



BAND 17

Licht und Farbe





In dieser Reihe sind bisher erschienen:

- | | |
|--|-----------------------------------|
| Band 1 Unsere Erde | Band 38 Prähistorische Säugetiere |
| Band 2 Der Mensch | Band 39 Magnetismus |
| Band 3 Atomenergie | Band 40 Vögel |
| Band 4 Chemie | Band 41 Fische |
| Band 5 Entdecker | Band 42 Indianer |
| Band 6 Die Sterne | Band 43 Schmetterlinge |
| Band 7 Das Wetter | Band 44 Das Alte Testament |
| Band 8 Das Mikroskop | Band 45 Mineralien und Gesteine |
| Band 9 Der Urmensch | Band 46 Mechanik |
| Band 10 Fliegerei | Band 47 Elektronik |
| Band 11 Hunde | Band 48 Luft und Wasser |
| Band 12 Mathematik | Band 49 Leichtathletik |
| Band 13 Wilde Tiere | Band 50 Unser Körper |
| Band 14 Versunkene Städte | Band 51 Muscheln und
Schnecken |
| Band 15 Dinosaurier | Band 52 Briefmarken |
| Band 16 Planeten und Raumfahrt | Band 53 Das Auto |
| Band 17 Licht und Farbe | Band 54 Die Eisenbahn |
| Band 18 Der Wilde Westen | Band 55 Das Alte Rom |
| Band 19 Bienen und Ameisen | Band 56 Ausgestorbene Tiere |
| Band 20 Reptilien und Amphibien | Band 57 Vulkane |
| Band 21 Der Mond | Band 58 Die Wikinger |
| Band 22 Die Zeit | Band 59 Katzen |
| Band 23 Von der Höhle bis zum
Wolkenkratzer | Band 60 Die Kreuzzüge |
| Band 24 Elektrizität | Band 61 Pyramiden |
| Band 25 Vom Eirbaum
zum Atomschiff | Band 62 Die Germanen |
| Band 26 Wilde Blumen | Band 63 Foto, Film, Fernsehen |
| Band 27 Pferde | Band 64 Die Alten Griechen |
| Band 28 Die Welt des Schalls | Band 65 Die Eiszeit |
| Band 29 Berühmte Wissenschaftler | Band 66 Berühmte Ärzte |
| Band 30 Insekten | Band 67 Die Völkerwanderung |
| Band 31 Bäume | Band 68 Natur |
| Band 32 Meereskunde | Band 69 Fossilien |
| Band 33 Pilze, Farne und Moose | Band 70 Das Alte Ägypten |
| Band 34 Wüsten | Band 71 Seeräuber |
| Band 35 Erfindungen | Band 72 Heimtiere |
| Band 36 Polargebiete | Band 73 Spinnen |
| Band 37 Computer und Roboter | Band 74 Naturkatastrophen |
| | Band 75 Fahnen und Flaggen |

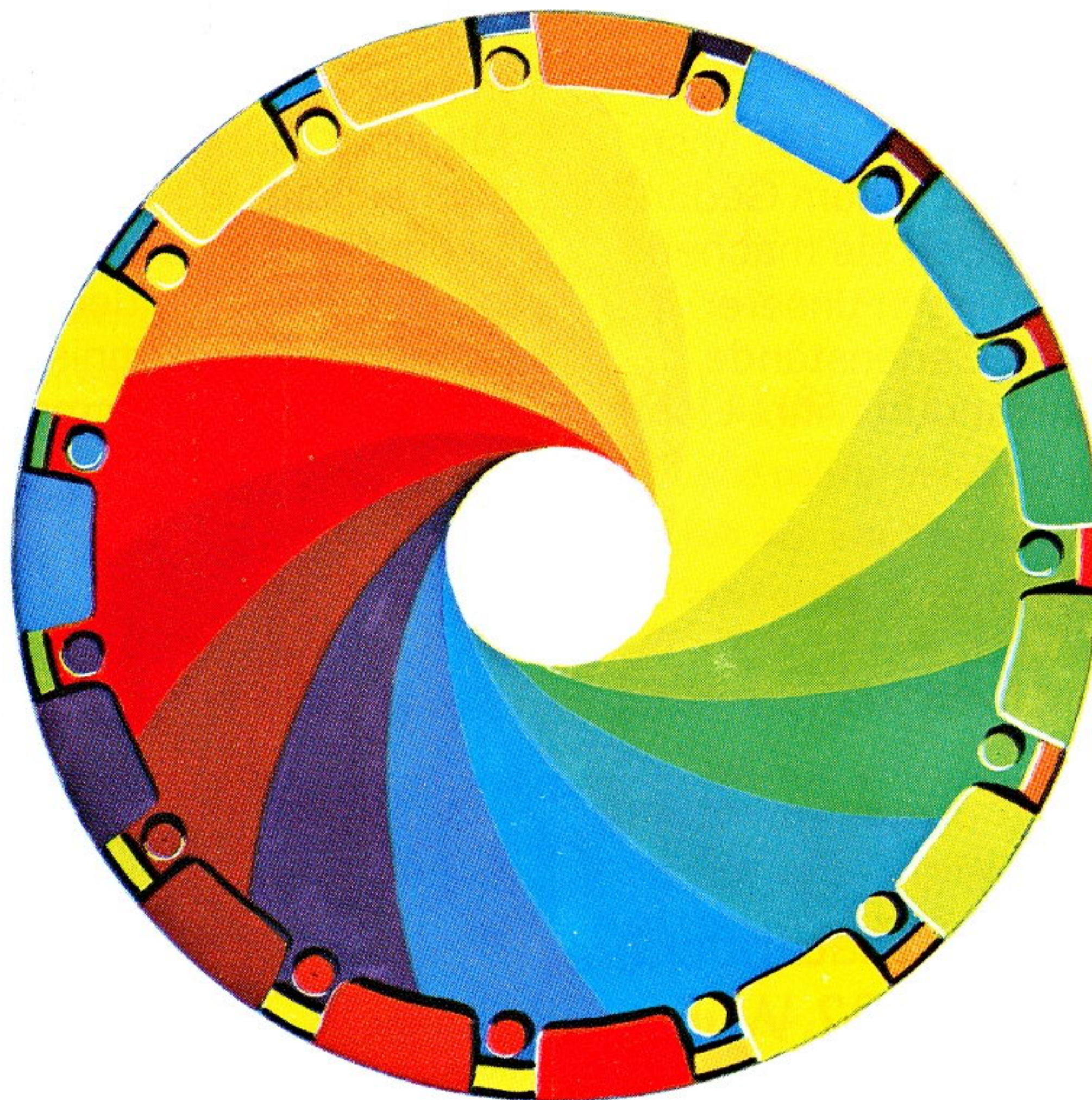
TESSLOFF VERLAG · HAMBURG

Ein **WAS
IS
WAS** Buch

Licht und Farbe

von Joseph Highland

Illustrationen von Ingrid Krüger
Fachliche Beratung durch Otto F. Horns



Tessloff Verlag · Hamburg

Vorwort

Wer einen Regenbogen am Himmel betrachtet, staunt über die herrliche Farbenpracht. Wie ein geheimnisvolles Wunder erscheint er dem Betrachter, der von der Natur des Lichtes nichts weiß. Das WAS IST WAS-Buch „Licht und Farbe“ vermittelt das Wissen, um diese Naturerscheinung und viele andere zu verstehen. Es behandelt die physikalischen Gesetze, mit denen sich Licht und Farbe erklären lassen.

Wir drücken auf den Schalter, und schon erhellte eine Lampe das Zimmer. Das ist für uns selbstverständlich, aber wer kann sagen, was Licht ist? Woher kommt es und wohin geht es? Besteht es aus Energieteilchen? Ist es eine Wellenbewegung? Beobachtungen und Versuche haben es den Wissenschaftlern ermöglicht, alle diese Fragen zu beantworten.

Licht und Farbe sind so sehr Teil unseres Lebens, daß man sich kaum Gedanken über sie macht. Doch sie machen uns erst die Orientierung in unserer Umwelt möglich. Alle Gegenstände dieser Welt werden nur durch ihre Licht-

streuung sichtbar. Ihre Farbe hängt davon ab, welche Strahlen „verschluckt“ und welche zurückgeworfen werden.

Bei der Erforschung des Lichtes haben berühmte Wissenschaftler entdeckt, daß Licht aus elektromagnetischen Strahlen bestimmter Wellenlänge besteht. Sie haben herausgefunden, daß es noch andere Wellenlängen gibt, die wir mit den Augen nicht wahrnehmen können. Wärmestrahlen, Röntgenstrahlen, Radiowellen und kosmische Strahlen haben eines gemeinsam: sie breiten sich wellenförmig aus.

Der Mensch hat gelernt, den geradlinigen Weg der Lichtstrahlen zu beeinflussen. Er entdeckte die Wirkung von Linsen und baute Mikroskope, die die Welt des Kleinsten erschließen, und Teleskope, mit denen wir heute ins Weltall „blicken“. Mit einer Reihe von interessanten Versuchen kann der Leser durch eigenes Experimentieren selbst die Entdeckungen machen, mit denen die Wissenschaft den Geheimnissen des Lichtes auf die Spur gekommen ist.

Copyright © 1985 Neufassung bei Tessloff Verlag, Hamburg

Copyright © 1964 bei Grosset & Dunlap, New York

Die Verbreitung dieses Buches oder von Teilen daraus durch Film, Funk oder Fernsehen, der Nachdruck und die fotomechanische Wiedergabe sind nur mit Genehmigung des Tessloff Verlages gestattet.

ISBN 3-7886-02-57-0

Inhalt

Die Natur des Lichts

Was ist Licht	4
Wie breitet sich Licht aus?	6
Warum gibt es Schatten?	6
<i>Wie erkennt man, daß sich das Licht geradlinig ausbreitet?</i>	7
Welche Stoffe zerstreuen das Licht?	7
<i>Versuche mit Schatten</i>	8
Warum sind Schatten verschieden groß?	8
Warum sehen Lichter in der Ferne dunkler aus?	9

Reflexion und Brechung?

Warum kann man Körper sehen?	10
Wie wird Licht reflektiert?	10
Kann ein Lichtstrahl seine Richtung ändern?	10
<i>Wie entschlüsselt man „geheime“ Botschaften?</i>	11
Was ist diffuse Reflexion?	11
<i>Wie mißt man Reflexionswinkel?</i>	12
Wann wird Licht gebrochen?	13
Was geschieht in feuchtwarmer Luft?	13
<i>Wie baut man sich ein Periskop?</i>	14
Wann sieht eine trockene Straße feucht aus?	15
<i>Warum sieht der Mond am Horizont besonders groß aus?</i>	16

Zauberei mit Licht

Wie kann man Dinge unsichtbar machen?	17
Warum scheinen sich Räder manchmal rückwärts zu drehen?	18
Wie erzeugt man mehrfache Bilder?	19
<i>Wie baut man sich ein Kaleidoskop?</i>	20

Optische Linsen

Was ist eine Linse?	21
Wie sind Linsen geformt?	21
Wie geht das Licht durch ein Prisma?	21
Auf welchem Wege geht das Licht durch Linsen?	22

Wie erzeugt eine Linse ein Bild?	23
Wozu werden Linsen verwendet?	24
<i>Wie baut man sich eine Lochkamera?</i>	25
Das Auge und die Kamera	26
<i>Wie baut man sich ein einfaches Fernrohr?</i>	27
Warum tragen manche Leute eine Brille?	29
Was ist der blinde Fleck?	30
Was ist ein Nachbild?	31
Trügen unsere Augen uns?	32

Licht und Farbe

Was ist „weißes“ Licht?	33
Wie stellte sich Newton die Natur des Lichts vor?	34
<i>Wie erzeugt man einen Regenbogen?</i>	34
Wie lang sind Lichtwellen?	36
Wie kommt es, daß ein Körper farbig ist?	37
Können Körper mehr als eine Farbe reflektieren?	38
Warum ist der Himmel blau?	39
<i>Wie baut man eine Farbscheibe?</i>	40

Polarisiertes Licht

Was sind polarisierte Lichtwellen?	40
Wie läßt sich eine Welle polarisieren?	41
Wie wirkt eine gute Sonnenbrille?	42

Die Lichtgeschwindigkeit

Wie maß man anfangs die Lichtgeschwindigkeit?	43
Wie groß ist die Lichtgeschwindigkeit?	44
Wie lang ist ein Lichtjahr?	44

Andere Strahlen

Was ist das „elektromagnetische Spektrum“?	45
Was ist das sichtbare Spektrum?	45
Welche Strahlen können wir nicht sehen?	45
Wie kann man ohne Licht fotografieren?	46
Was ist Fluoreszenz?	47
Was sind Röntgenstrahlen?	48



Lichtquellen im Laufe der Zeiten

Die Natur des Lichtes

Was ist Licht?

In alten Büchern wird das Licht noch als das Gegenteil von Dunkelheit bezeichnet. Heute sagen die Physiker, Licht sei eine Form der Energie – eine sogenannte Strahlungsenergie. Sie breitet sich wellenförmig aus wie die Wellen auf der Oberfläche eines Sees, wenn man einen Stein hineinwirft. Die Lichtstrahlen oder Lichtwellen, wie man sie auch nennt, breiten sich durch den leeren oder mit durchsichtiger Materie erfüllten Raum nach allen Seiten geradlinig aus.

Die Lichtstrahlen, die auf die Netzhaut im Inneren des Auges treffen, sprechen einen unserer fünf Sinne an – das Sehvermögen. Das Licht ermöglicht uns das Sehen. Lichtstrahlen gehen von allem aus, was wir sehen können, darunter auch von uns selbst. Wir sehen dieses Buch, wenn die von ihm ausgehenden

Strahlen unsere Augen treffen. Schließen wir die Lider, können die Lichtstrahlen unsere Netzhaut nicht erreichen, und es ist uns nicht möglich, diese Seite zu betrachten.

