt durch ein Mikroskop. Unten rechts: Mikroskopierleuchte

und seitenverkehrt sehen, beruht auf der Weiterverarbeitung der Lichtreize im Gehirn.

Das wurde durch einen interessanten Versuch bewiesen. Eine Gruppe von Menschen trug längere Zeit ständig Brillen, die bewirkten, daß ein aufrechtes und seitenrichtiges Bild auf die Netzhaut entworfen wurde. Daran war das Gehirn aber nicht gewöhnt, und so sahen die Versuchspersonen jetzt alles kopf-stehend und seitenverkehrt. Aber nach einiger Zeit der Umge-wöhnung sahen sie die Dinge wieder richtig. Als sie nun die Brillen nicht mehr trugen, sahen sie zunächst die Welt kopf-stehend und seitenverkehrt, bis sich das Gehirn wieder an die normale Verarbeitung der Lichtreize rückgewöhnt hatte. Das be-weist: Ob wir die Dinge kopfstehend oder aufrecht sehen, hängt nicht ausschlaggebend von der Abbildung auf der Netzhaut ab, sondern ist eine Leistung bestimmter Teile des Gehirns.

Zur Beantwortung der Frage, warum manche Menschen eine Brille brauchen, wollen wir zunächst den Versuch mit der Lupe wiederholen und damit ein Bild des Fensters an die Wand entwerfen. Scharf ist dieses Bild nur bei einem bestimmten Ab-stand zwischen Lupe und Wand. Jetzt schalten wir eine näher zur Wand gelegene Steh- oder Tischleuchte ein und entwerfen mit der Lupe ihr Bild an die Wand. Wir stellen fest, daß dieses Bild nur bei einem etwas größeren Abstand der Lupe von der Wand scharf wird. Nahe Gegenstände erfordern also einen größeren Abstand Lupe – Wand als ferne. Deshalb läßt sich – außer bei einfachen Boxkameras – an jedem Fotoapparat das Objektiv (oder zumindest dessen Vorderlinse) ein Stück heraus-drehen. Dadurch wird der Abstand des Objektivs vom Film an der Kamerarückwand vergrößert. Das ist nötig, um nahe Gegen-stände scharf abbilden zu können. Man nennt diesen Vorgang daher Scharfeinstellen.

Das oben Gesagte läßt sich auch so formulieren: Bei einem bestimmten Abstand zwischen Lupe und Wand können nicht sowohl ferne als auch nahe Gegenstände scharf abgebildet wer-den, sondern entweder nur ferne oder nahe. Da wir den Aug-apfel nicht willkürlich verlängern oder verkürzen können, bleibt der Abstand zwischen Augenlinse und Netzhaut immer gleich.



Hieraus ergibt sich für die Scharfeinstellung des Bildes auf der Netzhaut ein Problem. Die Natur hat es auf eine Weise gelöst, die wir bisher mit keiner künstlichen Linse nachahmen können: Die Krümmung der Augenlinse läßt sich verändern. Damit ändern sich auch ihre Brennweiten und ihre Brechkraft für Lichtstrahlen. Das nennt man Akkommodation. Sie ermöglicht, wahlweise das Bild ferner oder naher Gegenstände auf der Netzhaut scharf einzustellen. Je nachdem, ob wir auf einen fernen oder nahen Gegenstand schauen, verändern wir die Form der Augenlinsen. Das geschieht ganz automatisch, unwillkürlich, ohne daß wir es merken.

Bei vielen Menschen läßt aber die Elastizität und damit die Verformbarkeit der Augenlinse mit zunehmendem Alter nach. Dann ist es nicht mehr möglich, sie auf sehr nahe Entfernung, zum Beispiel auf die Schrift beim Lesen, scharf einzustellen. Man nennt diesen Augenfehler deshalb Alterssichtigkeit. Er wird durch eine Lesebrille, die zwei Sammellinsen hat, ausgeglichen. Augenlinse und Brillenglas wirken dabei so zusammen, daß wieder eine scharfe Abbildung naher Gegenstände auf der Netzhaut entsteht.

Ein anderer, auch bei jungen Menschen verbreiteter Augenfehler ist die Kurzsichtigkeit. Sie heißt so, weil die Betreffenden zwar auf kurze Entfernung scharf sehen können, nicht aber auf weite. Der Augenfehler beruht nicht auf mangelnder Verformbarkeit der Augenlinse, sondern darauf, daß der Augapfel zu lang und damit der Abstand zwischen Augenlinse und Netzhaut so groß ist, daß auch die Akkommodation nicht mehr ausreicht, um auf ferne Gegenstände scharf einzustellen zu können. Das scharfe Bild entsteht bereits in einer Ebene vor der Netzhaut. Erinnern wir uns daran, daß bei unserem Versuch zum scharfen Abbilden weit entfernter Gegenstände ein kleinerer Abstand zwischen Lupe und Wand erforderlich war. Ein so kleiner Abstand zwischen Augenlinse und Netzhaut ist wegen des zu langen Augapfels jedoch nicht möglich. Eine Brille mit Zerstreuungslinsen gleicht die Kurzsichtigkeit aus. Augenlinse und Brillenglas zusammen ergeben dabei eine scharfe Abbildung ferner Gegenstände auf der Netzhaut.

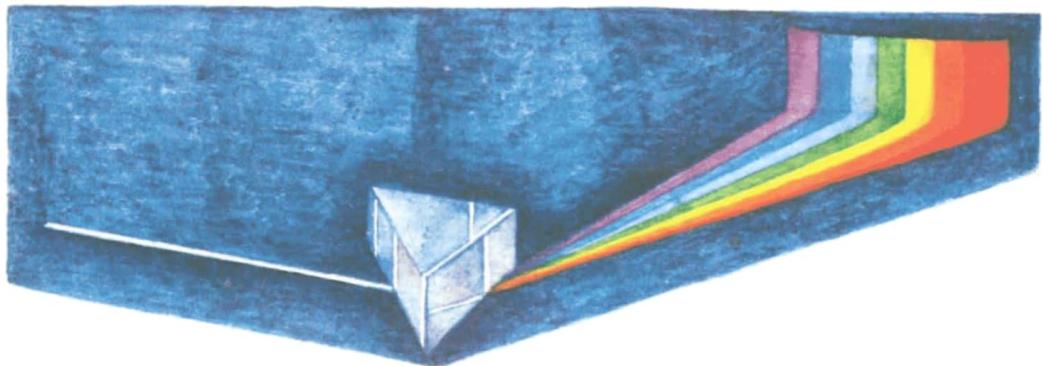
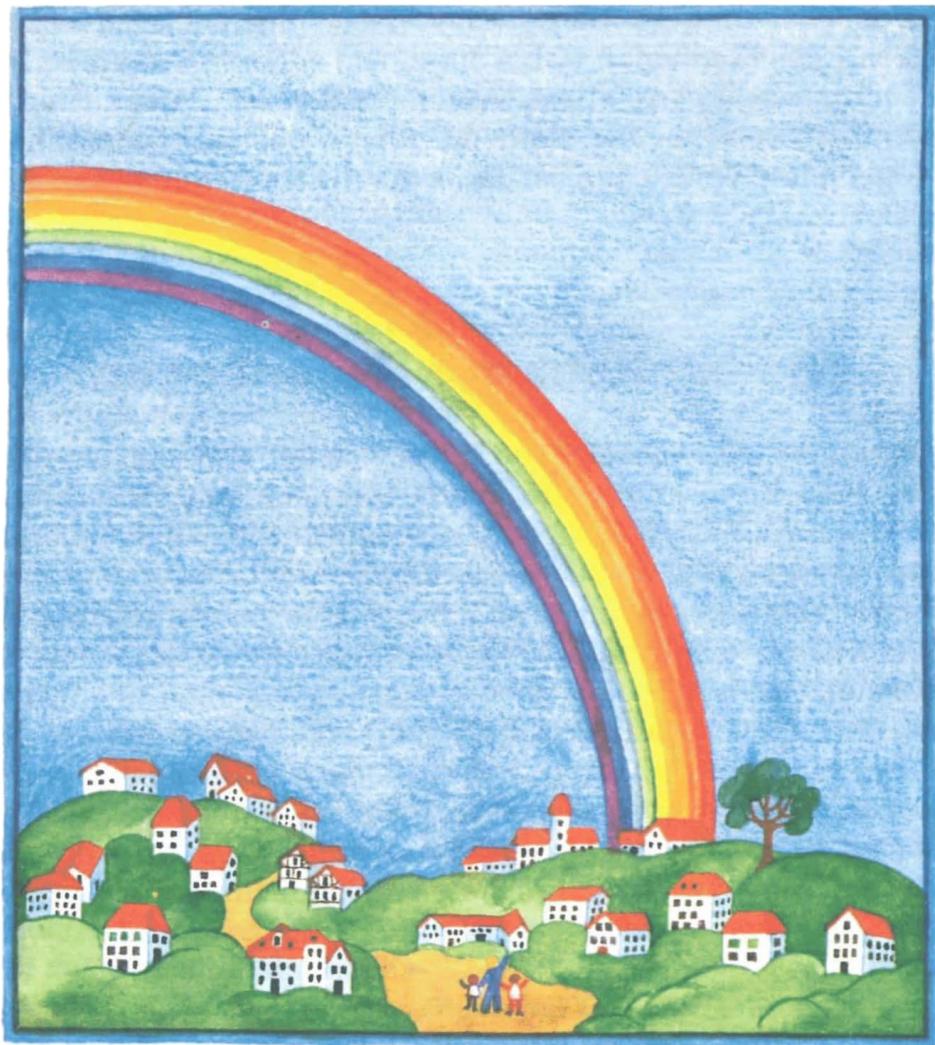
Auch das Umgekehrte kommt vor, der Augapfel ist zu kurz. In diesem Falle kann man – aber aus einem anderen Grunde als bei der Alterssichtigkeit – trotz Akkommodation nahe Gegenstände nicht scharf sehen, sondern nur weite. Deshalb heißt dieser Augenfehler Weitsichtigkeit. Er ist durch eine Sammellinse ausgleichbar.