Auf diese Weise kann man erkennen: Wenn das Licht von einem Gegenstand nicht in unsere Augen gelangt, können wir ihn nicht sehen. Die Sonne, die Sterne und elektrische Glühlampen sind selbstleuchtend. Sie senden alle Licht aus, weil sie sehr heiß sind: rot- oder weißglühend. Die von ihnen ausgehenden Lichtstrahlen sind weißes Licht. Das meiste von uns empfangene Licht stammt von der größten Quelle des weißen Lichts – der Sonne. Bei einer anderen Lichtquelle entsteht das Licht in mit Edelgas gefüllten Glasröhren. Elektrische Entladungen bringen das Gas zum Leuchten. Es leuchtet in kräftigen Farben und wird deswegen für Lichtreklamen verwendet. Man nennt dieses Licht „kaltes Licht“, im Gegensatz zu den an-

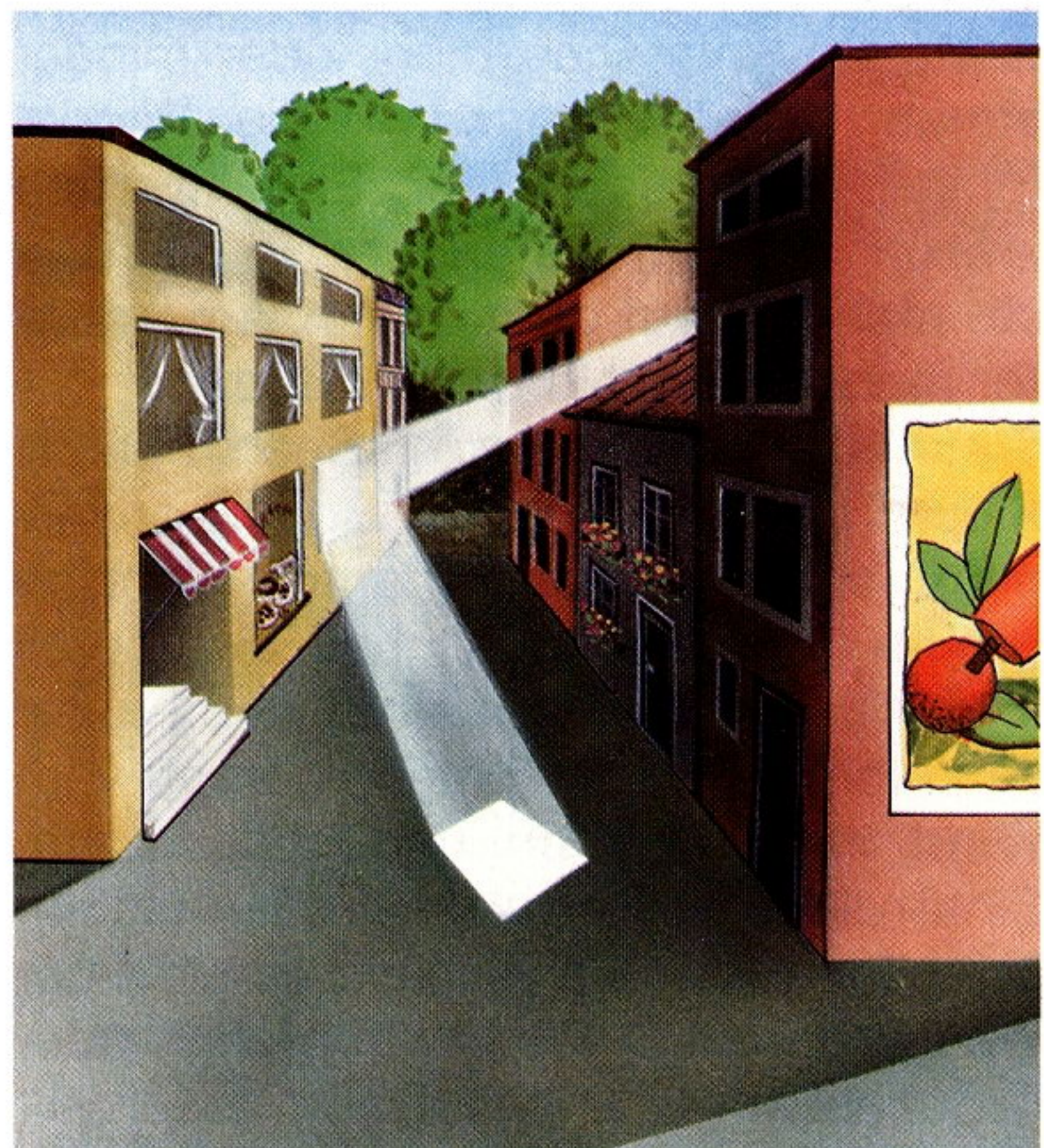


deren Lichtquellen, die immer mit Wärmeerzeugung verbunden sind.

Das Licht, das unmittelbar von einer Lichtquelle in unser Auge gelangt, z. B. von der Sonne, einer Glühlampe oder einer Leuchtstofflampe, ist *direktes* Licht. Wird Licht jedoch von einer Fläche wie ein Ball, der von einer Wand abprallt, zurückgeworfen (reflektiert), spricht man von *indirektem* oder reflektiertem Licht. Das Licht, das der Mond und die Planeten zur Erde senden, ist solches Licht. Der Mond und die Planeten leuchten nicht selbst; es ist das Licht der Sonne, das von ihrer Oberfläche zurückgeworfen wird, ehe es unsere Augen erreicht.

Das Licht, das wir direkt von der Sonne und den Sternen oder indirekt vom Mond und den Planeten empfangen, bringt uns auch Botschaften aus dem Weltall. Mit seiner Hilfe wissen wir nicht nur, daß es Himmelskörper gibt, sondern wir können zum Beispiel auch ihre

Entfernung von der Erde errechnen. Licht ist eine Form der Energie. Es kann in Körpern und Stoffen chemische Ver-



Das „direkte“ Licht der Sonne wird zu „indirektem“ Licht, wenn es von einem Fenster auf eine dunkle Straße reflektiert (zurückgeworfen) wird.

änderungen hervorrufen. So liefert das Sonnenlicht den grünen Pflanzen die Energie, mit der sie aus Wasser und Kohlendioxid Nährstoffe gewinnen. Ohne Licht würden Pflanzen nicht wachsen, und es gäbe keine Nahrung für Mensch und Tier. Alles Leben auf unserer Erde braucht die Pflanzen. Selbst Löwen, die keine Pflanzen fressen, ernähren sich von pflanzenfressenden Tieren. Eine andere chemische Veränderung durch Licht geht in jeder fotografischen Kamera vor sich. Das Licht, das auf die Beschichtung eines Films trifft, erzeugt dort ein Bild. Licht kann auch in einer elektrischen Fotozelle Elektronen freisetzen und Spannung erzeugen, mit der man dann einen Motor betreiben kann.

Ohne das Sonnenlicht würde es auf der Erde so kalt sein, daß kein Leben möglich wäre. Auch Wind und Regen gäbe es nicht. Winde entstehen durch die unregelmäßige Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonne. Wenn die Luft über dem Boden erwärmt wird, dehnt sie sich aus und steigt auf. Kalte, schwerere Luft strömt von der Seite nach. So entstehen mehr oder minder starke Luftströmungen – die Winde. Einige Gebiete unserer Erde werden stärker erwärmt als andere: In der Wüste mehr als auf dem Ozean, am Äquator mehr als am Nord- und Südpol.

Wenn die Sonnenstrahlen Seen, Flüsse, Meere und den nassen Boden erwärmen, entsteht Wasserdampf. Winzige Staub- und Schmutzteilchen, die überall in der Luft vorhanden sind, werden zusammen mit dem Wasserdampf vom Wind mitgenommen und steigen auf. Sinkt die Temperatur in großen Höhen ab, bilden sich die Wolken; es geht der Wasserdampf in Wassertröpfchen oder in Schneekristalle über. Das Wasser fällt dann als Regen oder Schnee auf die Erde zurück. Wenn die Wassertropfen gefrieren, hagelt es.

Bei einem Gewitter sieht man den Blitz eher, als man das Donnern hört, weil das Licht schneller ist als der Schall. Der Schall breitet sich mit einer Ge-

Wie breitet sich das Licht aus?

schwindigkeit von etwa 330 Metern in der Sekunde aus, das Licht dagegen mit einer Geschwindigkeit von rund 300 000 Kilometern in der Sekunde.

Bei dieser ungeheuren Geschwindigkeit braucht das Licht von der rund 150 Millionen Kilometer entfernten Sonne bis zur Erde nur etwas mehr als 8 Minuten. Wir können also bis zur Sonne sehen. Aber wie weit reicht unser Blick von einem hohen Gebäude oder Berg? Nun, in 42 Kilometer Entfernung von Köln ist der Dom nicht mehr zu sehen, ein 3000 Meter hohes Gebirge nicht mehr in 200 Kilometer Entfernung. Es spielt keine Rolle, welche Entfernung das Licht zurücklegt. Aber: Lichtstrahlen können ihre Richtung nicht ändern, sie breiten sich immer *geradlinig* aus. Da die Erde kugelförmig ist, können wir auf ihr nicht so weit sehen wie in das Weltall hinein.

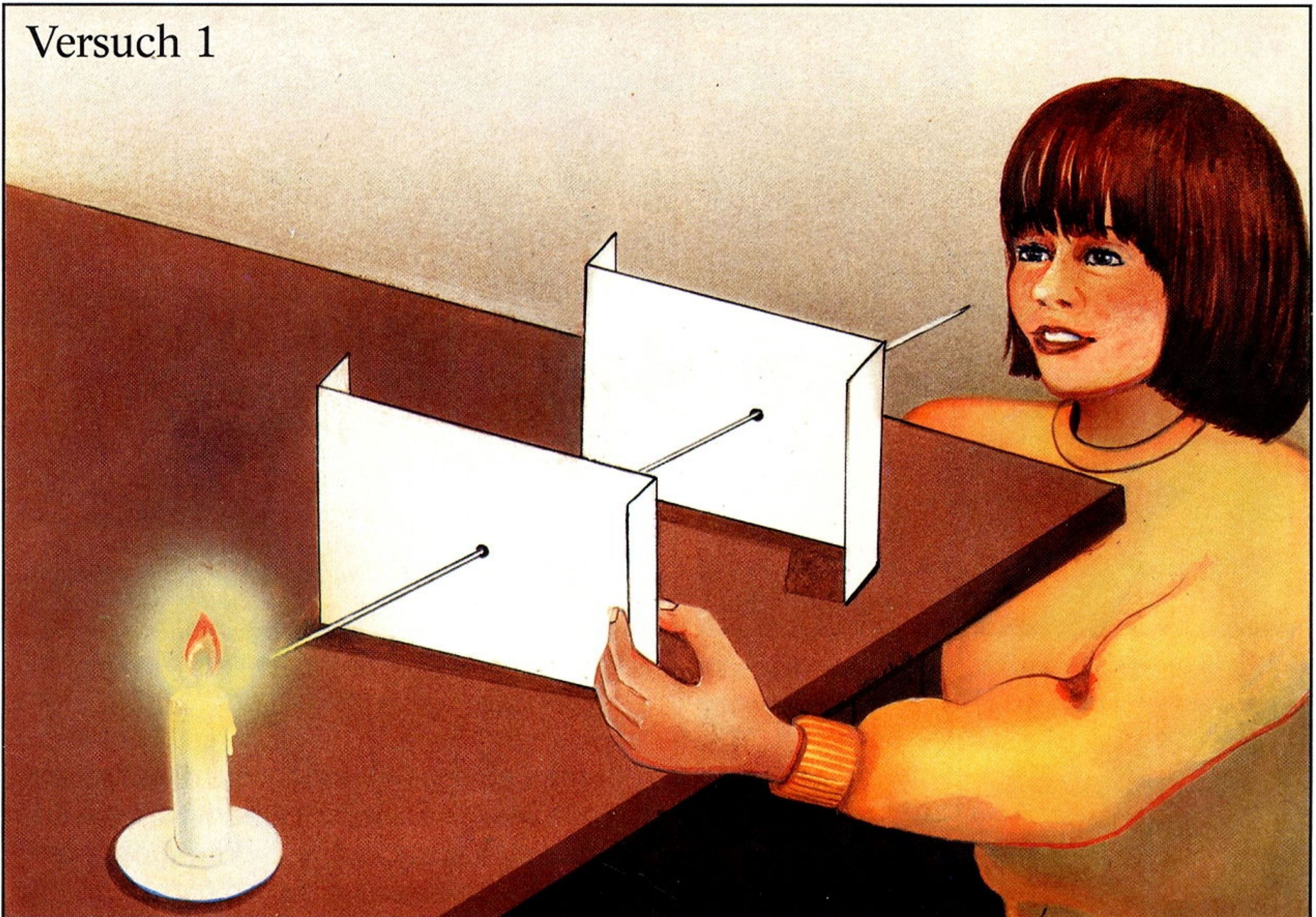
Jeder, der bei Sonnenschein die Straße überquert oder

Warum gibt es Schatten?

nachts im Schein einer Straßenlaterne steht, wirft einen Schatten. Wenn zum Beispiel zwei Männer bei Sonne eine zwei Meter breite Glasscheibe zwischen sich tragen, sieht man nur die beiden Schatten der Männer, die zwei Meter voneinander entfernt sind, aber keinen Schatten der Glasscheibe.

Das können wir uns leicht erklären: Wir wissen, daß das Licht sich geradlinig ausbreitet und daß Lichtstrahlen durch einige Körper hindurchgehen, durch andere dagegen nicht. Körper oder Stoffe, durch die das Licht geordnet hindurch-

Versuch 1



Wie erkennt man, daß sich das Licht geradlinig ausbreitet?

Zu diesem Versuch brauchst du zwei große Stücke Pappe, eine Stricknadel und eine Kerze. Knicke beide Pappstücke so, wie auf der Abbildung gezeigt, und bohre in die Mitte jedes Pappstücks ein Loch, durch das die Stricknadel paßt. Die Löcher müssen beide in gleicher Höhe wie die Kerzenflamme sein.

Zünde jetzt die Kerze an und stelle beide Pappstücke wie auf der Abbildung hin: das erste Pappstück 15 cm von der Kerze entfernt, das zweite noch einmal 15 cm

von der ersten. Stelle die Kerze so auf, daß du die Flamme siehst, wenn du durch die beiden kleinen Löcher blickst. Wenn du nun die Stricknadel durch beide Löcher schiebst, so daß sie genau die Flamme der Kerze trifft, zeigt sie dir den Weg des Lichts.

Wenn du nun das vordere Pappstück etwas verschiebst und wieder durch die Löcher blickst, kannst du die Flamme nicht sehen. Damit hast du erkannt, daß sich das Licht geradlinig ausbreitet.

geht, sind *durchsichtig*. Das farblose Glas der Fensterscheiben ist solch ein Stoff (Medium) und so sieht man auch keinen Schatten der Glasscheibe. Die bekanntesten durchsichtigen Stoffe neben Glas sind Luft und Wasser.

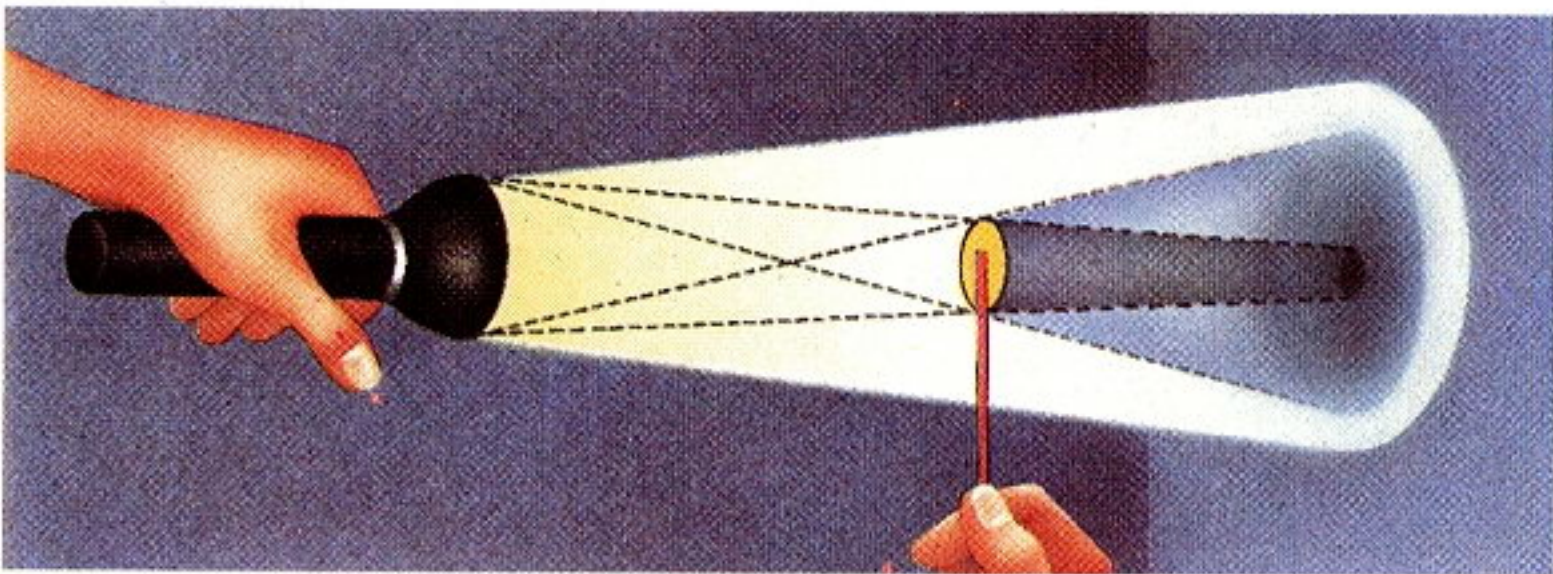
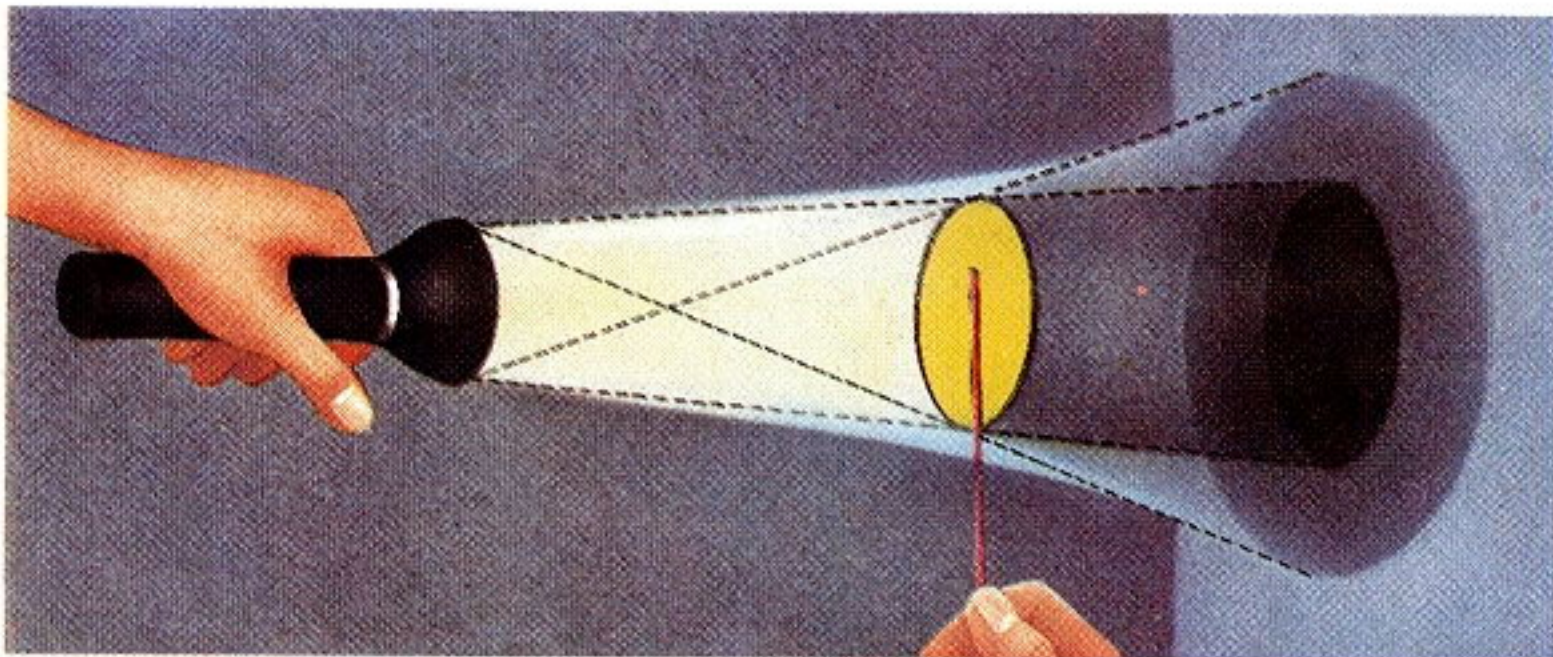
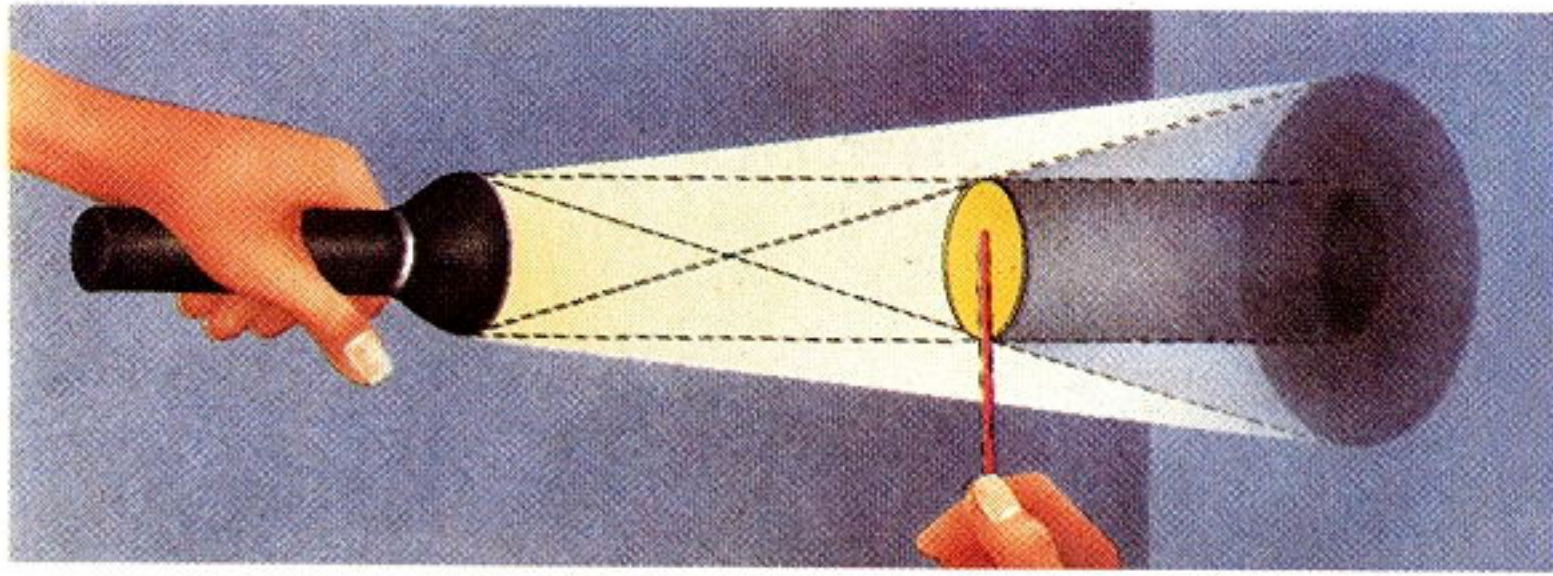
Es gibt aber auch Stoffe, die kein Licht durchlassen. Sie stoppen das Licht so, wie man einen Ball auffängt, der sonst weiterfliegen würde. Solche Stoffe sind *undurchsichtig*. Der menschliche Körper, Stahl, Gestein, Beton und auch Pappe sind undurchsichtig; sie lassen kein Licht durch und werfen Schatten.

Außer den durchsichtigen und undurch-

Welche Stoffe zerstreuen das Licht?

sichtigen Stoffen gibt es noch eine dritte Art. Diese Stoffe zerstreuen die Lichtstrahlen und lassen nur wenige durch. Man nennt sie *durchscheinend*. Mattglas, wie es für Glühlampen verwendet wird, ist solch ein Stoff. Leichte Gewebe und dünnes Papier sind andere Beispiele. Hält man ein Stück Pergamentpapier vor eine leuchtende Glühlampe, scheint das Licht hin-

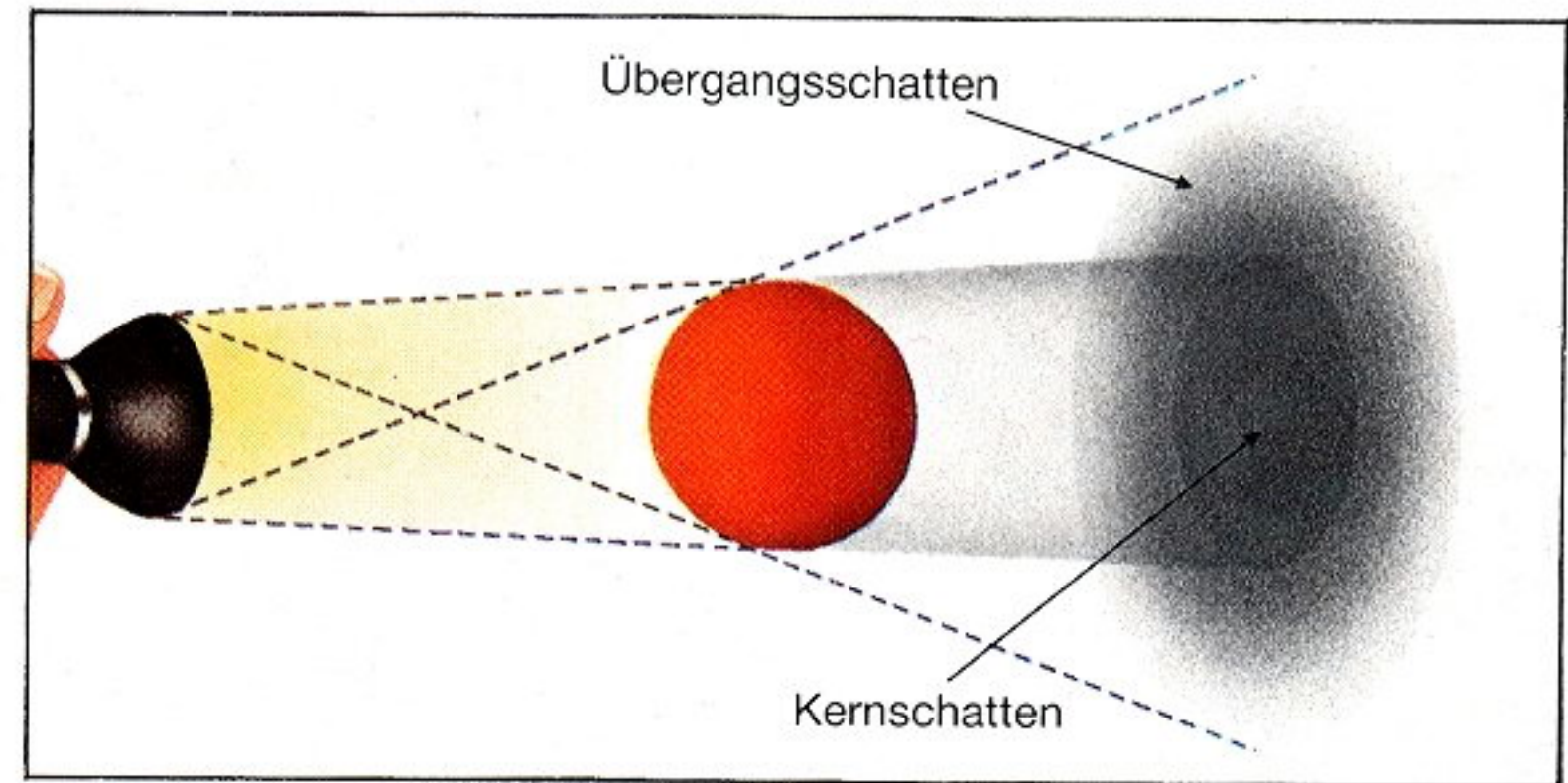
Versuch 2



Versuche mit Schatten

Schneide eine kreisförmige Pappscheibe aus, die etwas kleiner ist als das Glas einer Taschenlampe, und befestige sie an einem Stöckchen. Stelle dich in einem dunklen Zimmer etwa einen halben Meter von der Wand entfernt so auf, daß deine rechte Körperseite zur Wand zeigt. Halte die Taschenlampe in der linken Hand und laß ihr Licht auf die Wand fallen. Halte nun mit der rechten Hand die Pappscheibe etwa einen halben Meter vor die Taschenlampe. Der Kernschatten der Pappscheibe auf der Wand ist ungefähr so groß wie die Pappscheibe.

Nun schneide eine Scheibe aus, die etwa doppelt so groß wie die erste ist, und befestige sie ebenfalls an einem Stöckchen. Halte diese Scheibe auch etwa einen halben Meter vom Licht entfernt zwischen Taschenlampe und Wand. Du wirst bemerken, daß der Kernschatten bedeutend größer ist als die Scheibe. Wenn ein Gegenstand größer ist als die Lichtquelle, wird sein Kernschatten wesentlich größer als er selbst. Ähnlich wirft ein Gegenstand, der kleiner als die Lichtquelle ist, in der gleichen Entfernung vom Licht einen Kernschatten, der bedeutend kleiner ist. Und ein Gegenstand von gleicher Größe wirft in der gleichen Entfernung einen gleich großen Kernschatten.



Eine punktförmige Lichtquelle, deren Licht durch ein kleines Loch in einer Pappe geht, verursacht einen gleichmäßig dunklen, scharfbegrenzten Schatten, wenn ein undurchsichtiger Gegenstand dazwischentritt. Wenn dagegen die Lichtquelle größer ist – eine Glühlampe oder eine Kerze –, entstehen zwei verschiedene Schatten. Ein Schatten ist dunkel, der andere heller und unscharf. Der dunkle Schatten ist der Kernschatten. Den von innen nach außen heller werdenden Schatten nennt man Übergangsschatten. Er entsteht, weil von einer ausgedehnten Lichtquelle ein Teil des Lichts am Gegenstand vorbei in das Gebiet des Übergangsschattens fällt.

durch, aber wir können die Glühlampe nicht sehen. Das Pergamentpapier zerstreut das Licht in alle Richtungen. Man spricht von einem *diffusen Licht*.

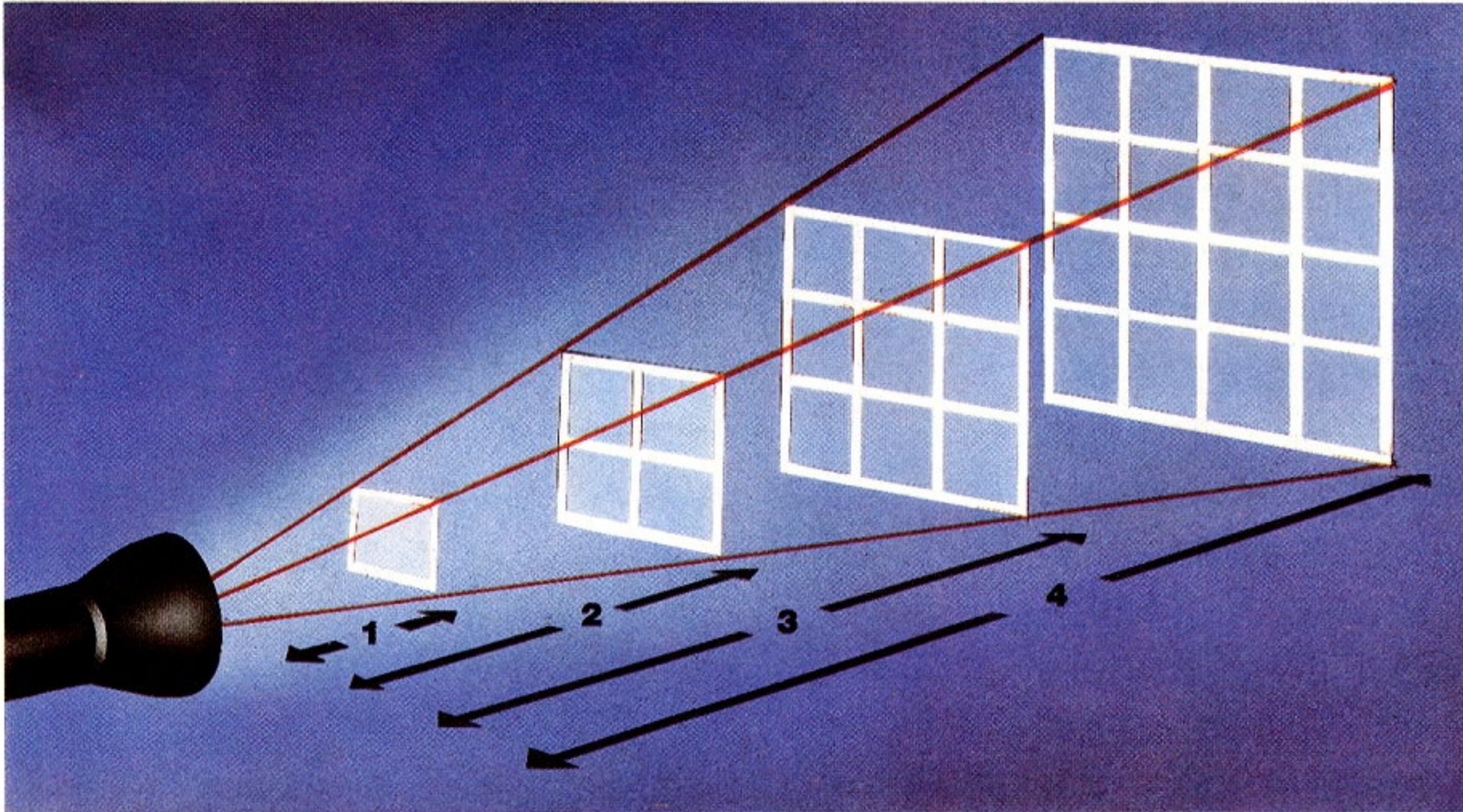
Fällt Licht auf einen undurchsichtigen

Warum sind Schatten verschieden groß?