Wie entsteht der Regenbogen?

Als großes leuchtendes Band wölbt sich der Regenbogen über den Himmel. In ihm liegen von außen nach innen die Farben Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett nebeneinander. Man nennt sie deshalb auch Regenbogenfarben. Selten sieht man neben dem Haupt- noch einen schwächeren Nebenregenbogen. In ihm ist die Reihenfolge der Farben umgekehrt. Aber auch schon der einfache Regenbogen gehört zu den Seltenheiten. Er entsteht nur, wenn eine Anzahl von Bedingungen zusammentreffen.

Um zu verstehen, warum sich ein Regenbogen bildet, müssen wir die Lichtbrechung noch etwas genauer betrachten. Wir wissen bereits, daß Lichtstrahlen beim Übergang aus einem optisch dünneren in einen optisch dichteren Stoff oder umgekehrt gebrochen, aus ihrer ursprünglichen Richtung etwas umgelenkt werden. Genaugenommen ist der Winkel, um den die Strahlen abgelenkt werden, bei den unterschiedlichen Lichtfarben (Wellenlängen) etwas verschieden. Am stärksten wird violettes und blaues Licht, am wenigsten rotes abgelenkt.

Das Verhalten der Lichtstrahlen verschiedener Farben wollen wir uns durch einen Vergleich veranschaulichen. Wir stellen uns sieben Läufer vor. Jeder trägt ein andersfarbiges Trikot, ein rotes, orangefarbenes, gelbes, grünes, blaues, indigofarbenes und violettes; jeder spielt in unserem Vergleich die Rolle eines Lichtstrahls von der Farbe seines Trikots. Die Läufer passieren hintereinander, im „Gänsemarsch“, eine bestimmte Linie; sie stellt den lichtbrechenden Stoff dar. Hinter der Linie setzen also alle Sportler ihren Lauf in veränderter Richtung fort. Aber je nach der



Farbe ihres Trikots ist die Ablenkung aus der ursprünglichen Richtung etwas verschieden. Wenn sie schließlich am Ziel eintreffen, stehen sie nicht mehr in einer Reihe hintereinander, sondern nebeneinander. Sie sind gewissermaßen auseinandergesortiert worden. Der Läufer mit dem violetten Trikot steht, weil er am stärksten abgelenkt wurde, an dem einen Flügel der Reihe, der mit dem roten am anderen Flügel. Dazwischen haben sich die Läufer mit den Trikots der anderen Farben angeordnet. Ihre Reihenfolge ist aber nicht beliebig, sie lautet: Violett, Indigo, Blau, Grün, Gelb, Orange, Rot. Dies entspricht genau der Einteilung der Lichtfarben nach ihren Wellenlängen, angefangen vom kürzestwelligen Violett bis zum längstwelligen Rot.

Diese Farbskala nennt man Spektrum und die in ihm vorkommenden Farben Spektralfarben. In unserem Falle ist das Spektrum durch Zerlegen des weißen Mischlichts entstanden. Ein solches Zerlegen des Lichts erfolgt auch, wenn die Sonnenstrahlen unzählige in der Luft schwabende Regentropfen durchdringen. Ein dreikantiger Glaskörper, Prisma genannt, zerlegt das weiße Mischlicht ebenfalls in seine Spektralfarben. Vielleicht ist uns schon aufgefallen, daß auf der Tischplatte oder irgend einer anderen Fläche manchmal eine Art winziger Regenbogen zu sehen ist, in dem Streifen verschiedener Farben nebeneinanderliegen. Als Prisma wirkt dabei häufig der Glaskörper unseres Fensterthermometers; er ist nämlich dreikantig geschliffen. Das Thermometer ist freilich kein ideales Prisma, doch es genügt, um bei einer bestimmten Einfallrichtung der Sonnenstrahlen das zerlegte Licht auf eine Fläche zu projizieren und dort ein mehr oder weniger deutlich sichtbares Spektrum zu erzeugen.

Ein Prisma zerlegt die Farben besonders deutlich, „zieht“ das Spektrum weit auseinander. Das heißt: Die einzelnen Spektralfarben liegen im Spektrum deutlich getrennt nebeneinander.

Oben: Regenbogen. Unten: Zerlegung des weißen Mischlichts durch ein Prisma in die Spektralfarben

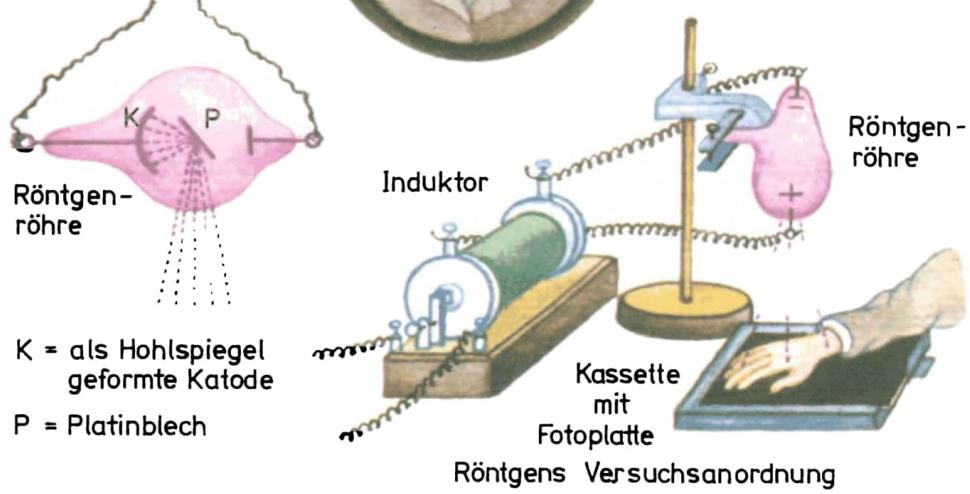
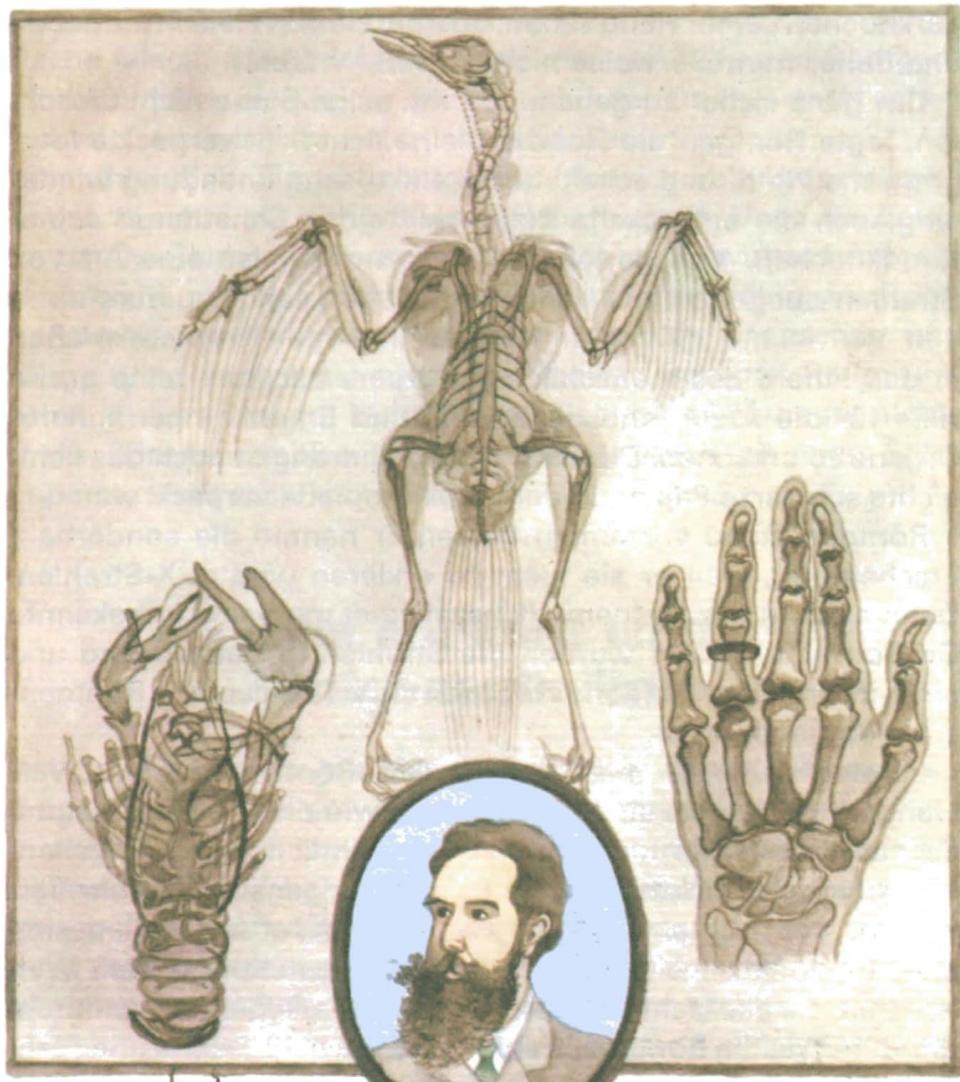
Ein bißchen zerstreut auch jede Glaslinse die Farben – sehr zum Leidwesen aller, die optische Geräte konstruieren. Denn die Folge davon ist, daß beispielsweise ein Punkt nicht genau als Punkt abgebildet wird, sondern die von dem Punkt ausgehenden Lichtstrahlen verschiedener Farbe zu einem kleinen Scheibchen zerstreut werden. Anders ausgedrückt: Die Abbildung des Punktes ist etwas unscharf.