Gegenstand, wirft er einen Schatten. Manchmal ist der Schatten groß, manchmal klein. In der Mittagssonne

wirft man einen kürzeren Schatten als am Spätnachmittag. Wie ist das zu erklären? Die Schattengröße hängt von der Entfernung der Lichtquelle ab, aber auch von der Richtung, aus der das Licht kommt. Die Art des Schattens, z. B. scharfe Grenzen oder nicht, wird außerdem von der Ausdehnung der Lichtquelle sowie der Größe des Gegenstands bestimmt.

Als es unsere modernen Uhren noch nicht gab, maßen die Menschen die Zeit mit der Sonnenuhr. Nach der Richtung des Schattens, den ein von der Sonne beschienener Stab wirft, konnten sie die ungefähre Tageszeit bestimmen.



Die Beleuchtungsstärke nimmt im Quadrat der Entfernung von der Lichtquelle ab.

Die früheste Form der Sonnenuhr war ein einfacher gerader Stock, dessen Schatten man in der Mittagszeit maß. Man nennt ihn Schattenweiser oder Gnomon. Schon um 1100 v. Chr. wird ein solcher Schattenweiser in einem chinesischen Schriftstück erwähnt. Die Griechen entwickelten den Gnomon weiter. Um 270 v. Chr. erfand Aristarchos von Samos eine in einer hohlen Halbkugel konstruierte Sonnenuhr, die die Zeit schon recht zuverlässig angab. Im Mittelalter zierten kunstvolle Sonnenuhren Kirchen und Rathäuser.



Der Schatten des Stabs bewegt sich auf der Skala der Sonnenuhr weiter, wenn die Sonne tagsüber über den Himmel wandert.

Je näher man ein Buch an eine leuchtende Lampe hält, um so heller erscheinen die Seiten, und die Buchstaben sind leicht zu erkennen. Et-

**Warum sehen
Lichter in der
Ferne dunkler
aus?**

was entfernter vom Lampenlicht sehen die Seiten dunkler aus. Die Helligkeit der Buchseite hängt von der Stärke der Beleuchtung ab. Unter Beleuchtung versteht man die Bestrahlung von Gegenständen, die nicht selbst leuchten, mit Licht; sie werden dadurch für das Auge sichtbar.

Für die Beziehung zwischen Entfernung und Beleuchtungsstärke gibt es eine Formel: Die Beleuchtungsstärke einer Fläche nimmt mit dem Quadrat der Entfernung von der Lichtquelle ab.

Ein Buch, das von einer Lichtquelle einen Meter entfernt ist, wird demnach viermal so stark beleuchtet wie ein Buch, das zwei Meter von der Lichtquelle entfernt ist. Vier Meter entfernt, beträgt die Beleuchtungsstärke nur noch $1/16$ von der Lichtmenge, die das Buch in einem Meter Entfernung erhält. Mit anderen Worten: Soll die Seite eines Buches in zwei Meter Entfernung von der Lichtquelle ebenso hell sein wie in einem Meter Entfernung, braucht man eine viermal so helle Lichtquelle.

Reflexion und Brechung

Die griechischen Philosophen glaubten

Warum kann man Körper sehen?

vor rund 3000 Jahren, Licht bestehe aus Strahlen, die vom Auge ausgehen und auf die Gegenstände

treffen und wieder ins Auge zurückkommen. Heute wissen wir, daß es anders ist: Die Körper senden Lichtstrahlen aus, die in unsere Augen gelangen. Wir haben bereits erfahren, daß das auf zweierlei Art geschehen kann.

Erstens: Wir empfangen das Licht direkt von einem Körper, der selbst eine Lichtquelle ist und wie die Sonne eigenes Licht erzeugt. Zweitens: Das Licht kommt indirekt, weil es von einem Körper zurückgeworfen wird, so wie diese Buchseite das Licht zurückwirft, so daß wir den Text lesen können. Körper, die selbst Licht erzeugen wie die Sonne oder eine elektrische Glühlampe sind selbstleuchtend, während diese Buchseite oder der Mond, die das Licht zurückwerfen, beleuchtete Körper sind. So ist jeder Körper sichtbar, der Licht in unsere Augen schickt.

Jeder von uns hat sein Bild schon oft

Wie wird Licht reflektiert?

in einem Spiegel, auf einer polierten Tischplatte oder in einer Fensterscheibe gesehen. Dieses Bild entsteht,

weil die Lichtstrahlen, die auf die Oberfläche des Spiegels, der Tischplatte oder der Fensterscheibe treffen, wie ein an die Wand geworfener Ball zurückkommen.

Das Spiegelbild ist symmetrisch zu dem Gegenstand. Es gibt ihn getreu wieder. In genau dem gleichen Abstand, in dem sich der Gegenstand vor dem Spiegel



Das Bild im Spiegel ist seitenverkehrt: links und rechts sind vertauscht.

befindet, scheint er sich hinter dem Spiegel zu wiederholen. Mit einer Ausnahme: Im Spiegelbild sind rechts und links vertauscht. Wenn man vor einem Spiegel steht und die rechte Hand hebt, scheint sich im gespiegelten Bild die linke Hand zu heben.

Der Versuch 1 auf Seite 7 hat uns gezeigt, daß sich das Licht geradlinig ausbreitet. Wollen wir Licht um die Ecke lenken, brauchen wir dazu einen Spiegel. Ein Spiegel *reflektiert* das Licht – reflektieren kommt aus dem Lateinischen und bedeutet zurückwerfen, zurückstrahlen. Wir können das täglich beobachten: Der Zahnarzt benutzt ei-

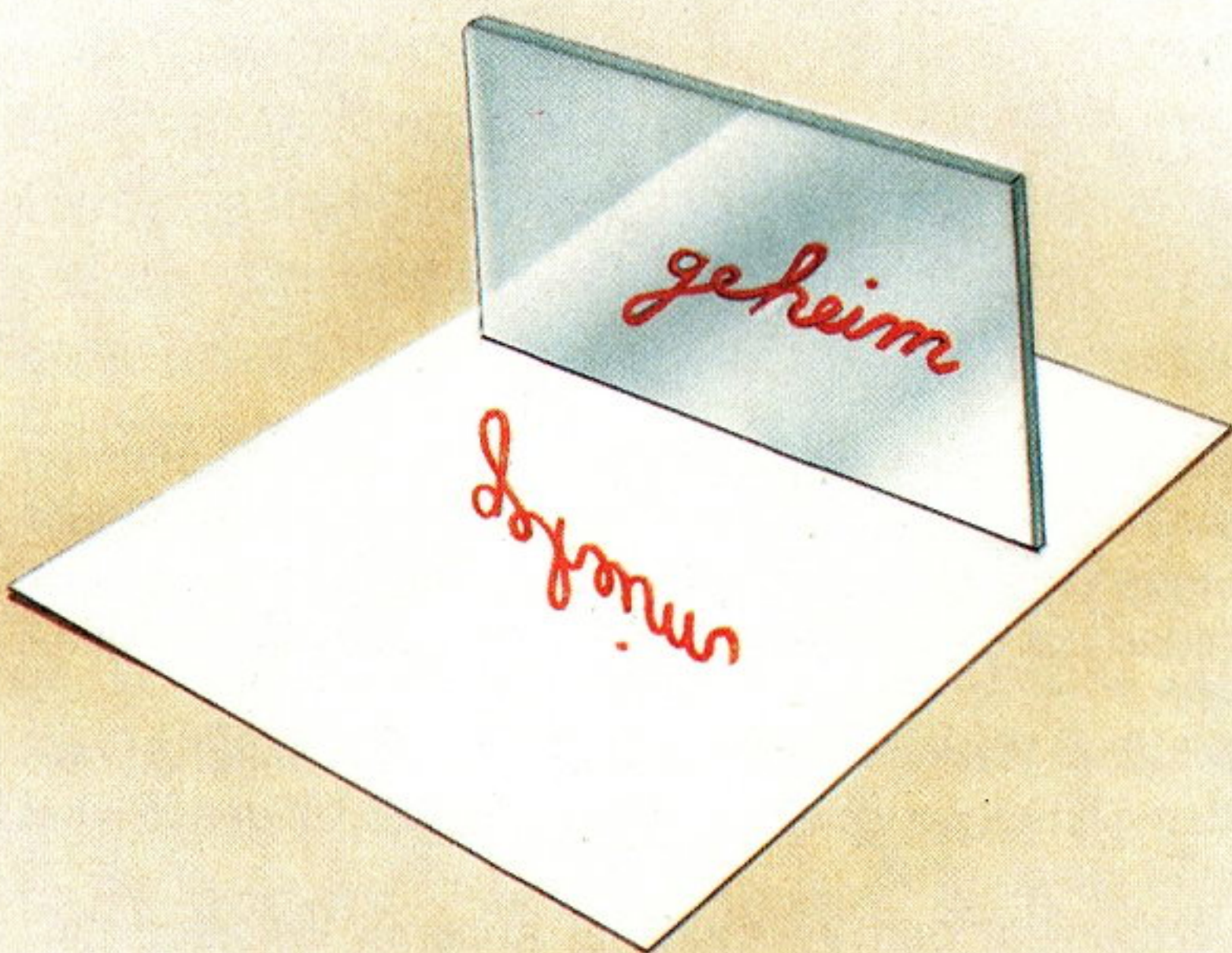
Kann ein Lichtstrahl seine Richtung ändern?

nen Spiegel. Ein Spiegel *reflektiert* das Licht – reflektieren kommt aus dem Lateinischen und bedeutet zurückwerfen, zurückstrahlen. Wir können das täglich beobachten: Der Zahnarzt benutzt ei-

nen Spiegel, um hinter die Zähne zu sehen. Der Rückspiegel im Auto zeigt die zurückliegende Straße.

Ein Periskop, das in Unterseebooten und auch in Raumkapseln verwendet wird, nutzt die *Reflexion* (Rückstrahlung) des Lichts aus. Das Licht ändert in diesem Gerät seinen geradlinigen Weg, weil es von einer Spiegelfläche zurückgeworfen wird.

Versuch 3

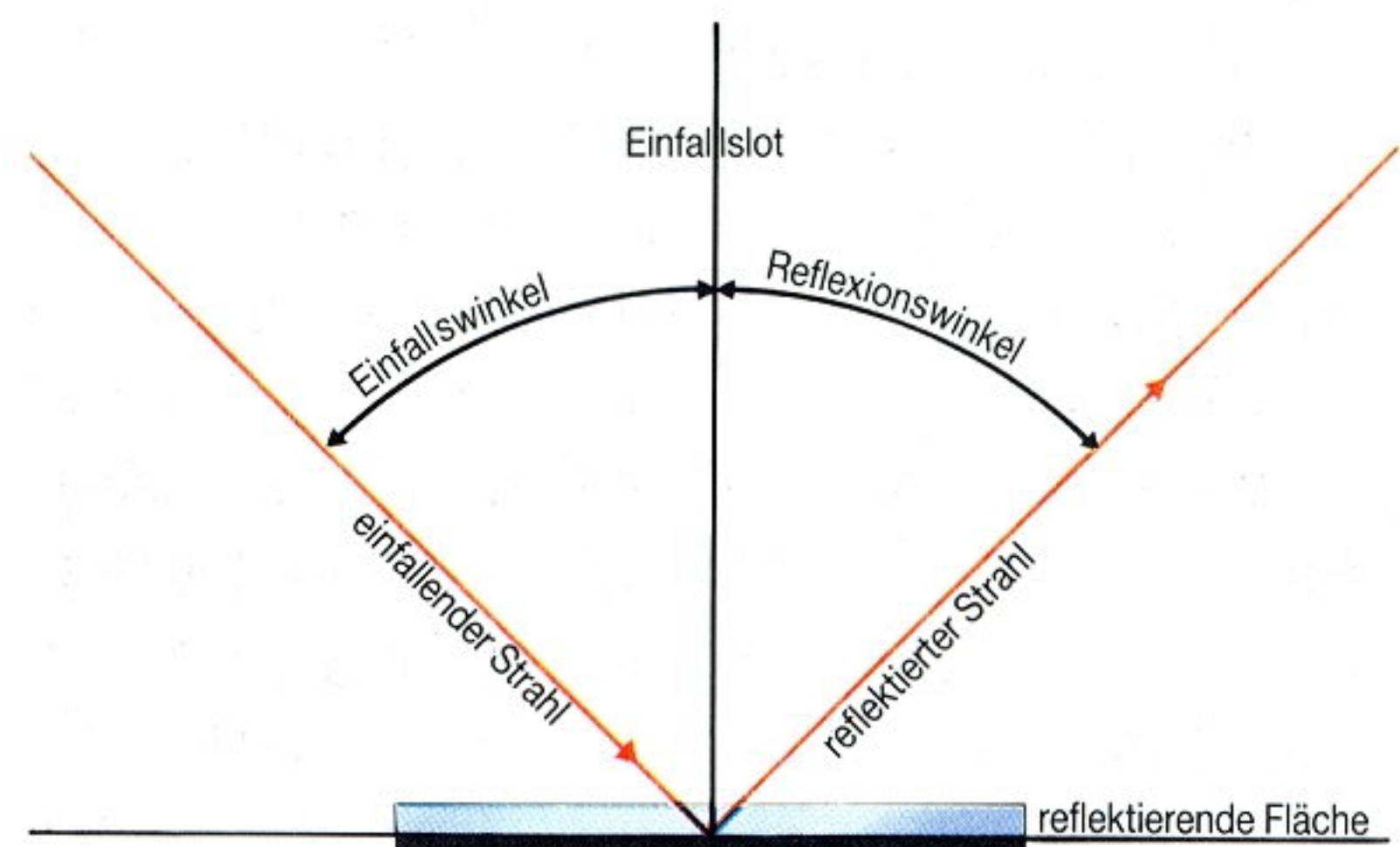


Wie entschlüsselt man „geheime“ Botschaften?

Wie wir bereits wissen, sind bei einem Spiegelbild links und rechts vertauscht. Mit Hilfe dieser Erscheinung kann man „geheime“ Botschaften entschlüsseln. Um die Botschaft in Geheimschrift zu übertragen, legt man ein Blatt Kohlepapier mit der beschichteten Seite nach oben auf den Tisch und darauf ein Blatt Papier. Mit einem spitzen Stäbchen schreibt man die Botschaft auf das Papier. Auf dessen Vorderseite ist nichts zu sehen, aber auf seiner Rückseite steht eine merkwürdige Schrift. Um sie zu lesen, braucht man sie nur vor einen Spiegel zu halten. Da der Spiegel das Bild umkehrt, kann man die Geheimbotschaft nun lesen, als ob sie normal geschrieben wäre.

Nach dem *Reflexionsgesetz* kann reflektiertes Licht in jede beliebige Richtung gelenkt werden: Ein Lichtstrahl, der unter einem Winkel auf eine Fläche trifft, wird wieder unter dem gleichen Winkel

zurückgeworfen. Den auf die Fläche fallenden Strahl nennt man den *einfallenden Strahl*. Der Winkel zwischen dem einfallenden Strahl und dem Lot auf die spiegelnde Fläche im Auftreffpunkt des Lichtstrahls ist der *Einfallswinkel*. Der Lichtstrahl, der von der Fläche zurückgeworfen wird, ist der *ausfallende* oder *reflektierte Strahl*, der Winkel zwischen diesem Strahl und dem Lot ist der *Ausfalls- oder Reflexionswinkel*. Der Versuch 4 („Wie mißt man Reflexionswinkel?“) zeigt, daß der Einfallswinkel genauso groß wie der Reflexionswinkel ist.