Dies ist einer der Gründe dafür, warum zum Beispiel hochwertige Objektive niemals nur aus einer, sondern aus mehreren Linsen zusammengesetzt sind. Diese sind so beschaffen, daß sie Abbildungsfehler entgegengesetzter Art hervorrufen. Dadurch gleichen sich die Fehler gegenseitig weitgehend aus, und man erzielt eine bessere, schärfere Abbildung, als man sie mit nur einer Linse erreicht. Außer der Farbzerstreuung haben Linsen übrigens noch andere Abbildungsfehler. Sie werden nach demselben Prinzip gemildert, also indem man mehrere Linsen mit Fehlern entgegengesetzter Art kombiniert. Die Zerlegung des Lichts in seine Spektralfarben kann noch auf andere Weise als durch Prismen und Linsen erfolgen.

Was sind Röntgenstrahlen?

Anfang 1896 ging eine sensationelle Meldung durch alle Zeitungen der Welt: Der deutsche Physikprofessor Wilhelm Conrad Röntgen hatte gegen Ende des Jahres 1895 eine neue Art von Strahlen entdeckt. Sie entstanden, wenn man in einer bestimmten Vorrichtung eine starke elektrische Entladung erzeugte. Als Röntgen seine Hand zwischen die Vorrichtung und einen Leuchtstoffschirm hielt, sah er plötzlich die Knochen seiner Finger als dunkle Schatten auf dem Schirm. Er rieb sich die Augen. Träumte er? Aber sooft er das Experiment wiederholte – immer konnte er auf dem Leuchtstoffschirm deutlich die Fin-

Röntgens Versuchsanordnung bei der Entdeckung der X-Strahlen



K = als Hohlspiegel
geformte Katode

P = Platinblech

Röntgens Versuchsanordnung

gerknochen seiner Hand sehen, obwohl sie von Fleisch umgeben und daher normalerweise nicht sichtbar waren.

Um ganz sicher zu gehen, daß ihn seine Sinne nicht täuschten, legte Röntgen die Hand auf eine lichtdicht verpackte fotografische Platte und schaltete die elektrische Entladung wieder ein. Auch die entwickelte Platte zeigte den Schattenriß seiner Handknochen. Von der Vorrichtung mußte also eine Art von Strahlen ausgehen, die Hände und Gegenstände zu durchdringen vermochte. Mit ihrer Hilfe konnte man gewissermaßen in das Innere des menschlichen Körpers blicken – eine große Hilfe für die Ärzte, Knochenbrüche und Erkrankungen innerer Organe zu erkennen. Die Strahlen durchdrangen auch das lichtdichte schwarze Papier, in dem die Fotoplatte verpackt war.

Röntgen stand vor einem Rätsel. Er nannte die sonderbare Erscheinung, weil er sie nicht zu erklären wußte, X-Strahlen. Denn auch in der Mathematik bezeichnet man eine unbekannte Größe mit x. Später wurden die Strahlen in Deutschland und einigen anderen Ländern zu Ehren ihres Entdeckers Röntgenstrahlen genannt.

Inzwischen weiß man längst, daß Röntgenstrahlen „Verwandte“ des Lichts sind, also ebenso wie diese elektromagnetische Wellen. Sie haben jedoch wesentlich kürzere Wellenlängen als das sichtbare Licht. Es gibt übrigens noch mehr Verwandte des Lichts. Auch die Radio- und Fernsehwellen sind elektromagnetische Wellen. Sie haben eine weit größere Wellenlänge als das Licht und können ebenfalls Gegenstände durchdringen. Wie die Röntgenstrahlen sind auch die Radio- und Fernsehwellen unsichtbar. Was wir auf dem Bildschirm sehen, sind keine Fernsehwellen. Diese dienen vielmehr nur dazu, elektrische Signale vom Sender zum Empfänger zu übertragen. Hier werden die Signale von den Fernsehwellen abgetrennt und in Licht umgewandelt. Ähnliches gilt für die Radiowellen. Sie sind nicht hörbar, sondern übermitteln gleichfalls nur Signale, die im Empfänger von den Radiowellen abgetrennt und in (hörbaren) Schall umgewandelt werden.

Die Kunde von den Röntgenstrahlen verbreitete sich so schnell durch alle Zeitungen wie bei noch keiner naturwissenschaft-

lichen Entdeckung zuvor. Dabei verstanden viele Reporter die Sache falsch. Sie berichteten, daß man mit Hilfe von Röntgenstrahlen durch die Kleider der Leute blicken und sie nackt sehen könne. Das entsetzte natürlich besonders die Damenwelt. Als daraufhin eine Firma „röntgenstrahlensichere“ Unterwäsche anbot, machte sie ein großes Geschäft damit. Doch die Leute hatten ihr Geld dafür umsonst ausgegeben. So wirken Röntgenstrahlen nämlich gar nicht. Wenn man in einem Raum eine Röntgenstrahlenquelle einschaltet, sieht man die Menschen und Dinge nicht anders als sonst. Verdunkelt man den Raum und schaltet das sichtbare Licht aus, so sieht man überhaupt nichts mehr, Röntgenstrahlen sind ja unsichtbar. Auch mit einem Fotoapparat erhält man keine Bilder.

Wie entsteht eine Röntgenaufnahme?

Will man mit Hilfe von Röntgenstrahlen etwas erkennen, so braucht man stets entweder einen Leuchtstoffschirm, der die unsichtbaren Strahlen in sichtbares Licht umwandelt, oder speziellen fotografischen Film. Dieser wird durch Röntgenstrahlen ebenso geschwärzt wie durch Licht. Das Bild, das dabei — nach der Entwicklung — auf dem Film entsteht, ist aber kein Foto, wie man es bei Beleuchtung mit sichtbarem Licht erhält, es ist vielmehr einem Schattenriß vergleichbar, wie er bei Schattenspielen erzeugt wird. Bei einem Schattenspiel erscheinen die Figuren jedoch völlig schwarz und ihre Umgebung weiß. Es gibt also nur zwei Stufen: ganz schwarz und ganz weiß. Das Röntgenbild hat dagegen viele Abstufungen.

Auf einem Leuchtstoffschirm erscheinen zum Beispiel die Knochen ziemlich dunkel, weil sie aus einer sehr kompakten Masse bestehen, die wenig Röntgenstrahlen durchläßt. Das sie umgebende Fleisch erscheint heller, da es die Strahlen besser durchläßt. Ein Ring am Finger zeichnet sich noch dunkler als die Knochen ab; er läßt noch weniger Röntgenstrahlen als

sie durch. Im Röntgenbild auf fotografischem Film sind die gleichen Abstufungen enthalten. Doch ist hier umgekehrt der Ring ganz hell, die Knochen sind zartgrau und das Fleisch ziemlich dunkel. Das Bild auf dem Film ist ja ein Negativ. Die Körperteile, welche die meisten Strahlen zum Film durchlassen, werden daher am stärksten geschwärzt abgebildet, und die, welche die wenigsten Strahlen durchlassen, am hellsten. Wie geht nun eine Röntgenaufnahme vor sich?

Soll zum Beispiel der Brustkorb geröntgt werden, stellt sich der Patient vor den Apparat, der die Strahlen aussendet. Von hier aus gehen sie durch den Körper und treffen an der anderen Seite auf den Film. Dieser befindet sich in einer Kassette, die ihn gegen sichtbares Licht schützt. Man muß die Brust dicht an die Kassette lehnen und den Atem anhalten (damit die Aufnahmen durch die Atembewegungen nicht unscharf, „verwackelt“ werden). Um mit möglichst wenig Röntgenstrahlen auszukommen, wird häufig auf einer Seite oder beiden Seiten des Films eine Leuchtstofffolie mit in die Kassette eingelegt. Sie sendet beim Auftreffen der Röntgenstrahlen bläuliches Licht aus, für das der Röntgenfilm ebenfalls besonders empfindlich ist. Dieses Licht trägt wesentlich zur Schwärzung des Films bei.

Nach dem Entwickeln sieht man auf dem Film die Schattenrisse der einzelnen Brustorgane und der Knochen. Erkranktes Lungengewebe zum Beispiel lässt weniger Röntgenstrahlen durch als gesundes und wird folglich auf dem Röntgenfoto-Negativ heller abgebildet als normales. Daran erkennt der Arzt die Erkrankung. Da es sich um ein Negativ handelt, nennt man die hellen Stellen Schatten. Auch Erkrankungen anderer Organe und Knochenbrüche können durch Röntgenaufnahmen festgestellt werden.

Der Film für eine Röntgenaufnahme muß ebenso groß sein wie der zu untersuchende Körperteil. Will man Millionen von Menschen in regelmäßigen Zeitabständen vorsorglich auf Erkrankungen des Brustkorbs untersuchen, so wären deshalb riesige Mengen Filmmaterial und ein enormer Arbeitsaufwand zum Entwickeln erforderlich. Aus diesem Grund erfolgen Reihenuntersuchungen nach einer anderen Technik. Bei ihr befindet

sich an der Stelle des fotografischen Films nur ein Leuchtstoffschirm. Auf ihm entsteht durch die Strahlen ein Schattenriß in grünlichem Licht. Es kann wie jedes sichtbare Licht durch Gläser gebrochen werden. Folglich läßt sich mit einem Objektiv ein verkleinertes Abbild des großen Leuchtschirm-Röntgenbildes auf Film entwerfen und fotografieren. Auf einen langen Filmstreifen passen hintereinander sehr viele solcher Röntgenschirmbild-Aufnahmen. Alle jugendlichen und erwachsenen Bewohner der DDR werden in bestimmten Zeitabständen zu einer Schirmbild-Untersuchung aufgefordert. Ärzte betrachten später die Schirmbildfotos und erkennen dabei frühzeitig die Anzeichen einer eventuellen Erkrankung.

Von dem Leuchtstoffschirm und der Kamera ist in der Schirmbildstelle freilich nichts zu sehen. Beide sind von einem lichtdichten Gehäuse umschlossen, damit Tageslicht oder sonstige Raumbeleuchtung nicht auf den Leuchtschirm fällt. Ohne dieses Gehäuse müßten die Aufnahmen in einem völlig verdunkelten Raum erfolgen, was den Arbeitsablauf erschweren würde.