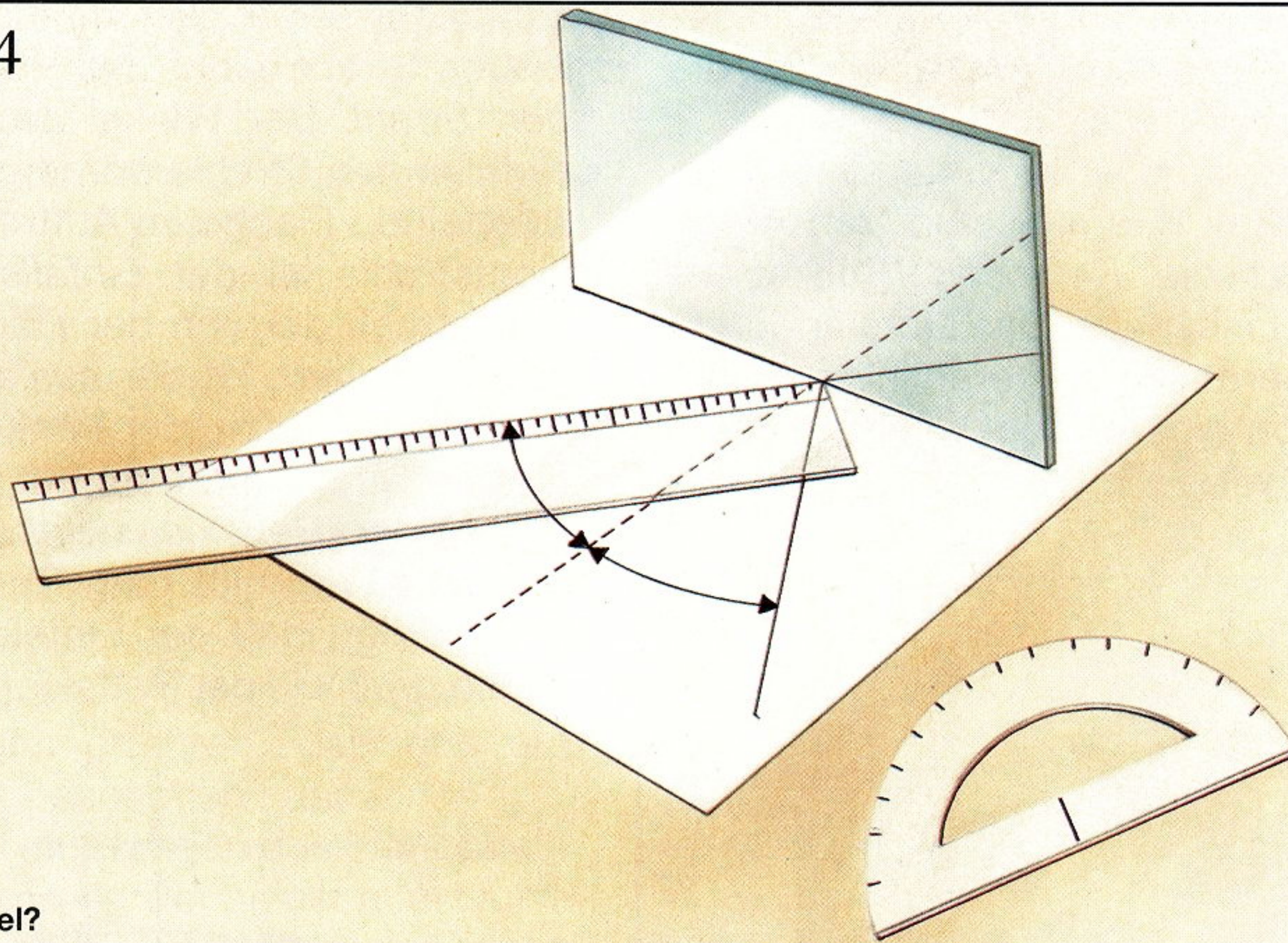
Der Einfallswinkel ist bei glatter Oberfläche genauso groß wie der Reflexionswinkel.

Das Reflexionsgesetz gilt unter allen Bedingungen, ob die Fläche nun glatt wie ein Spiegel oder rauh wie eine Ziegelsteinmauer ist. Richtet

Was ist diffuse Reflexion?

man in einem dunklen Zimmer den Strahl einer Taschenlampe unter einem beliebigen Winkel auf einen Spiegel und legt die Taschenlampe dabei auf den Tisch, so kann man im Raum umhergehen und erkennen, daß man nicht von jeder Stelle des Raumes im Spiegel das Bild der Lampe sehen kann. Das Licht der Lampe gelangt nur in unser Auge, wenn wir dort stehen, wohin nach dem Reflexionsgesetz das Licht reflektiert wird. Richtet man die Taschenlampe jedoch auf die raue Fläche der Wand, so kann

Versuch 4



Wie mißt man Reflexionswinkel?

Rollt ein Ball auf dem Fußboden genau senkrecht gegen eine Wand, so rollt er senkrecht zurück. Trifft er in einem spitzen Winkel auf die Wand, rollt er auch im spitzen Winkel zurück. So lautet das Reflexionsgesetz, das auch für das Licht gilt.

Zur Überprüfung dieses Gesetzes brauchst du einen Spiegel, einen Winkelmesser, einen Bleistift und ein Blatt Papier.

Als erstes ziehst du eine gestrichelte Linie auf dem Papier und dann eine durchgehende, welche die gestrichelte in einem spitzen Winkel schneidet. Nun stellst

du den Spiegel am Schnittpunkt der beiden Linien so auf, daß die gestrichelte Linie auf dem Papier und ihr Längerung des Spiegelbildes der durchgehenden Geraden auf das Papier und ziehe die Linie mit dem Bleistift.

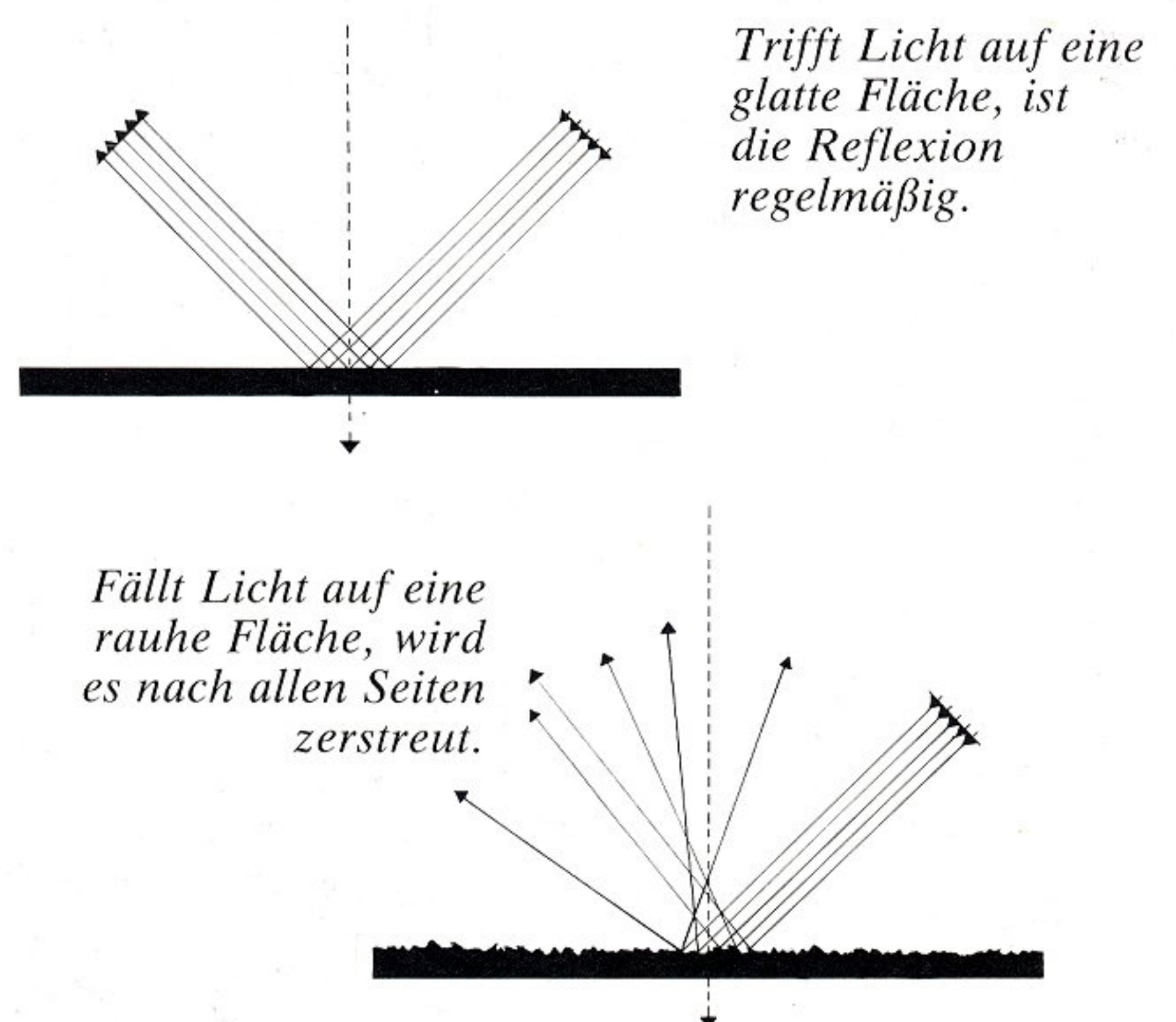
Mit dem Winkelmesser mißt du nun die Winkel an beiden Seiten der gestrichelten Linie. Die beiden Winkel sind gleich groß.

Wiederhole den Versuch mit anderen Winkeln: Einfallswinkel und Reflexionswinkel werden immer gleich groß sein.

man den Lichtfleck an der Wand von allen Stellen des Zimmers aus sehen. Die rauhe Fläche der Wand muß also das Licht in alle Richtungen reflektieren.

Das Licht der Taschenlampe wird von einer rauhen Fläche nicht wie von einer glatten Fläche reflektiert, weil es durch die unebene Fläche in alle Richtungen zerstreut wird. Könnten wir jedoch jeden kleinen Lichtstrahl einzeln verfolgen – den Strahl also in viele einzelne Lichtstrahlen zerlegen – würde sich herausstellen, daß für jeden einzelnen das Reflexionsgesetz gilt. Da sich die rauhe Oberfläche aus vielen kleinen unregelmäßigen Flächen – gewissermaßen aus vielen kleinen Spiegeln – zusammensetzt, die verschiedene Winkel miteinander bilden, wird jeder kleine Licht-

strahl in eine andere Richtung abgelenkt, das Licht also zerstreut. Wir sprechen dann von *diffuser Reflexion*.



Wie wir wissen, durchdringen Lichtstrahlen nicht nur den leeren Raum, sondern auch bestimmte Stoffe (Medien). Wir wissen auch, daß man Stoffe, die Licht geordnet durchlassen, durchsichtig nennt.

Wann wird Licht gebrochen?

Wenn Licht von einem dieser Stoffe in einen anderen übertritt, beobachtet man, daß es seine Richtung ändert. Man sagt, daß das Licht gebrochen wird. Das hängt damit zusammen, daß die Lichtgeschwindigkeit in den einzelnen Medien verschieden groß ist. Die größte Geschwindigkeit hat das Licht im leeren Raum. Im Glas z. B. hat das Licht eine kleinere Geschwindigkeit, sogar für jede Farbe eine andere.

Steckt man ein Lineal zur Hälfte in ein Glas mit Wasser, scheint es an der Stelle, wo es in Wasser taucht, geknickt zu sein. Wenn man nun den Winkel, unter dem das Lineal ins Wasser taucht, langsam ändert, bis es genau senkrecht steht, kann man beobachten, daß es dann nicht geknickt ist. Bewegt man das Lineal weiter, erscheint wieder ein Knick. Natürlich ist das Lineal in Wirklichkeit ganz gerade. Den scheinbaren Knick des Lineals an der Stelle, wo es ins Wasser taucht, nennt man *Refraction* oder Brechung. Sie findet statt zwischen Luft und Wasser, Wasser und Luft, Wasser und Glas, Glas und Wasser – immer dann, wenn Licht von einem durchsichtigen Stoff in einen anderen übergeht (und nicht senkrecht auf die Grenzfläche fällt).

Wenn wir einen Gegenstand sehen, vermuten wir ihn stets in der Richtung, aus der die Lichtstrahlen in unser Auge fallen. Der Gegenstand ist aber nicht an der Stelle, an der wir ihn sehen, wenn die von ihm ausgehenden Strahlen durch Brechung (oder durch Reflexion) ihre Richtung geändert haben. Man

kann das leicht nachvollziehen, wenn man eine Schüssel mit Wasser nimmt, eine Münze hineinwirft und mit einem Stab die Münze zu treffen versucht!



Betrachtet man einen Löffel oder ein Lineal in einem Glas Wasser, wird die Brechung des Lichts erkennbar. Beim Fischfang mit einem Speer muß die Brechung berücksichtigt werden, sonst verfehlt man sein Ziel.

Das Licht der Sonne kommt durch den vollkommen leeren Weltraum zu uns auf die Erde. Ganz in der Nähe der Erde muß es aber durch die Lufthülle hindurch, und Luft ist ein anderes Medium als der leere Raum. Die Lufthülle hört jedoch nicht plötzlich auf, sondern die Luft wird immer „dünner“, je weiter man sich von der Erde entfernt.

Was geschieht in feuchtwarmer Luft?

Der Lichtstrahl wird nicht wie an einer Grenzfläche gebrochen, sondern das Licht kommt auf einer gekrümmten Bahn durch die Lufthülle in unser Auge. Der Durchgang des Lichts durch die Lufthülle wird auch durch die Luftfeuchtigkeit und die Lufttemperatur beeinflusst. Man kann beobachten, wie die Luft über einer Heizung flimmert und Schlieren bildet. Die Ursache dafür ist,

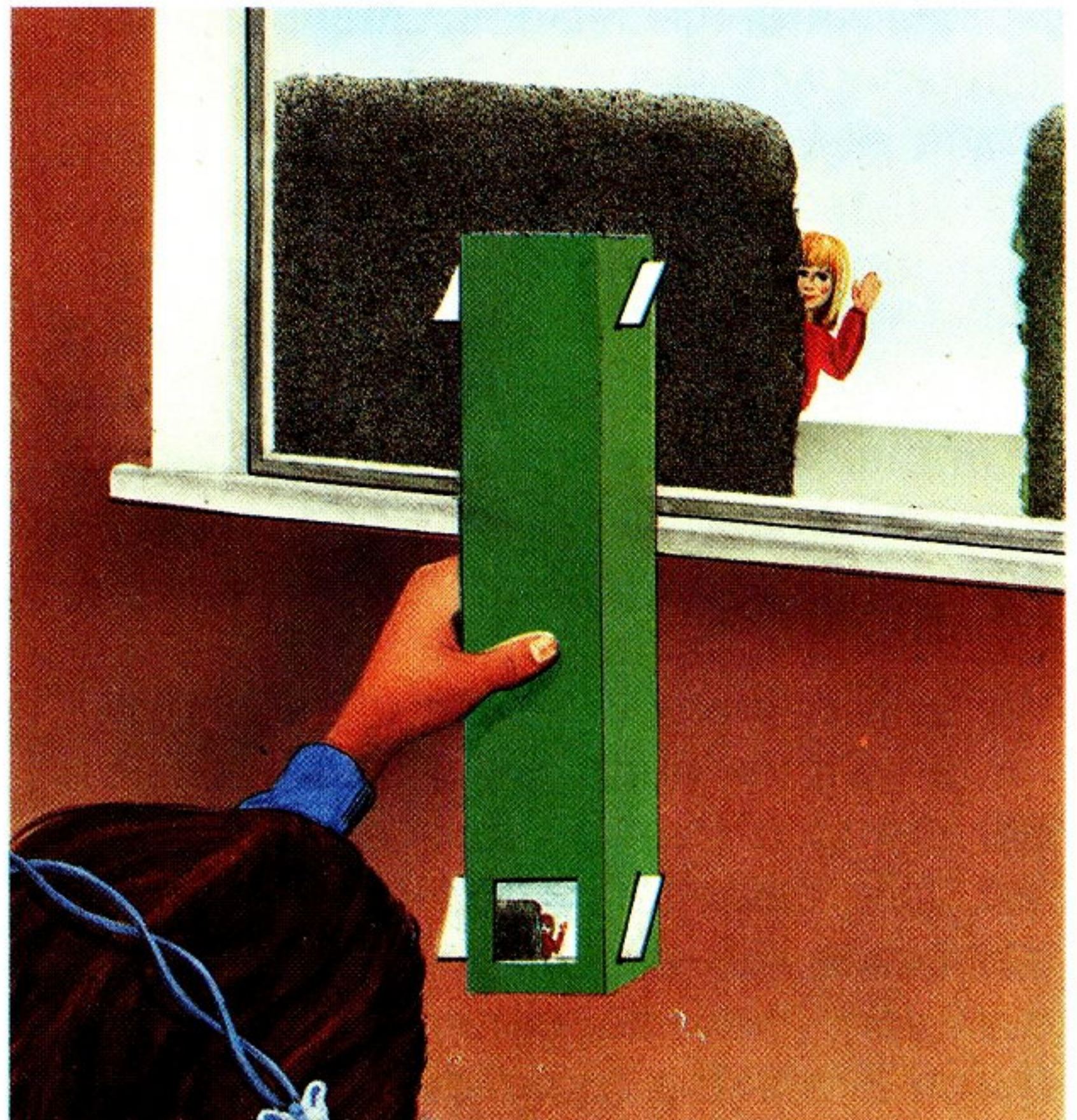
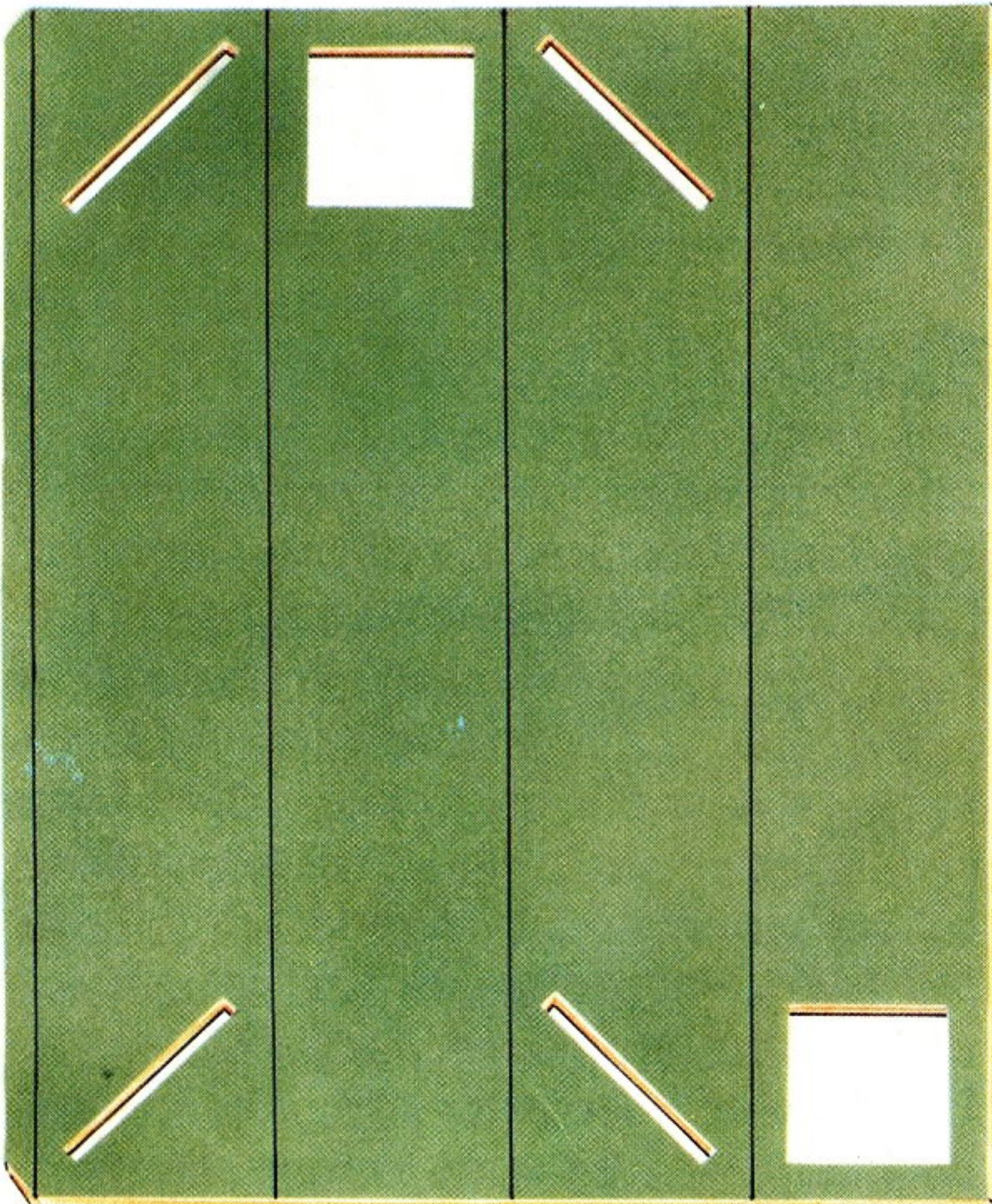
daß das Licht an den Grenzflächen von Luft verschiedener Temperaturen gebrochen wird.

Man kann die Brechung des Lichts durch die Lufthülle an einem sehr feuchten, warmen Tag bei Sonnenuntergang besonders gut beobachten. Die sich dem Horizont nähernde Sonnenscheibe scheint am unteren Teil abgeflacht zu sein. Sie ist kein vollkommener Kreis

Versuch 5

Wie baut man sich ein Periskop?

Man braucht ein etwa 20 x 30 cm großes Stück Pappe, zwei Spiegel, Klebstoff und ein Schneidmesser. Man teilt den Karton mit Bleistift und Lineal in vier Streifen und schneidet wie auf der Abbildung zwei Vierecke und vier Schlitz (etwa im Winkel von 45 Grad und so lang wie die Spiegel hoch oder breit sind) aus. Dann knickt man die Pappe dreimal entlang der Striche, so daß eine viereckige Säule entsteht, die man an der offenen Kante zuklebt. In die Schlitz schiebt man die Spiegel. Das Periskop ist fertig.



mehr: die Lichtstrahlen, die vom unteren Teil der Sonne kommen, werden durch die Feuchtigkeit der Luft stärker gebrochen und verursachen diese optische Täuschung.

Wer an einem klaren, heißen Tag auf

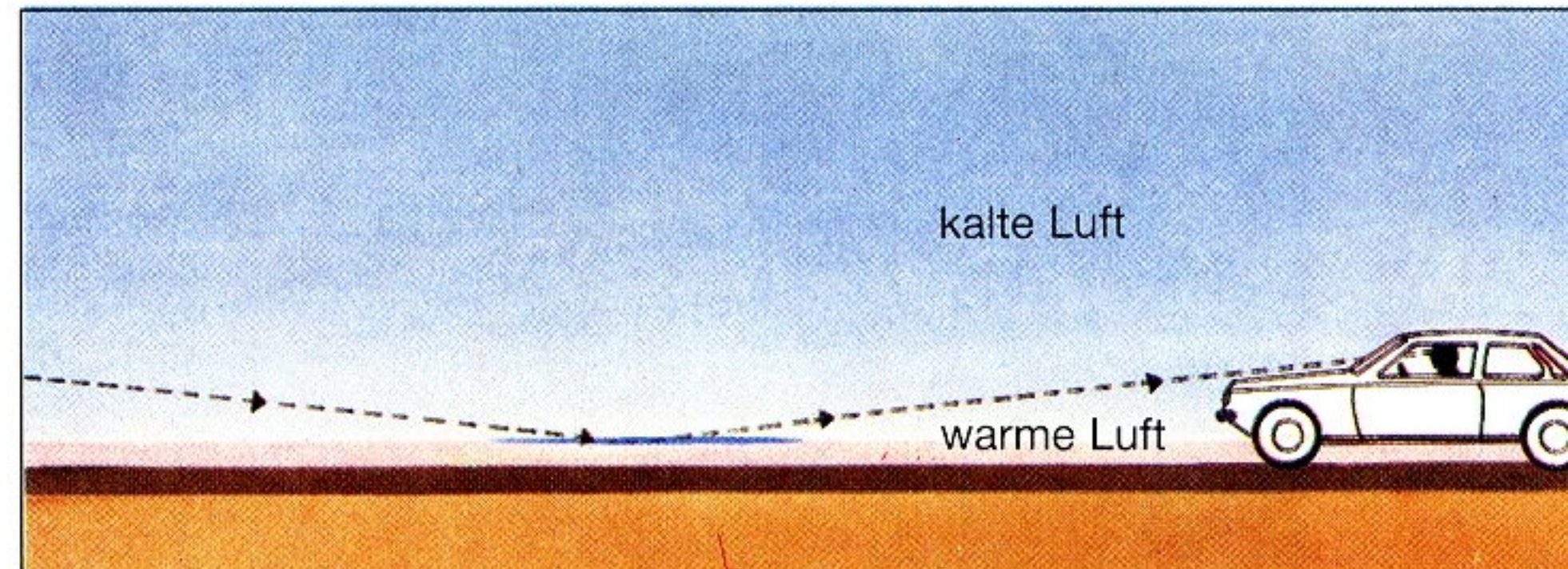
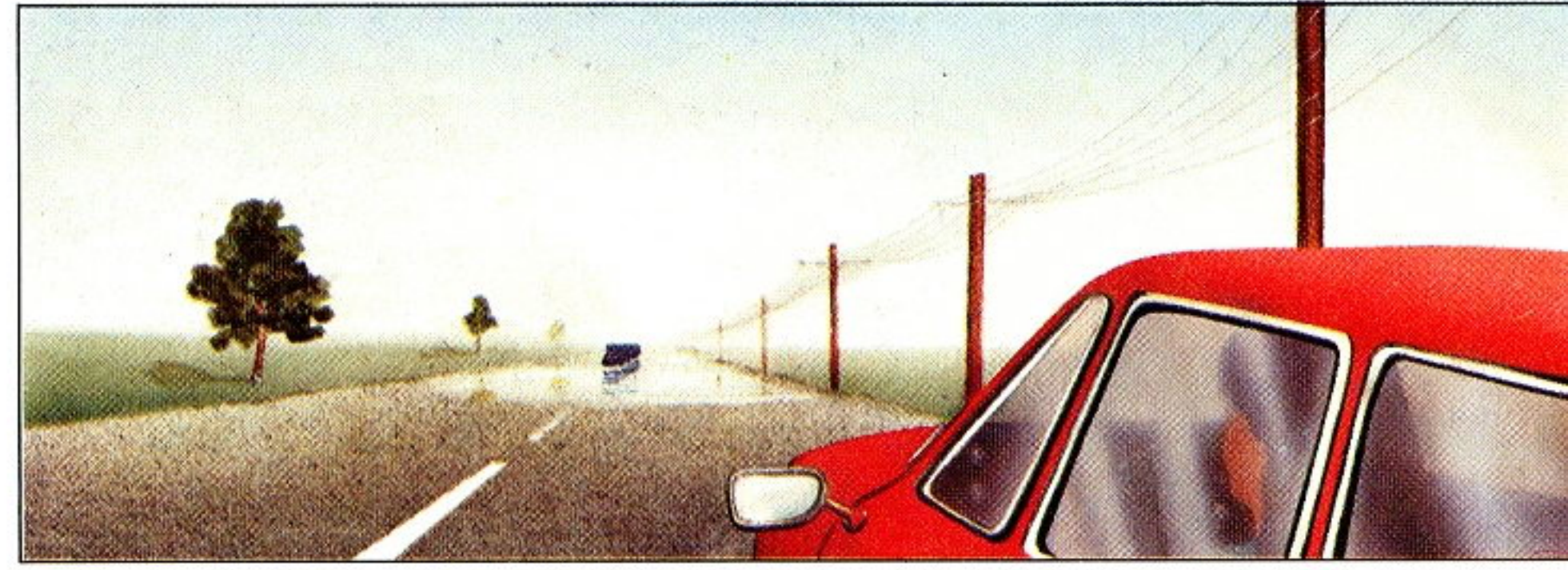
Wann sieht eine trockene Straße feucht aus?

einer Asphaltstraße fährt, bemerkt gelegentlich, daß es so aussieht, als ob in einiger Entfernung „Wasserpfützen“ auf der Straße stünden. Beim Näherkommen stellt sich jedoch heraus, daß die Straßenoberfläche, die feucht zu sein schien, in Wirklichkeit trocken ist. Aber weiter voraus tauchen abermals „Wasserpfützen“ auf und scheinen sich in der gleichen Richtung wie der Wagen zu bewegen. Tatsächlich sind überhaupt keine „Wasserpfützen“ auf der Straße. Sie sind eine Sinnestäuschung und in Wirklichkeit Luftspiegelungen, wie sie auch in der Wüste und auf großen Wasserflächen vorkommen.

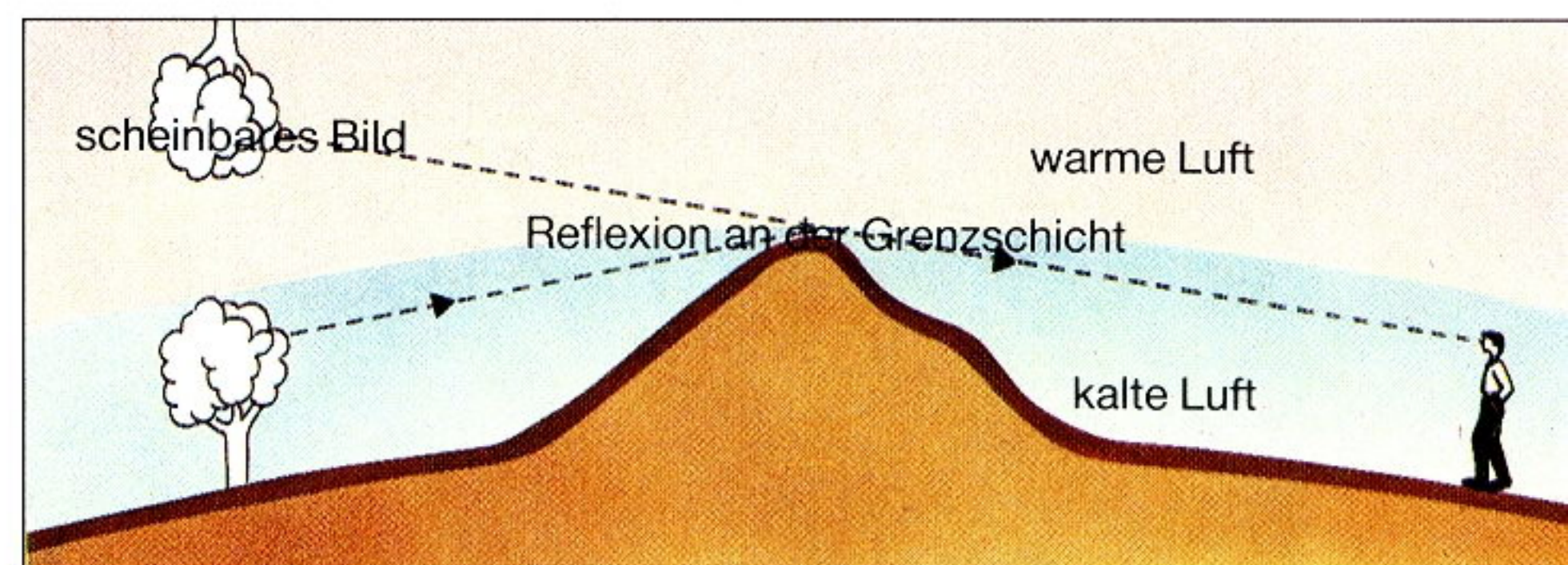
Zu diesen Luftspiegelungen kommt es unter bestimmten Bedingungen. Voraussetzung ist eine ziemlich ebene Fläche, die man weit überblicken kann – eine lange Straße vielleicht, eine große Wasserfläche oder ein sich weit erstreckender Strand.