Es ist noch eine dritte Art von Röntgenuntersuchungen möglich, welche nur in einem Dunkelraum erfolgen kann: die Röntgendurchleuchtung. Dabei wird das Schirmbild nicht fotografiert, sondern vom Arzt direkt betrachtet. Die Verdunkelung ist erforderlich, weil das Schirmbild nicht sehr hell ist. Der Arzt muß seine Augen erst eine Weile an die Dunkelheit gewöhnen, bevor er das Schirmbild überhaupt deutlich erkennen kann. Schon von einer schwachen Raumbeleuchtung würde es bis zur Unkenntlichkeit überstrahlt.

Eine sehr moderne Technik ermöglicht es, das Leuchtschirmbild auch mit einer Fernsehkamera aufzunehmen und auf einen Empfänger zu übertragen. Dabei wird das schwache Bild verstärkt und hell wie ein normales Fernsehbild auf dem Bildschirm sichtbar. Leuchtschirm und Fernsehkamera sind dabei wieder zum Schutz gegen Fremdlicht von einem Gehäuse umschlossen. Das Bild auf dem Empfänger kann sofort und in einem hellen Raum, beispielsweise im Operationssaal, betrachtet werden.

Röntgenaufnahmen werden auch von Maschinenteilen angefertigt. Man erkennt dadurch mögliche Fehler im Innern des Materials, die später zu einem Defekt führen könnten. Da solche Untersuchungen kostspielig sind, erfolgen sie nur bei Teilen, deren Ausfall zu Gefahren oder zu Betriebsunterbrechungen, also großen volkswirtschaftlichen Verlusten führen würde.

Damit sind wir am Ende unserer langen Reise durch die Welt der Lichtstrahlen und anderen elektromagnetischen Wellen. Wenden wir uns nun noch kurz einigen anderen Fragen zu, denen wir im täglichen Leben begegnen.

Warum fallen alle Dinge nach unten?

Daß alle Gegenstände stets nach unten und niemals nach oben fallen, wissen die Menschen von jeher. *Warum* alles nach unten fällt, erkannte als erster vor reichlich 300 Jahren ein Student der Mathematik und Physik: Isaac Newton (sprich: njutn). Es war im Jahre 1666. In den englischen Städten wütete wieder einmal die Pest. Das ist eine schwere Krankheit, die durch Ansteckung von Mensch zu Mensch übertragen wird. In früheren Jahrhunderten fielen ihr Hunderttausende zum Opfer. Trat sie wie eine Seuche auf, schlossen auch die Universitäten, um die Krankheit einzudämmen. Der junge Newton kam auf solche Weise unverhofft zu einem Sonderurlaub. Er reiste zum Landsitz seiner Familie und hatte dort viel Muße.

Einer Überlieferung zufolge hat Newton eines schönen Altweibersommertages gedankenversunken auf dem Rasen unter einem Apfelbaum gelegen, als ein Apfel herniederfiel. Da kam ihm die Idee, daß allen Körpern eine Kraft innewohnt, mit der sie sich gegenseitig anziehen. So zieht die Erde den Apfel und alle anderen Gegenstände an. Umgekehrt ziehen auch alle Gegen-

Ein fallender Apfel soll Newton auf den Gedanken gebracht haben, daß sich alle Dinge durch Gravitation gegenseitig anziehen



stände die Erde an und alle Körper sich gegenseitig. Solange zum Beispiel der Baum den Apfel am Stiel in seiner Lage festhält, kann er durch die gegenseitige Anziehungskraft nicht in Bewegung versetzt werden. Aber wenn sich der Stiel im Herbst lockert, bewirkt die Anziehungskraft, daß der Apfel zu Boden fällt. Newton nannte diese Kraft, die allen Körpern innewohnt, Gravitation.

Es gibt noch eine andere, die magnetische Anziehungskraft. Wir dürfen sie nicht mit der Gravitation verwechseln. Zwischen Gravitation und Magnetismus bestehen große Unterschiede. Magnete ziehen nur Gegenstände aus Eisen, Stahl und einigen anderen Metallen an. Durch Gravitation werden dagegen alle Körper angezogen, gleichgültig, aus welchem Material sie bestehen. Außerdem können nur bestimmte Stoffe magnetisch gemacht werden. Die Gravitation hingegen ist eine Eigenschaft aller Stoffe. Die Erde hat übrigens auch einen Magnetismus. Er bewirkt, daß sich die Kompaßnadel in Nord-Süd-Richtung einstellt. Aber auch der Erdmagnetismus zieht nur Gegenstände aus bestimmten Metallen an. Außerdem ist die magnetische Kraft der Erde viel schwächer als ihre Gravitationskraft.

Die Gravitationskraft bewegt also Gegenstände, die nicht befestigt sind, zur Erde. Wir sehen das deutlich daran, daß sie nach unten fallen. Aber die Kraft hört nicht auf, wenn der Gegenstand zu Boden gefallen ist und nun unbeweglich auf der Stelle liegt. Jetzt können wir die Wirkung der Gravitationskraft zwar nicht mehr sehen, aber auf andere Weise feststellen. Auch das kennen wir alle längst und spüren es am eigenen Körper. Wir nennen es nur anders und sagen einfach: Alle Gegenstände haben ein Gewicht. Das Gewicht ist nämlich nichts anderes als die Kraft, mit der alle Körper auf Grund der Gravitation angezogen und auf eine feste Unterlage, wie zum Beispiel den Erdboden, gedrückt werden. Steht ein Tisch auf dem Boden und darauf ein Gegenstand, so wird dieser durch die Gravitationskraft auf die Tischplatte gedrückt. Sie hindert den Gegenstand nur daran, bis auf den Erdboden zu fallen. Aber der Gegenstand drückt mit derselben Kraft, also mit demselben Gewicht, auf die Tischplatte, mit der er auf den Erdboden drücken würde.

Wir wissen auch längst aus eigener Erfahrung, daß diese Kraft nicht bei allen Gegenständen gleich groß ist. Ein Sack mit 50 kg Kohlen drückt mit größerer Kraft, mit größerem Gewicht auf seine Unterlage als ein Eimer mit 10 kg Kohlen. Das spüren wir deutlich, wenn wir beides tragen wollen. Der Sack Kohlen zieht viel stärker nach unten als der gefüllte Kohleimer. Die Kraft der Gravitation ist nämlich stets um so größer, je größer die Masse der beiden Körper ist, die sich gegenseitig anziehen. Die Masse der Erde ist immer dieselbe. Aber die von ihr angezogenen Gegenstände können sehr unterschiedliche Massen haben, angefangen von einer leichten Hühnerfeder bis zur schweren D-Zug-Lokomotive.

Trotzdem dürfen wir das Gewicht eines Körpers nicht einfach mit der Masse gleichsetzen. Der Grund dafür liegt darin, daß die Kraft, mit der sich die Körper gegenseitig anziehen, nicht allein von ihrer Masse abhängt, sondern auch von ihrem Abstand zueinander. Je größer die Entfernung zwischen zwei Körpern ist, desto geringer ist die Anziehungskraft.

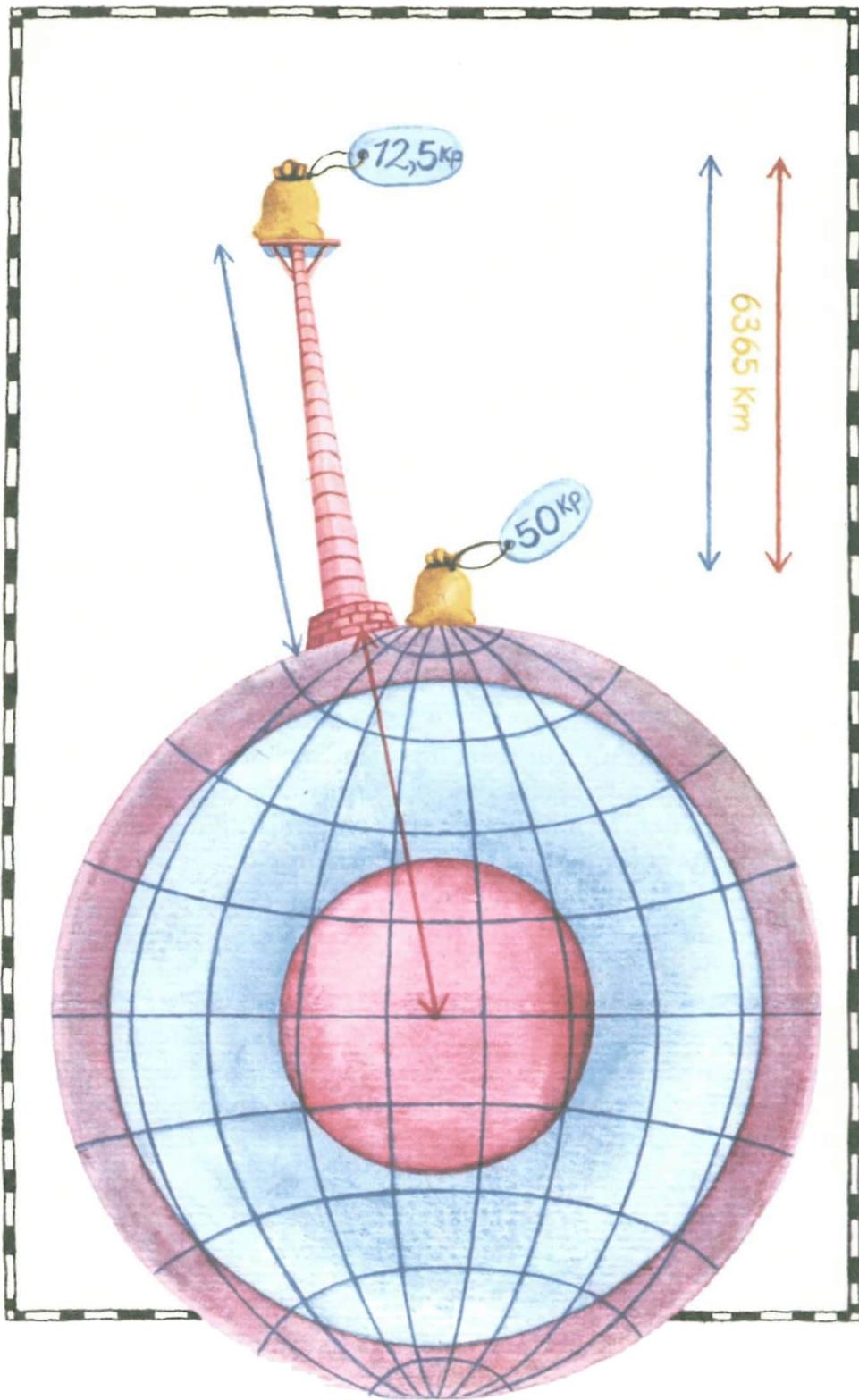
Wir können uns die Anziehungskraft der Erde in einem Punkt konzentriert denken, der in der Mitte der Erdkugel liegt. Man nennt ihn den Massenmittelpunkt. Da die Erde annähernd kugelförmig ist, befindet er sich in der Nähe des Erdmittelpunktes, also etwa 6 365 km unter der Erdoberfläche. Jeder Gegenstand am Erdboden hat also vom Massenmittelpunkt der Erde einen Abstand von 6 365 km. Stellen wir uns nun vor, wir könnten einen Turm bauen, der, von der Erdoberfläche aus gerechnet, noch einmal so weit, also 6 365 km hoch, in den Weltraum ragt. Ein Sack Kohlen, der sich auf der Spitze des Turms befände, wäre dann doppelt so weit vom Massenmittelpunkt der Erde entfernt als am Erdboden. Das hätte zur Folge, daß er dort nur noch ein Viertel des Gewichts hat wie am Erdboden. Seine Masse wäre aber völlig gleich geblieben, es wären nach wie vor 50 kg Kohlen.

In der Physik muß deshalb der Unterschied zwischen Masse und Gewicht unbedingt beachtet werden. Um beides nicht zu verwechseln, hat man verschiedene Maßeinheiten für Masse und Gewicht eingeführt. Die Masse wird in Gramm (g), Kilogramm (kg) und Tonnen (t) gemessen, das Gewicht wurde lange

Zeit in der noch in vielen Büchern verwendeten Einheit Kilopond (kp) angegeben. Sie ist durch die neue Einheit der Kraft, das Newton (N), ersetzt. Für die Umrechnung gilt: $1\text{ kp} = 9,80665\text{ N}$. $1\text{ Kilonewton (kN)} = 1\,000\text{ N}$. An der Erdoberfläche ist das Gewicht in kp stets fast ebenso groß wie seine Masse in kg. Dieser Umstand trug dazu bei, daß man jahrhundertelang den Unterschied kaum beachtete und in der Umgangssprache auch dann immer vom Gewicht sprach, wenn man eigentlich die Masse meinte. Kaufen wir beispielsweise Kartoffeln, kommt es uns nicht darauf an, mit welcher Kraft sie von der Erde angezogen werden, sondern auf die Menge der Kartoffeln. Es ist deshalb völlig richtig, wenn Kartoffeln, Kohlen und viele andere Waren nach Kilogramm verkauft werden. Aber es ist falsch zu sagen, daß sie „nach Gewicht“ gehandelt werden.

Daß das Gewicht eines Körpers in kp an der Erdoberfläche fast genauso groß ist wie seine Masse in kg, hat zwei Gründe. Erstens befinden sich an der Erdoberfläche alle Gegenstände in ungefähr gleicher Entfernung vom Massenmittelpunkt der Erde. Zweitens hat man die Maßeinheit 1 kp so festgelegt, daß ein Körper mit einer Masse von 1 kg auf dem 45. nördlichen oder südlichen geografischen Breitengrad in Höhe des Meeresspiegels gerade auch genau 1 kp Gewicht hat. Die Einschränkung auf den Breitengrad und die Meereshöhe läßt uns schon ahnen, daß derselbe Körper an verschiedenen Orten der Erde, zum Beispiel am Nordpol und am Äquator, oder in verschiedenen Höhen, beispielsweise im Tiefland und im Hochgebirge, ein unterschiedliches Gewicht hat. Das ist tatsächlich so. Denn auf einem 5 000 m hohen Berg ist ein Körper vom Massenmittelpunkt der Erde um 5 km weiter entfernt als in Höhe des Meeresspiegels. Folglich hat er dort auch ein anderes Gewicht, weil die Anziehungskraft infolge des größeren Abstandes geringer ist.

Ein Gegenstand, der doppelt so weit vom Erdmittelpunkt entfernt ist als die Erdoberfläche, hat nur noch ein Viertel des Gewichts, das er am Erdboden hätte



Da die Erde an den Polen abgeplattet ist, befindet sich ein Körper auch am Äquator vom Massenmittelpunkt der Erde weiter entfernt als am Nordpol und ist dementsprechend etwas leichter.

Gemessen an der großen Strecke von 6 365 km zwischen Erdmittelpunkt und Erdoberfläche sind die Unterschiede an den verschiedenen Punkten der Erde allerdings nur gering. Sie rechnen ja nur nach wenigen Kilometern. Dementsprechend gering sind daher auch die Unterschiede des Gewichts, das ein Körper gleicher Masse an verschiedenen Stellen der Erdoberfläche hat. Ein Körper mit der Masse von 1 kg ist zum Beispiel am Nordpol um nur 0,3 Prozent schwerer, am Äquator um 0,3 Prozent leichter – beide Male auf Meeresspiegelhöhe bezogen.

Wesentlich verändert wird das Gewicht eines Körpers aber, wenn er beispielsweise auf den Mond oder einen anderen Himmelskörper gebracht wird. Auf dem Mond ist er dem Massenmittelpunkt der Mondkugel so sehr viel näher als dem der Erde, daß sich auf den Körper jetzt hauptsächlich die Gravitationskraft des Mondes auswirkt. Sie bestimmt daher auch das Gewicht des Körpers. Da aber der Mond eine geringere Masse als die Erde hat, ist auch das Gewicht des Körpers auf dem Mond geringer. Es beträgt nur ungefähr ein Sechstel dessen auf der Erde. Das ist die Ursache dafür, warum das Gehen der Astronauten über den Mondboden mehr einem Hüpfen ähnelte. Ihre Bewegungen erfolgten viel leichter, denn sie waren – obwohl erwachsene Männer – dort buchstäblich kinderleicht.

Mit der gleichen Kraft, die ein Sportler auf der Erde braucht, um mit dem Stab 4 m hoch zu springen, könnte er auf dem Mond 24 m Höhe erreichen. Auch jeder Weitsprungrekord wäre dort um das Sechsfache zu überbieten. In Wirklichkeit ginge das allerdings nicht ganz so, weil man auf dem Mond einen schweren Raumanzug tragen muß, der die Beweglichkeit behindert, und außerdem zahlreiche Geräte zur Versorgung mit Atemluft. Denn auf dem Mond gibt es keine Luft.



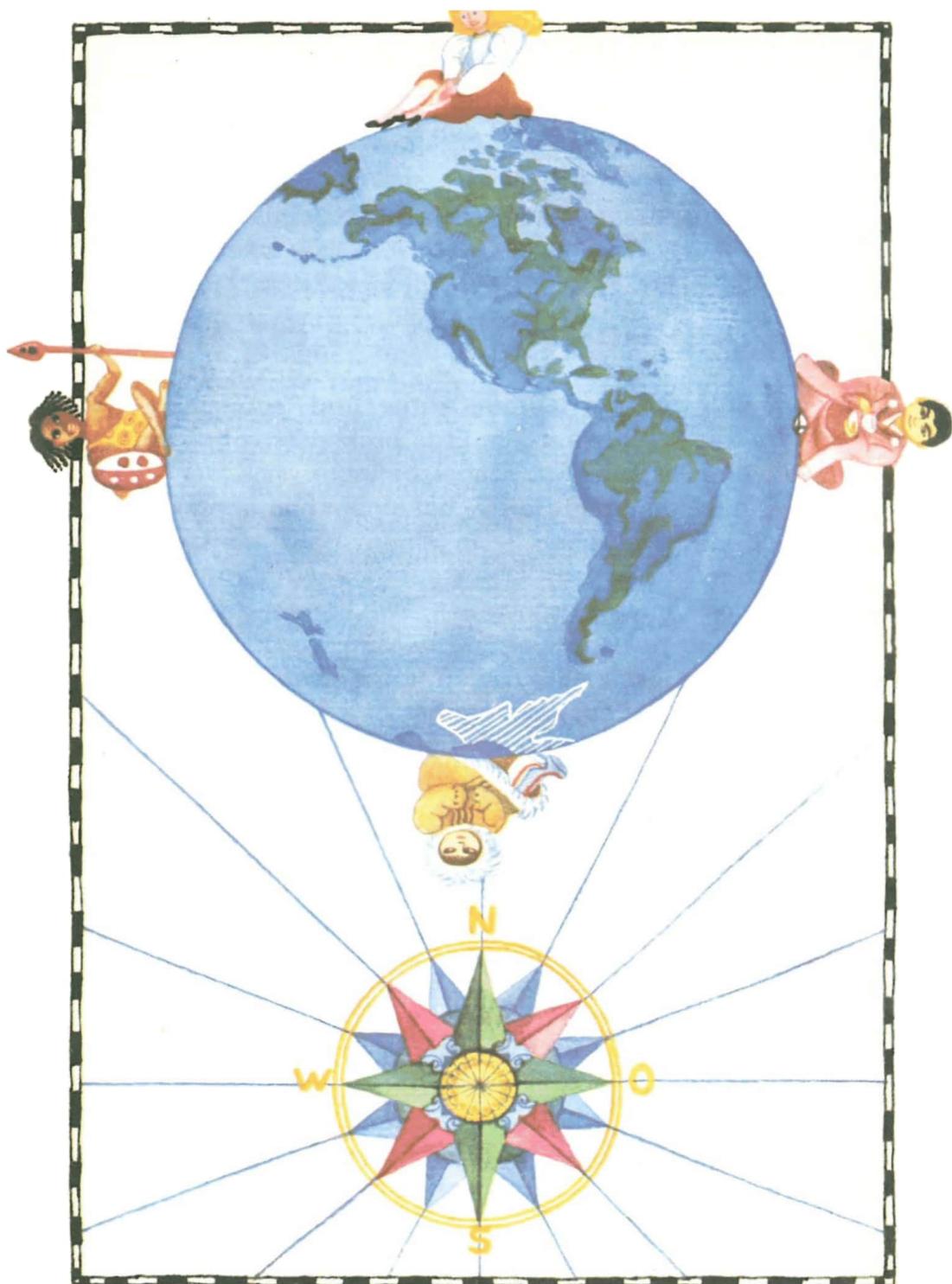
Doch zurück zum allgemeinen Gravitationsgesetz! Wir sagten oft vereinfachend, daß die Erde den Apfel oder andere Gegenstände anzieht. Wir dürfen darüber jedoch nicht vergessen, daß sich – wie eingangs betont – alle Massen *gegenseitig* anziehen. Die Erde zieht also nicht nur den Apfel an, sondern der Apfel zieht, und zwar mit gleicher Kraft, auch die Erde an. Das wirft die Frage auf, warum sich dann eigentlich nur der Apfel herab zur Erde bewegt und nicht auch die Erde ein Stückchen zum Apfel emporgehoben wird. Das beruht darauf, daß die Erde eine sehr viel größere Masse als der Apfel hat. Deshalb ist sie schwerer in Bewegung zu setzen. Die Kraft, die ausreicht, um einen Apfel in Bewegung zu setzen, reicht nicht aus, um auch die Erde in Bewegung zu setzen, oder, ganz genau gesagt: Die Bewegung, in welche die Erde durch diese Kraft versetzt wird, ist so gering, daß man sie überhaupt nicht feststellen kann.