Die wichtigste Vorbedingung ist jedoch eine heiße, mit Feuchtigkeit gesättigte Luftschicht an einem sonst ganz klaren Tag. Diese heiße, feuchte Luft unmittelbar über dem Boden oder dem Wasser wirkt wie eine Spiegelfläche. Auf diese Weise sehen wir das Blau des Himmels, das von der heißen Luftschicht über der Straße reflektiert wird. Die Spiegelung des Himmels läßt den Teil der Straße, auf dem wir fahren, anders als die übrigen Teile der Straße erscheinen – eben wie „Wasserpfützen“.

Manchmal liegt eine warme Luftschicht auch höher über der Erde. Sie kann sehr dünn sein, sich aber auch einige Kilometer nach oben erstrecken. Diese Schicht kann ebenfalls wie eine reflektierende Fläche wirken. Voraussetzung dafür ist, daß die Luft am Erdboden kühler ist als in größeren Höhen. Dann kann das Licht einer viele Kilometer weit entfernten Lichtquelle von dieser Schicht nach unten reflektiert werden und bewirken, daß ein Mensch auf der Erde in scheinbarer Nähe das sieht, was hinter einer Anhöhe oder hinter dem Horizont liegt. In Wüstengebieten nennt man diese Erscheinung „Fata Morgana“. Auch auf dem Wasser kann es Luftspiegelungen geben.



Die „Wasserpfützen“, die man manchmal an einem sonnigen Tag auf einer Straße vor sich sieht, verschwinden beim Näherkommen. Es sind Luftspiegelungen.



Eine Fata Morgana hat schon manchen Reisenden in der Wüste genarrt. Die Luft wirkt wie ein Spiegel und täuscht Bilder von Dingen vor, die weit entfernt oder hinter einem Hügel versteckt sind. Auch auf großen Wasserflächen kann es Luftspiegelungen geben.

dünn sein, sich aber auch einige Kilometer nach oben erstrecken. Diese Schicht kann ebenfalls wie eine reflektierende Fläche wirken. Voraussetzung dafür ist, daß die Luft am Erdboden kühler ist als in größeren Höhen. Dann kann das Licht einer viele Kilometer weit entfernten Lichtquelle von dieser Schicht nach unten reflektiert werden und bewirken, daß ein Mensch auf der Erde in scheinbarer Nähe das sieht, was hinter einer Anhöhe oder hinter dem Horizont liegt. In Wüstengebieten nennt man diese Erscheinung „Fata Morgana“. Auch auf dem Wasser kann es Luftspiegelungen geben.



Versuch 6

Warum sieht der Mond am Horizont besonders groß aus?

Wenn wir den Mond über den Horizont steigen sehen, kommt er uns häufig gewaltig groß vor. Zieht er dann am Himmel hoch, wird er immer kleiner.

Diese Täuschung ist am auffälligsten, wenn der Mond am Horizont dicht über der Erdoberfläche steht. Wir sehen ihn dann hinter hohen Bäumen oder Gebäuden und können Größenvergleiche anstellen. Unsere Augen sind unfähig, die wahre Entfernung des Mondes von den Bäumen oder Gebäuden zu berücksichtigen. Steigt der Mond dann höher, haben wir kein Objekt mehr, mit dem wir seine Größe vergleichen können.

Mit einer einfachen Methode kannst du beweisen, daß es sich um eine Täuschung handelt. Dazu mißt du den Mond einmal, wenn er gerade über dem Horizont erscheint, und ein zweites Mal, wenn er höher am Himmel steht. Du nimmst ein Stück durchsichtiges Papier, hältst es mit ausgestrecktem Arm zwischen Auge und Mond und zeichnest den Umriß des Mondes nach. Wenn der Mond später hoch am Himmel steht und du dann noch einmal das durchsichtige Papier hochhältst, paßt der Mond noch genau in den Kreis, den du bei seinem Aufgang gezeichnet hast.

Zauberei mit Licht

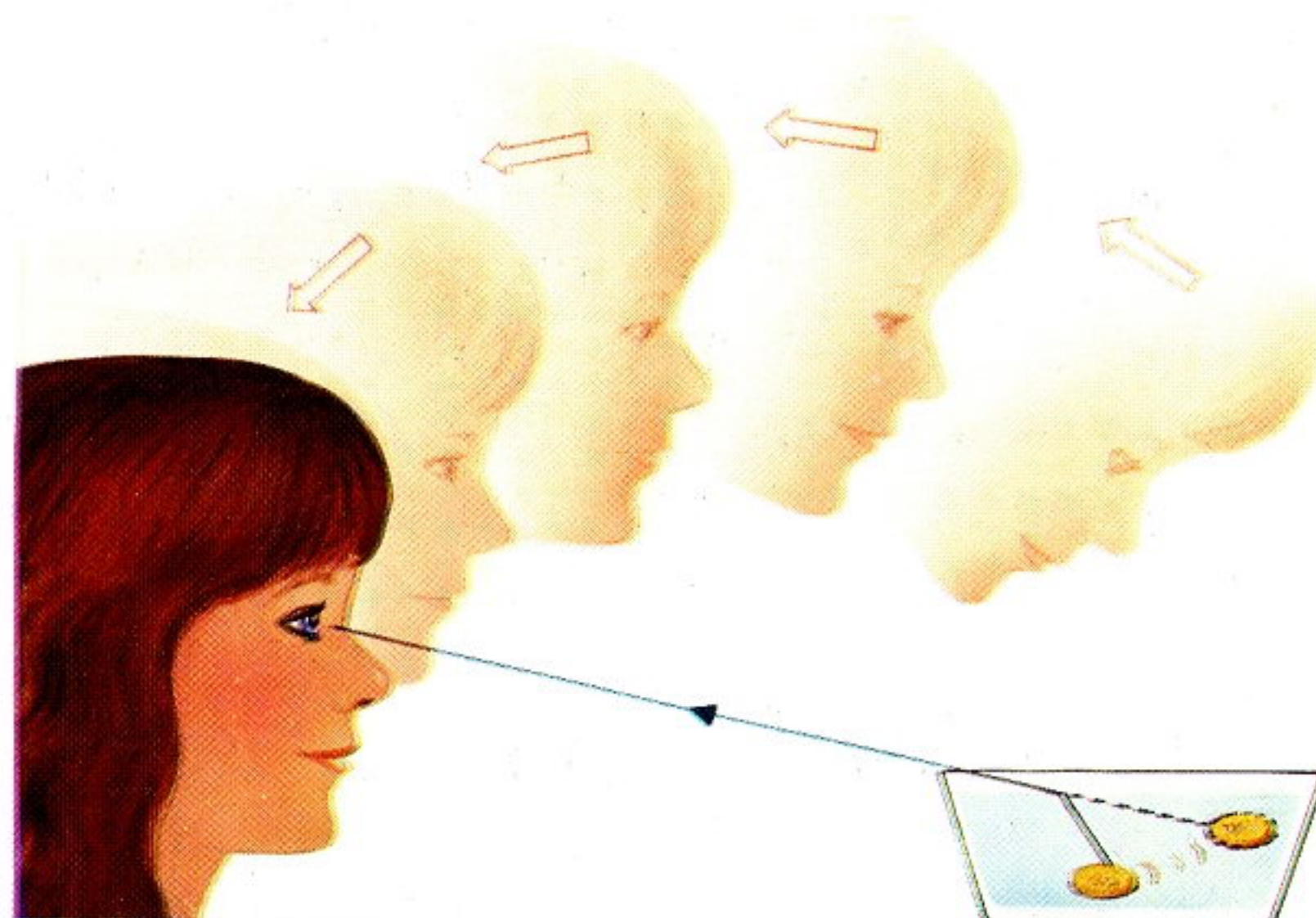
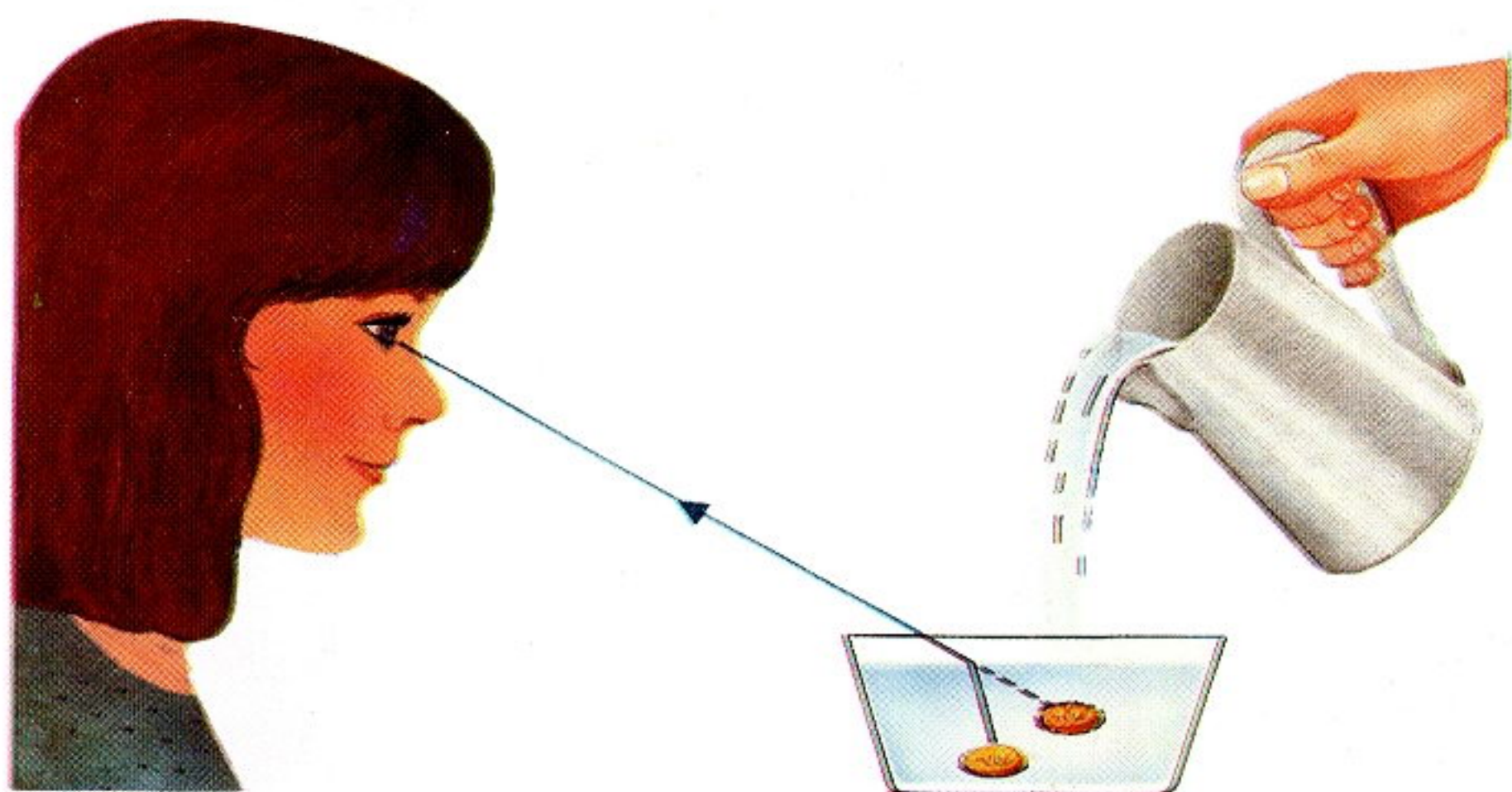
Wie kann man Dinge unsichtbar machen?

Schon seit jeher haben Zauberer ihre Zuschauer mit ihren Kunststücken in Staunen versetzt, bei denen sie Dinge oder Teile eines Menschen verschwinden lassen. Der bekannte Trick, den Kopf des Zauberlehrlings auf einem Tisch erscheinen zu lassen, während der übrige Körper „verschwindet“, wird durch eine optische Täuschung ermöglicht, die mit Hilfe der Reflexions- und Brechungsgesetze hervorgerufen wird.

Um dies zu verstehen, ist es zweckmäßig, sich noch einmal die grundlegenden Gedanken zur Brechung des Lichtes ins Gedächtnis zurückzurufen. Wir wissen, daß Lichtstrahlen, die von einem Medium kommen und spitzwinklig auf ein anderes treffen, gebrochen werden, wenn sie in dieses zweite Medium eindringen. Das heißt: Sie bewegen sich weiter geradlinig fort, werden jedoch in ihrer Richtung ein wenig abgelenkt. Wenn also Licht aus der Luft unter einem Winkel in Wasser eintritt, wird der Lichtstrahl gebrochen. In gleicher Weise ändert dieser Lichtstrahl seine Richtung, wenn er den Weg durch das Was-

ser beendet hat und wieder in die Luft eintritt, denn er wird stets gebrochen, wenn er von einem Medium in ein anderes eindringt.

Wenn wir uns dieses Wissen zunutze machen, können wir zaubern. Wir legen ein Geldstück in die Mitte einer großen, undurchsichtigen Schüssel und blicken so über den Rand der Schüssel, daß wir das Geldstück nicht sehen. Dann lassen wir von jemandem Wasser in die Schüssel gießen. Wie durch Zauberei ist plötzlich das bisher unsichtbare Geldstück zu sehen. Warum? Es ist durch die Brechung des Lichtes sichtbar geworden. Aber wir hatten uns vorgenommen, Dinge unsichtbar zu machen. Mit dem geschilderten Trick haben wir das Gegenteil erreicht: Wir haben etwas sichtbar gemacht, was unsichtbar war, indem wir dazu die Brechung der Lichtstrahlen nutzten. Nun wollen wir etwas unsichtbar machen. Dazu legen wir wieder ein Geldstück in die Mitte einer großen Schüssel und füllen sie mit Wasser. Blicken wir senkrecht von oben in die Schüssel, ist das Geldstück sichtbar. Nun senken wir den Kopf langsam tiefer, indem wir in die Knie gehen, so daß schließlich nur noch die Augen über den Rand der Schüssel blicken. Senken wir



Tricks, mit denen man eine Münze sichtbar und unsichtbar machen kann.

den Kopf noch tiefer und blicken weiter auf das Geldstück, scheint es sich zu bewegen. Wir haben den Eindruck, als klettere es an der anderen Seite der Schüssel hoch. Plötzlich aber verschwindet das Geldstück. Es hat den Anschein, als sei es aus der Schüssel herausgeklettert und in der Luft verschwunden. In Wirklichkeit werden der Reflexionswinkel und der Einfallswinkel immer größer, je näher die Augen dem Schüsselrand kommen. Schließlich ist der Einfallswinkel so groß, daß die Wasseroberfläche wie ein Spiegel wirkt: Das Licht von der Münze wird von ihr zurückgeworfen, es kann nicht mehr aus dem Wasser heraus. Darum ist es nicht mehr möglich, das Geldstück zu sehen. Dieser Winkel, bei dem das Geldstück aus der Sicht verschwindet, heißt der Grenzwinkel der Totalreflexion.