Weil die Gravitation eine Eigenschaft aller Massen ist, nennt man sie auch Massenanziehungskraft. Wer ihre genauen mathematischen Gesetzmäßigkeiten wissen möchte – sie lauten:

Alle Körper ziehen sich durch Gravitation mit einer Kraft an, die direkt proportional dem Produkt ihrer Massen und umgekehrt proportional dem Quadrat des Abstandes ihrer Massenzentren ist.

Wenn man kleinen Kindern erzählt, daß die Erde eine Kugel ist, und ihnen einen Globus zeigt, fragen sie oft, warum die Menschen, die auf der Südhalbkugel wohnen, nicht herunterfallen. Sie wundern sich auch darüber, daß die Leute dort mit dem Kopf nach unten auf der Erde stehen oder „hängen“. Die Antwort auf die Frage geht aus dem bisher Geschilderten von selbst hervor. Da alle Körper in Richtung zum Erdmittelpunkt angezogen werden, können auch die Bewohner der Südhalbkugel nicht von unserem Planeten herabfallen. Jetzt können wir erklären, was die Richtungsangaben „unten“ und „oben“ bedeuten. Unten

Auch auf der Südhalbkugel sowie am Äquator stehen die Menschen mit den Füßen nach „unten“ und mit dem Kopf nach „oben“. Denn als „unten“ bezeichnet man stets die Richtung zum Erdmittelpunkt



ist stets die Richtung, in die ein Körper durch die Gravitation angezogen wird, auf der Erde also die Richtung zum Erdmittelpunkt. Oben ist die dazu entgegengesetzte Richtung. Folglich steht man auch am Südpol mit den Beinen nach unten und hat den Kopf oben.

Warum fliegt ein Raumschiff ohne Antrieb um die Erde?

Künstliche Erdsatelliten, Raumflugkörper und Raumschiffe, können im Weltraum jahrelang die Erde umkreisen, ohne daß ein Triebwerk eingeschaltet ist. Dabei befinden sich der Satellit und alle Gegenstände an Bord – bei einem bemannten Raumschiff auch die Menschen – in einem ganz merkwürdigen „schwerelosen“ Zustand. Die Raumfahrer vermögen zum Beispiel in der Kabine zu schweben. Wie kommt das?

Um die Frage zu beantworten, müssen wir uns mit einigen grundlegenden Gesetzmäßigkeiten von Bewegungsvorgängen vertraut machen. Allen Bewegungen – gleichgültig ob dem kunstvollen Lauf eines Eisläufers, dem Fahren eines Autos oder dem Flug eines Weltraumschiffs – liegen zwei physikalische Gesetze zugrunde. Das erste lautet:

Jeder Körper behält seinen Bewegungszustand bei, solange keine anderen Kräfte auf ihn einwirken.

Man nennt dieses Bestreben aller Körper, aller Massen, ihren Bewegungszustand beizubehalten, in der Physik Massenträgheit oder kurz Trägheit. Als ein Bewegungszustand ist auch der Ruhezustand zu betrachten. Er ist gewissermaßen ein Zustand mit der Bewegungsgeschwindigkeit Null. Aus dem genannten Gesetz folgt also, daß sich kein ruhender Körper von selbst in Bewegung setzt, sondern – solange keine anderen Kräfte auf ihn einwirken – dort liegen- oder stehenbleibt, wo er ist. Das erscheint uns so selbstverständlich, daß man sich wundern könnte, warum es durch ein Gesetz der Physik überhaupt so ausdrücklich festgestellt wird.

Weniger selbstverständlich erscheint uns die andere Konsequenz, die aus dem Gesetz folgt, daß nämlich ein Körper seine Bewegung beibehält, sich also stets mit der gleichen Geschwindigkeit und Richtung weiterbewegt, in die er einmal versetzt wurde. Doch widerspricht das nicht unseren täglichen Erfahrungen? Ein angestoßener Ball beispielsweise rollt zwar eine gewisse Strecke weiter, wird dabei aber allmählich immer langsamer und bleibt schließlich still liegen. Der Widerspruch ist nur scheinbar, denn in dem Gesetz wird ja die Einschränkung gemacht: „... solange keine anderen Kräfte auf ihn einwirken.“ Auf den rollenden Ball und auf alle Gegenstände, die sich an der Erdoberfläche oder in der Lufthülle unseres Planeten bewegen, wirken jedoch ständig andere Kräfte ein.

Die eine Kraft wird durch die Reibung verursacht. Selbst der glatte Boden eines Tennisplatzes oder einer gut asphaltierten Straße ist – genaugenommen – nicht völlig glatt, sondern hat unzählige kleine Erhöhungen und Vertiefungen. Ebensowenig ist die Oberfläche des Balls ganz glatt. Deshalb kann kein Ball gänzlich reibungslos über den Boden rollen. Er holpert vielmehr ähnlich wie ein Wagen über eine Straße mit Kopfsteinpflaster. Nur sind die Holperstöße nicht so groß, und daher wird er durch die auftretenden Reibungskräfte nicht so schnell gebremst. Aber eine geringe Bremskraft entsteht dabei doch und verringert laufend die Geschwindigkeit des Balls. Außerdem wirkt auf ihn – wenn auch nur in geringem Maße – der Luftwiderstand bremsend ein. All das führt dazu, daß seine Geschwindigkeit schließlich auf Null abgebremst wird.

Damit sind wir eigentlich bereits beim nächsten Grundgesetz der Bewegung. Das zweite lautet:

Um den Bewegungszustand eines Körpers zu ändern, muß man eine Kraft aufwenden.

Das erscheint wieder recht selbstverständlich. Man nennt die Veränderung eines Bewegungszustandes Beschleunigung. Dieses Wort bedeutet nicht dasselbe wie Geschwindigkeit. Die Beschleunigung ist vielmehr stets die Veränderung einer Bewegungsgeschwindigkeit oder -richtung. Ein Körper wird also auch dann beschleunigt, wenn er sich mit gleicher Geschwindigkeit

weiterbewegt, aber seine Richtung ändert. Die Änderung der Geschwindigkeit kann sowohl eine Erhöhung als auch eine Verringerung sein. Daher ist Bremsen ebenfalls eine Beschleunigung. Man nennt sie negative Beschleunigung oder Verzögerung.

Die Gültigkeit des Trägheitsgesetzes erleben wir übrigens oft an uns selbst, wenn wir mit der Bahn oder dem Bus fahren. Fährt das Verkehrsmittel an, werden wir entgegengesetzt zur Fahrtrichtung gegen den Sitz gedrückt. Falls wir stehen und uns nicht festhalten, können wir dabei umfallen. Solange die Bahn stand, befand sich auch unser Körper im Stillstand. Da er bestrebt ist, diesen Zustand auch dann beizubehalten, wenn sich das Fahrzeug in Bewegung setzt, kippen wir durch die Trägheit nach hinten oder werden gegen den Sitz gedrückt. Ein auf dem Fahrzeugboden liegender Ball würde beim Anfahren nach hinten rollen.

Das Umgekehrte tritt ein, wenn das Fahrzeug bremst. Wiederum ist unser Körper bestrebt, die zuvor schnelle Bewegung beizubehalten. Deshalb kippen wir nach vorn, in Fahrtrichtung. Da, wie bereits gesagt, auch Richtungsänderungen eine Beschleunigung sind, spüren wir die Trägheit ebenso beim Durchfahren von Kurven. Unser Körper ist bestrebt, sich in der alten Richtung weiterzubewegen. In einer Linkskurve liegt die alte Richtung rechts von der neuen, folglich kippen wir nach rechts. In der Rechtskurve kippen wir nach links.

Doch zurück zum Beispiel des rollenden Balls! Wir sehen: Das allmähliche Langsamerwerden und das Liegenbleiben des angestoßenen Balls entspricht genau den beiden Bewegungsgesetzen. Durch den Anstoß wurde er beschleunigt. Er hat nun das Bestreben, die ihm dabei erteilte Bewegungsgeschwindigkeit und -richtung beizubehalten. Aber dieser seiner Trägheit wirken zwei andere Kräfte entgegen: die Reibungskraft – sie ist

Oben: Bei starkem Wind fallen die Regentropfen nicht senkrecht, sondern schräg zum Boden. Unten: Wenn die Straßenbahn stark bremst, kippen die Fahrgäste nach vorn – eine Folge der Massenträgheit



übrigens eine Folge der Gravitation – und die durch den Luftwiderstand erzeugte Kraft.

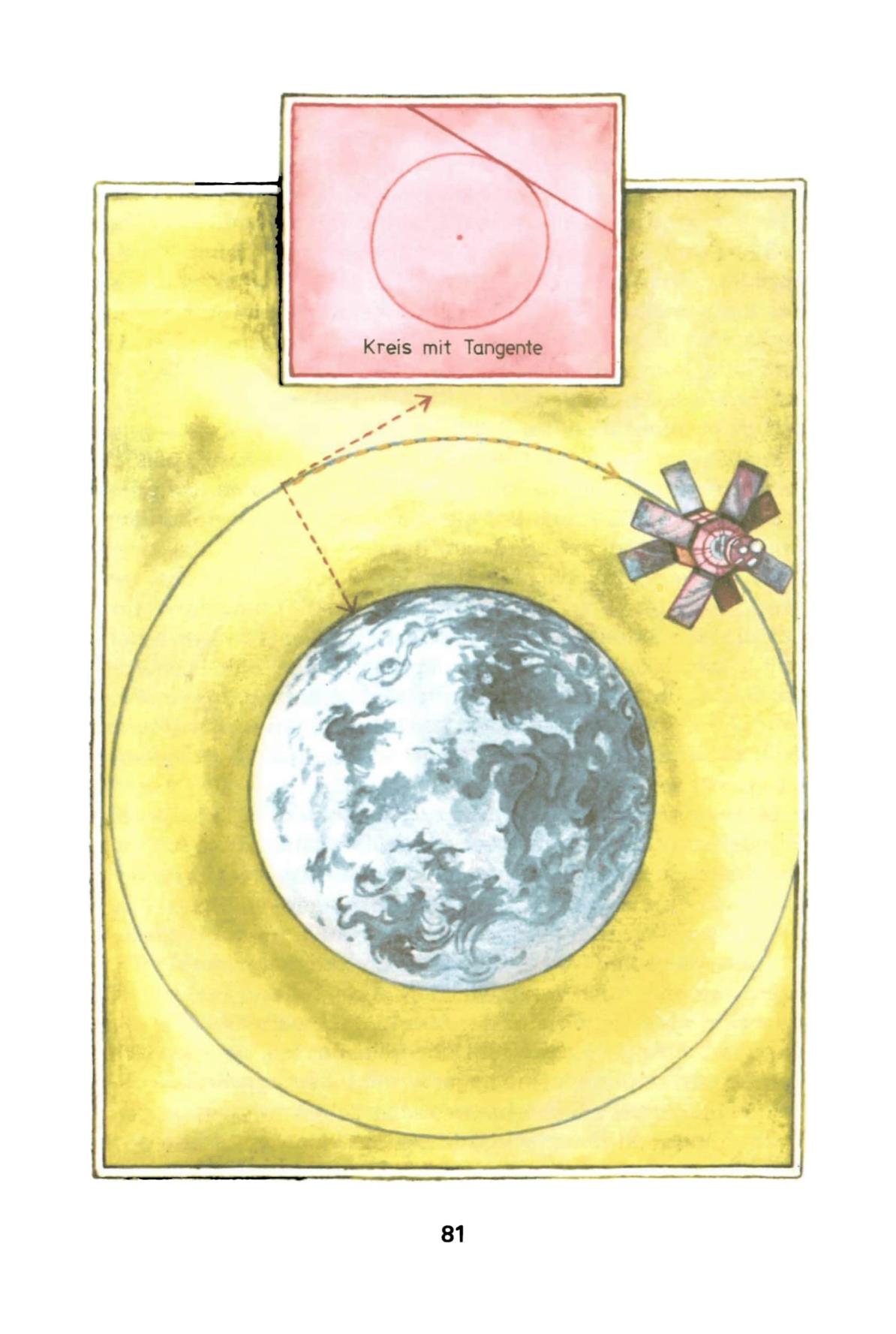
Unter den Bedingungen an der Erdoberfläche sowie auch innerhalb der Lufthülle unseres Planeten ist es gar nicht möglich, daß ein Körper, der einmal mit einer bestimmten Geschwindigkeit und Richtung in Bewegung versetzt, beschleunigt wurde, diesen Bewegungszustand unendlich lange beibehält.

Ideale Bedingungen für das Beibehalten eines Bewegungszustandes bietet dagegen der Weltraum. Dort gibt es keine Luft und folglich auch keinen Luftwiderstand. Ebenso gibt es keine Reibung. Denn der Erdsatellit bewegt sich ja auf keiner Oberfläche, sondern in dem (fast) leeren Weltraum. Damit entfallen alle bremsenden Kräfte. Die Gravitationskraft der Erde wirkt allerdings auch hier weiter auf ihn ein und läßt ihn ständig in Richtung zum Erdmittelpunkt fallen. Warum fällt ein Erdsatellit dann aber nicht ebenso wie ein Apfel schließlich einmal zu Boden?

Sicher haben wir schon beobachtet, wie an einem stürmischen Regentag dicke Tropfen nicht senkrecht, sondern schräg zur Erde fallen. Die schräge Bewegung entsteht dadurch, daß außer der Gravitationskraft noch die Kraft des Windes auf die Tropfen einwirkt. Er „pustet“ sie vor sich her. Gäbe es keine Gravitation, so würden die Tropfen horizontal durch die Luft fliegen.

Auf die Tropfen wirken also zwei in verschiedene Richtungen gehende Kräfte. Die Gravitationskraft bewirkt eine senkrecht nach unten gerichtete Bewegungskomponente, der Sturmwind eine waagerechte. Aus dem gleichzeitigen Zusammenwirken beider Komponenten entsteht eine schräg nach unten gerichtete Bewegung. Anders ausgedrückt: Die Tropfen werden während ihres Herabfallens zum Boden gleichzeitig ein Stück in waagerechter Richtung bewegt.

Auch der Umlauf eines Erdsatelliten um unseren Planeten beruht auf einem solchen Zusammenwirken von zwei in verschiedene Richtungen gehenden Bewegungskomponenten. Die eine Komponente bewirkt, daß der Satellit dauernd senkrecht zur Erde fällt. Die zweite Komponente ist waagerecht geradeaus gerichtet. Diese Bewegungskomponente erhielt der Satellit beim



Kreis mit Tangente

Einfliegen in die Umlaufbahn durch die Kraft des Triebwerks. Er wurde in eine Richtung beschleunigt, die geradeaus von der Erde hinwegweist. Die Richtung bildet eine Gerade, welche die kreisförmige Umlaufbahn berührt (siehe Bild auf Seite 81 oben). Man nennt eine den Kreis berührende Gerade eine Tangente.

Gäbe es keine Gravitation, dann würde sich der Satellit in gerader Richtung, also entlang der Tangente, immer weiter von der Erde entfernen. Da aber die Gravitationskraft auf ihn einwirkt, fällt er zugleich ständig zur Erde. Daraus entsteht eine Bahn, die nicht mehr tangential geradeaus, sondern in Richtung zur Erde gekrümmmt verläuft.

Nun ist aber auch die Erdoberfläche gekrümmmt, weil unser Planet kugelförmig ist. Der Satellit fliegt so schnell, daß auf jeder beliebigen Strecke, die er durchläuft, sich seine Bahn nicht stärker krümmt als sich auf gleicher Strecke die Erdoberfläche unter ihr hinweggekrümmt hat. Folglich fällt der Satellit zwar dauernd, erreicht aber trotzdem nie die Erdoberfläche, weil sich diese stets um dieselbe Höhe unter ihm hinwegkrümmt, um die der Satellit gefallen ist. Man kann sagen: Der Satellit fällt dauernd um die Erde. Das ist aber nur bei einer bestimmten Geschwindigkeit der Fall. Sie beträgt bei einer erdnahen Bahn rund 7,9 km/s. Das sind etwa 28440 km/h. Bei weiter von der Erde entfernten Kreisbahnen ist die erforderliche Geschwindigkeit niedriger.

Bei einem solchen Flug tritt nun der merkwürdige Zustand ein, den man Schwerelosigkeit nennt. Er besteht darin, daß alle Gegenstände und auch der menschliche Körper kein Gewicht mehr haben. Schwerelos sind Körper übrigens nicht nur – wie meist fälschlich angenommen wird – bei Flügen im Weltraum, sondern bei jedem freien, das heißt durch keinen Widerstand gebremsten Fall. Auch wenn wir vom Stuhl auf den Boden springen, sind wir für einen winzigen Moment schwerelos. Fallschirmspringer, die sich aus großer Höhe fallen lassen, ohne zunächst den Schirm zu öffnen, sind sogar längere Zeit schwerelos, nämlich so lange, bis sie den bremsenden Schirm öffnen.

Wir haben am Beispiel von Masse und Gewicht schon gesehen, daß man in der Physik auf feine Unterschiede achten muß.

Ein solcher Unterschied besteht auch zwischen Gravitation und Schwerkraft, obwohl diese beiden Wörter häufig sogar in Büchern so verwendet werden, als wären sie völlig gleichbedeutend. Schwerkraft nennt man die Kraft, mit der ein Körper auf eine feste Unterlage drückt, die ihn daran hindert, sich im freien Fall in Richtung auf das Zentrum der Gravitationskraft, beispielsweise zum Erdmittelpunkt, zu bewegen. Gravitation ist dagegen die Kraft, mit der sich alle Massen gegenseitig anziehen. Die Schwerkraft fällt beim Erdsatelliten auf der Umlaufbahn weg, weil der Satellit durch keine feste Unterlage daran gehindert wird, in Richtung Erde zu fallen. Auch alle Menschen und Gegenstände an Bord fallen ständig mit in Richtung Erde und sind daher schwerelos. Aber der Gravitationskraft sind sie nicht entzogen. Gerade dadurch fallen sie ja dauernd in Richtung Erde.

Warum schwimmt Holz auf dem Wasser?

Es war im 3. Jahrhundert vor unserer Zeitrechnung. König Hieron von Syrakus – ein Stadtstaat des Altertums auf der Mittelmeerinsel Sizilien – hatte einem Kunstschnied Gold mit dem Auftrag übergeben, daraus eine Krone für den Tempel herzustellen. Als die Krone fertig war, kamen dem König Zweifel, ob der Kunstschnied alles Gold verwendet oder einen Teil gegen unedles Metall ausgetauscht hatte. Der Physiker und Matematiker Archimedes bekam den Auftrag, das nachzuprüfen. Zunächst wußte er selbst nicht, wie er das anstellen sollte. Daß die Krone ebensoviel wog wie das Gold, das der Kunstschnied erhalten hatte, bewies noch nichts.

Eine Überlieferung berichtet, daß Archimedes die Lösung des Problems gefunden habe, als er im Bade lag. Er soll so begeistert über seine Idee gewesen sein, daß er mit dem Ruf „Heureka!“ (das bedeutet soviel wie: „Ich hab's!“) aus dem Bade gesprungen und splitternackt in den Königspalast gelaußen sei. Was hatte er ausgeknobelt?



Bestand die Krone völlig aus echtem Gold, dann mußte sie genausoviel Raum beanspruchen wie ein Klumpen Gold von gleicher Masse. Doch das Problem bestand darin, den Rauminhalt, das Volumen, eines so verschnörkelten Gegenstands zu messen. Von Würfeln, Quadern, Pyramiden, Kugeln, Zylindern und anderen regelmäßig geformten Körpern ist das Volumen nach bekannten Formeln leicht zu errechnen. Aber schon die Berechnung des Rauminhalts eines Apfels oder einer Birne wäre sehr schwierig, weil die Früchte nicht genau kugelförmig sind.

Archimedes' Einfall bestand darin, daß jeder Körper ein Volumen Wasser verdrängen muß, das genauso groß ist wie sein eigenes. Legen wir zum Beispiel einen Würfel von $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ Kantenlänge = $1\,000\text{ cm}^3$ Rauminhalt in ein mit Wasser gefülltes Gefäß, so verdrängt er genau $1\,000\text{ cm}^3$ Wasser. Wäre das Gefäß vorher bis zum Rand gefüllt, so müßten $1\,000\text{ cm}^3$ Wasser überlaufen. Das Volumen des überlaufenden Wassers ist genau zu messen, wenn man ein seitliches Überlaufrohr anordnet und das Gefäß vor dem Eintauchen des Würfels gerade bis zur Höhe des Rohrs füllt. Das verdrängte Wasser läuft durch das Rohr in ein zweites Gefäß, das mit einer Skale versehen ist. An ihr ist abzulesen, wieviel Kubikzentimeter Wasser überlaufen, das heißt verdrängt worden sind.

Eine solche Vorrichtung fertigte sich Archimedes an und versenkte einmal die Krone und zum andern einen Klumpen Gold, der die gleiche Masse wie die Krone hatte. Wäre die verdrängte Wassermenge in beiden Fällen gleich, dann müßten Krone und Goldklumpen den gleichen Rauminhalt haben. Aus der Gleichheit des Volumens schloß Archimedes auf die Gleichheit des Stoffes, aus dem die beiden Körper bestehen. Die Probe ergab, daß das verdrängte Wasservolumen nicht gleich war. Das bewies, daß der Kunstschnied tatsächlich etwas Gold für sich abgezweigt hatte. Warum kann man das daraus schließen?

Mit Hilfe eines Überlaufgefäßes kann man den Rauminhalt kompliziert geformter Körper feststellen

Ein Kubikzentimeter eines bestimmten Stoffes hat stets auch eine ganz bestimmte Masse. Zum Beispiel hat 1 cm^3 Wasser (bei 4°C und normalem Luftdruck) eine Masse von genau 1 g, 1 cm^3 Eisen eine von 7,8 g, 1 cm^3 Gold eine von 19,4 g, 1 cm^3 Eichenholz eine von 0,7 g und 1 cm^3 Kork eine Masse von nur 0,24 g. Man kann das auch umkehren und sagen: Eine bestimmte Masse eines Stoffes hat stets ein bestimmtes, diesen Stoff kennzeichnendes Volumen. Wenn dieses kennzeichnend für den Stoff ist, dann beweist die Ungleichheit des von der Krone und dem Goldklumpen verdrängten Wasservolumens auch die Ungleichheit der Stoffe, aus denen beide bestanden.

Man nennt diese kennzeichnende Größe eines Stoffes seine *Dichte*. Sie errechnet sich nach der Formel

$$\text{Dichte} = \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}}$$

Es gibt noch eine andere Größe, die fast genauso heißt: die *Wichte*. Der Unterschied zwischen Dichte und Wichte entspricht dem zwischen Masse und Gewicht, den wir bereits kennen.

$$\text{Wichte} = \frac{\text{Gewicht}}{\text{Volumen}}$$

Das Gewicht wäre, da es eine Kraft ist, wieder in der Einheit Newton auszudrücken. Die Wichte aller Stoffe, die leichter als Wasser sind, ist kleiner als die des Wassers. Materialien und Gegenstände, die schwerer als ein gleich großes Volumen Wasser sind, haben dagegen auch eine größere Wichte.

Die Wichte gibt uns noch eine andere Auskunft. Aus ihr kann man vorhersagen, ob ein Körper im Wasser schwimmt oder untergeht. Alle Stoffe, deren Wichte geringer als die von Wasser ist, schwimmen. Alle Stoffe, deren Wichte größer ist, gehen unter. Besteht ein Körper aus einem Stoff von gleicher Wichte wie die des Wassers, dann schwebt er darin. Da Holz eine geringere Wichte als Wasser hat, schwimmt es, während Eisen wegen seiner viel größeren Wichte untergeht.

Die Wichte kann man aber nicht nur auf einen Stoff wie Holz oder Eisen, sondern auch auf einen Körper beziehen, der aus verschiedenen Materialien zusammengesetzt ist. An der Formel für die Errechnung der Wichte ändert sich dadurch nichts. Sie lautet ebenfalls:

$$\text{Wichte} = \frac{\text{Gewicht}}{\text{Volumen}}$$

Betrachten wir als Beispiel einen Ball. Er besteht aus einer Gummi- oder Plasthülle. Der hohle Innenraum ist mit Luft gefüllt. Sie ist sehr leicht und geht in die Rechnung mit ein. Dadurch ergibt sich für den Ball insgesamt eine sehr niedrige Wichte. Sie ist noch viel geringer als die von Holz. Darum taucht der Ball weniger tief ins Wasser als eine gleich große Kugel aus Holz. Jeder schwimmende Körper taucht nämlich gerade so tief ein, daß er eine Wassermenge verdrängt, die genauso viel wiegt wie er selbst.

Daß sogar Schiffe aus Eisen im Wasser schwimmen, beruht darauf, daß sie – wie ein Ball – viel Hohlraum umschließen. Zwar hat das Metall, aus dem sie gebaut sind, eine wesentlich größere Wichte als Wasser. Rechnet man aber die vielen hohen luftgefüllten Räume mit ein und dividiert das Gesamtgewicht durch das vom Schiff umschlossene Volumen, so ergibt sich eine wesentlich geringere Wichte. Sie erhöht sich, wenn ein großer Teil der Hohlräume des Schiffes ausgefüllt wird, so der Laderaum mit Fracht. Ein voll beladenes Schiff taucht daher tiefer ins Wasser und hebt sich nach dem Entladen wieder.

Inhalt

Lichtquellen – vom Weltraum bis in die Tiefsee	5
Ein Experiment mit dem Wecker	10
Wie entsteht das Licht im Fernseher?	11
Warum leuchten die Glühwürmchen?	14
Was ist Licht?	14
Warum wir Farben sehen	19
Wie entsteht das Spiegelbild?	22
Wie ist ein Spiegel gebaut?	24
Warum ist der Himmel blau?	30
Wie entstehen das Morgen- und das Abendrot?	33
Geschwindigkeitsrekord: 300 000 km/s	35
Wie funktioniert das Brennglas?	38
Warum erscheint ein Bach flacher, als er ist?	43
Wie entsteht das Bild im Fotoapparat?	45
Warum sieht man die Dinge im Feldstecher größer?	47
Wie werden Bilder an die Wand entworfen?	50
Warum vergrößert ein Mikroskop tausendfach?	51
Warum brauchen manche Menschen eine Brille?	53
Wie entsteht der Regenbogen?	57
Was sind Röntgenstrahlen?	60
Wie entsteht eine Röntgenaufnahme?	63
Warum fallen alle Dinge nach unten?	66
Warum fliegt ein Raumschiff ohne Antrieb um die Erde?	76
Warum schwimmt Holz auf dem Wasser?	83



Wie entsteht der Regenbogen? Warum ist die Wolke weiß und der Himmel blau? Wie kommt es, daß uns ein Mikroskop Winziges deutlich zeigt? Weshalb kann man mit Hilfe von Röntgenstrahlen ins Innere des Körpers blicken? Warum fallen alle Dinge nach unten, und warum ist man auf dem Mond leichter als auf der Erde? Wie entsteht Schwerelosigkeit, und warum fliegen Satelliten ohne Antrieb um die Erde? Warum schwimmt Holz auf Wasser? Wie entsteht das Fernsehbild? – Auf diese und andere Fragen gibt das Buch Antwort.