Im Film sieht es manchmal so aus, als

**Warum schei-
nen sich Räder
manchmal
rückwärts zu
drehen?**

ob sich die Räder eines schnell fahrenden Autos oder die Räder eines Flugzeuges, das kurz vor dem Ab-

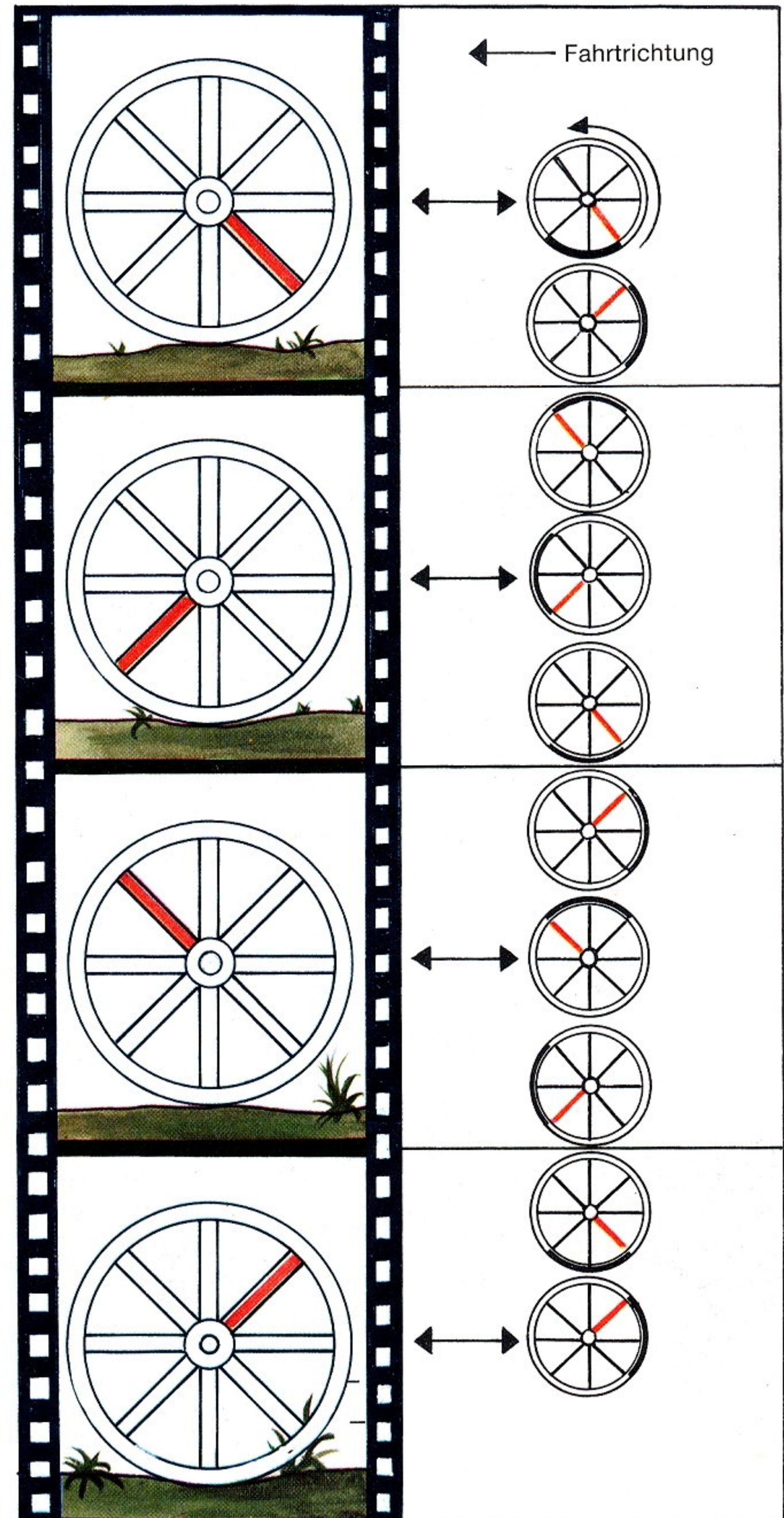
heben ist, rückwärts drehen. Um diesen seltsamen optischen Effekt zu verstehen, muß man sich vergegenwärtigen, daß der auf die Leinwand projizierte Film aus vielen, aufeinander folgenden Einzelbildern besteht, die nacheinander vor unseren Augen ablaufen. Für den Bruchteil einer Sekunde ist der Bildschirm zwischen zwei Bildern jedoch dunkel.

Jedes Einzelbild zeigt das Auto oder das Flugzeug, das sich auf der Straße oder der Startbahn vorwärtsbewegt. Wenn jedoch das Rad von einem Bild zum anderen keine ganze Drehung macht, sieht es für unsere Augen so aus, als bewege sich das Rad rückwärts. Beobachtet man zum Beispiel den oberen Rand des Rades in einem Bild, und dieser obere Rand macht bis zum zweiten Bild keine vollständige

Drehung, sondern nur eine dreiviertel Drehung, so erweckt es den Eindruck, als drehe sich das Rad um ein Viertel nach rückwärts. Im dritten Bild, vorausgesetzt, daß das Rad nur eine dreiviertel Umdrehung macht, ist der obere Rand genau am Boden. Wieder scheint es, als habe sich das Rad um ein Viertel rückwärts gedreht. Auf diese Weise bewegt

Film

Wirklichkeit



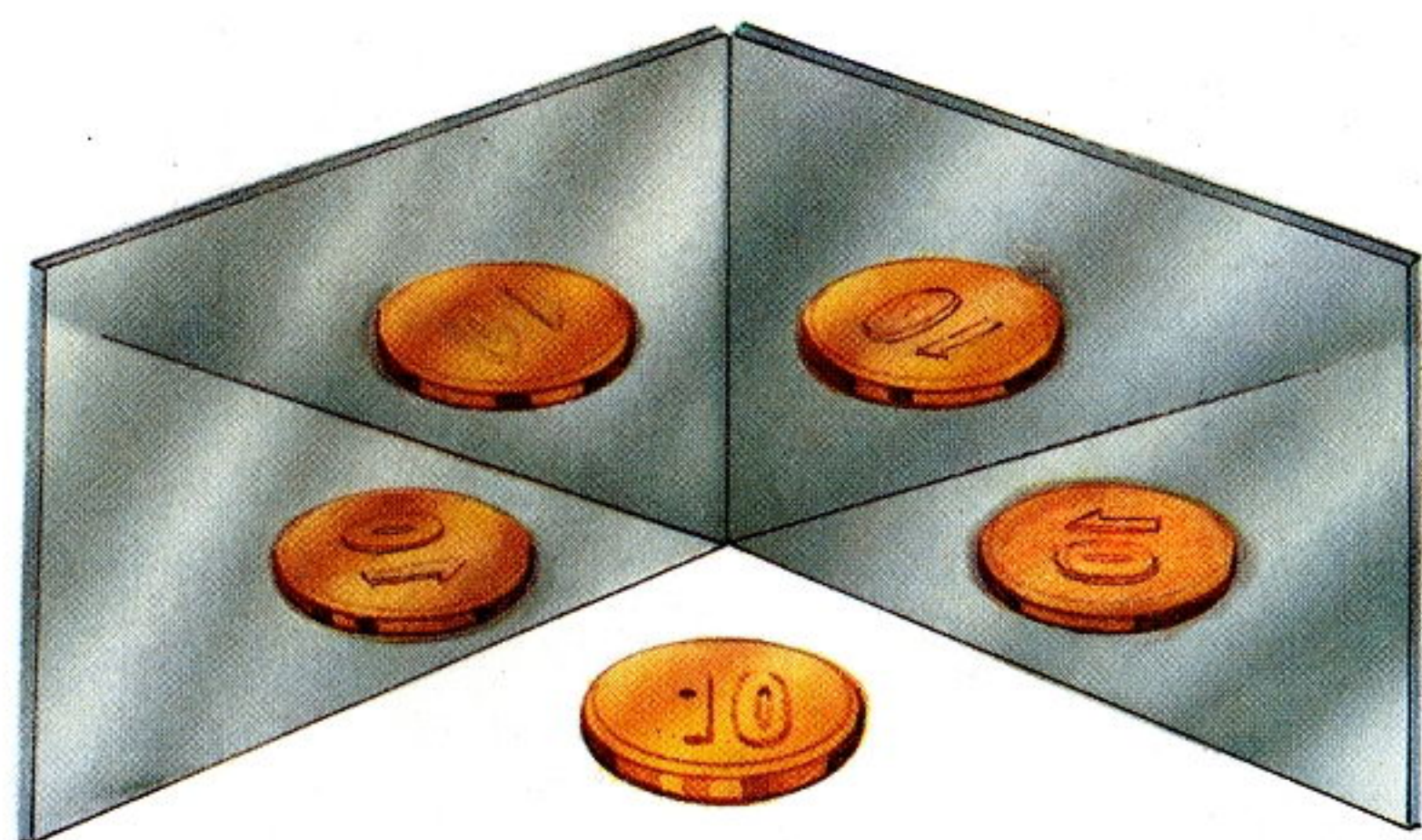
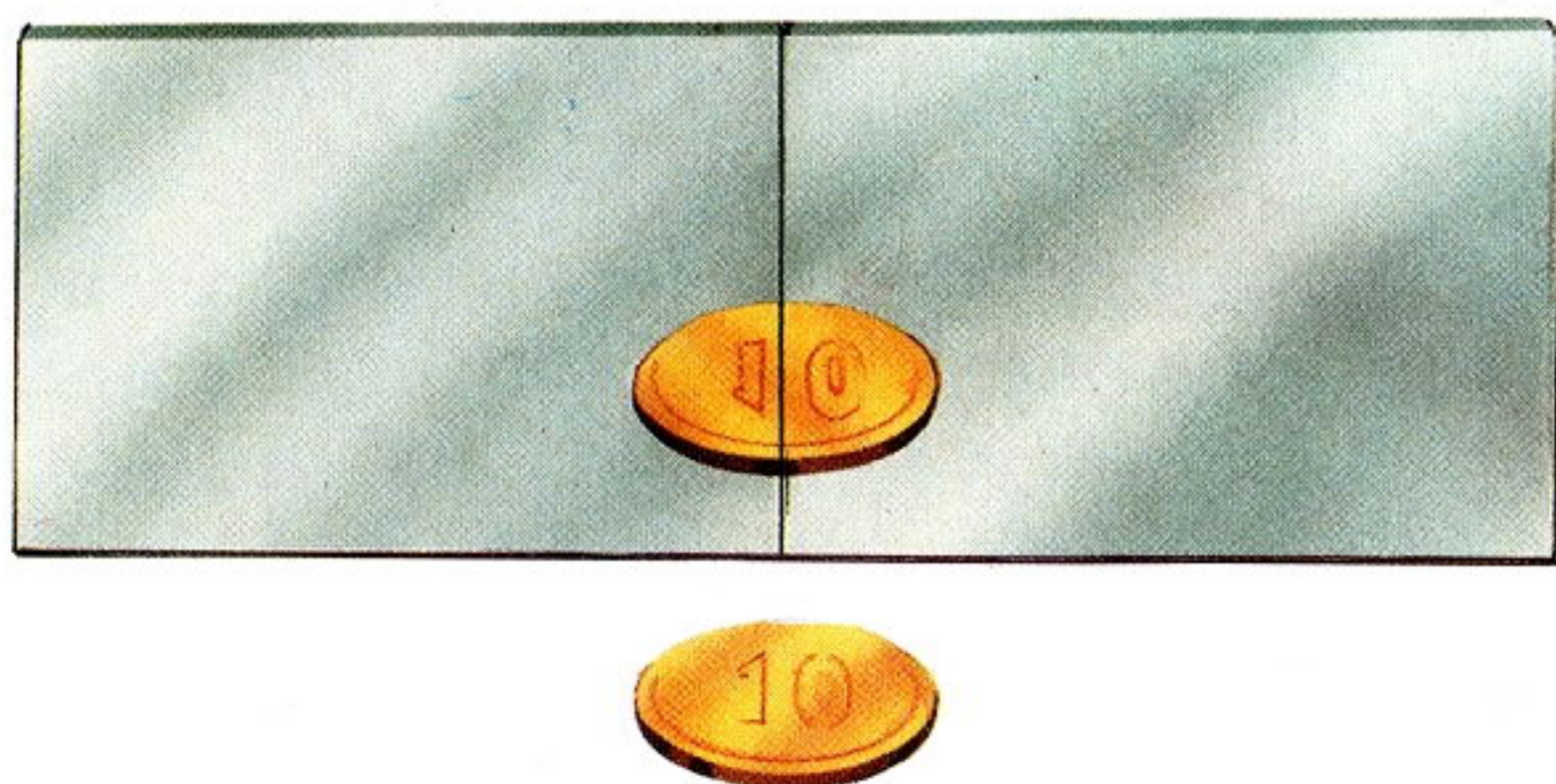
So kommt der stroboskopische Effekt zustande.

sich das Auto vorwärts, aber die Räder scheinen sich rückwärts zu drehen. Diese Erscheinung bezeichnet man als stroboskopischen Effekt.

Man kann diesen stroboskopischen Effekt sehen, wenn man mit einem Lineal oder einem Bleistift vor dem Fernsehbildschirm langsam hin und her wedelt. Das bewegte Fernsehbild ist wie bei einem Film aus 50 einzelnen Halbbildern zusammengesetzt, deshalb wird das Lineal 50 mal in der Sekunde beleuchtet und dabei ist es beim Wedeln jedesmal an einer anderen Stelle.

Wenn Lichtstrahlen reflektiert werden, erzeugen sie ein Spiegelbild. Wer schon einmal vor einem dreiteiligen Spiegel gestanden hat, um sich in einem neuen Kleid oder Pullover zu bewundern, weiß, daß man drei Bilder von

Wie erzeugt man mehrfache Bilder?

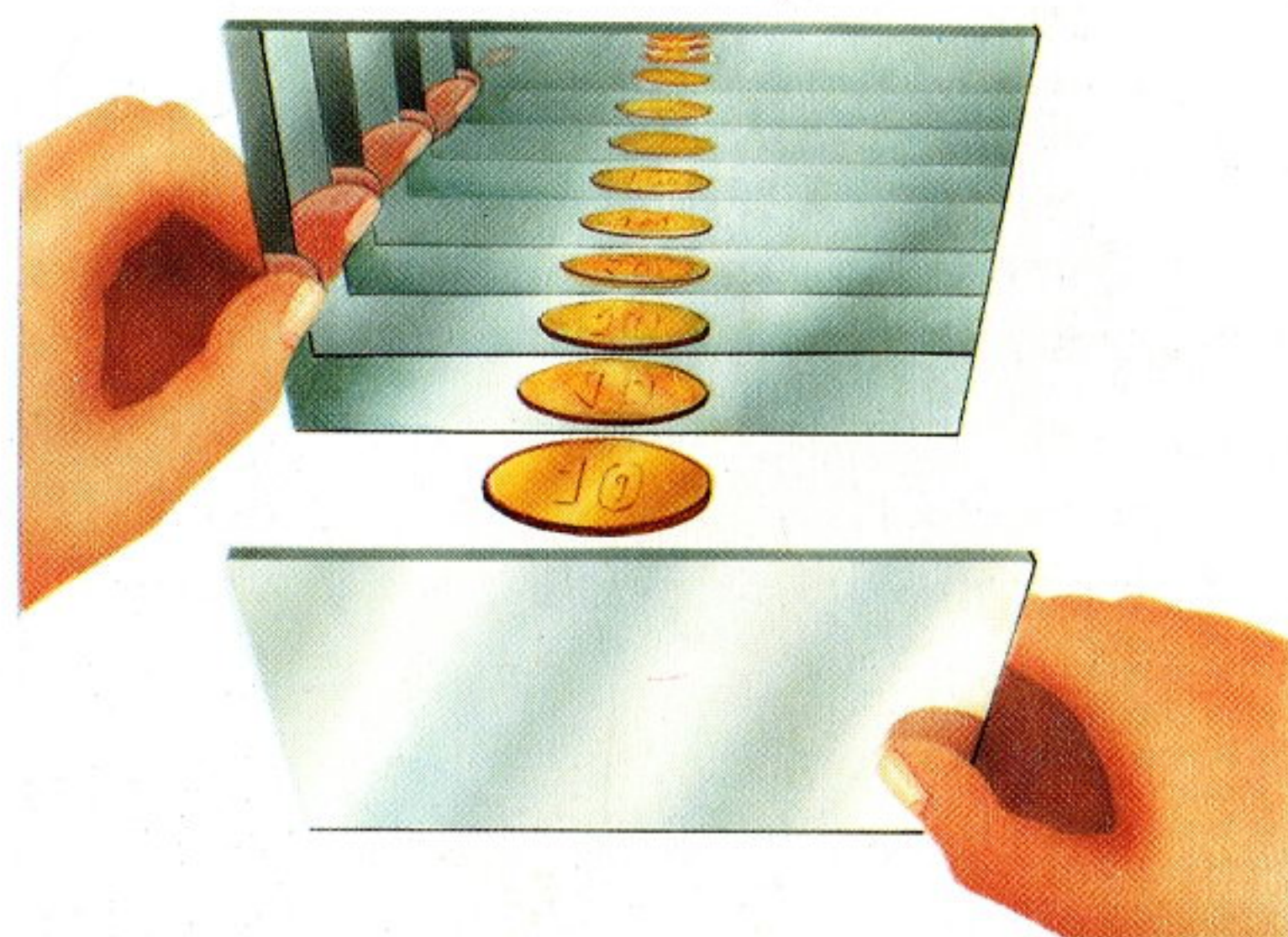
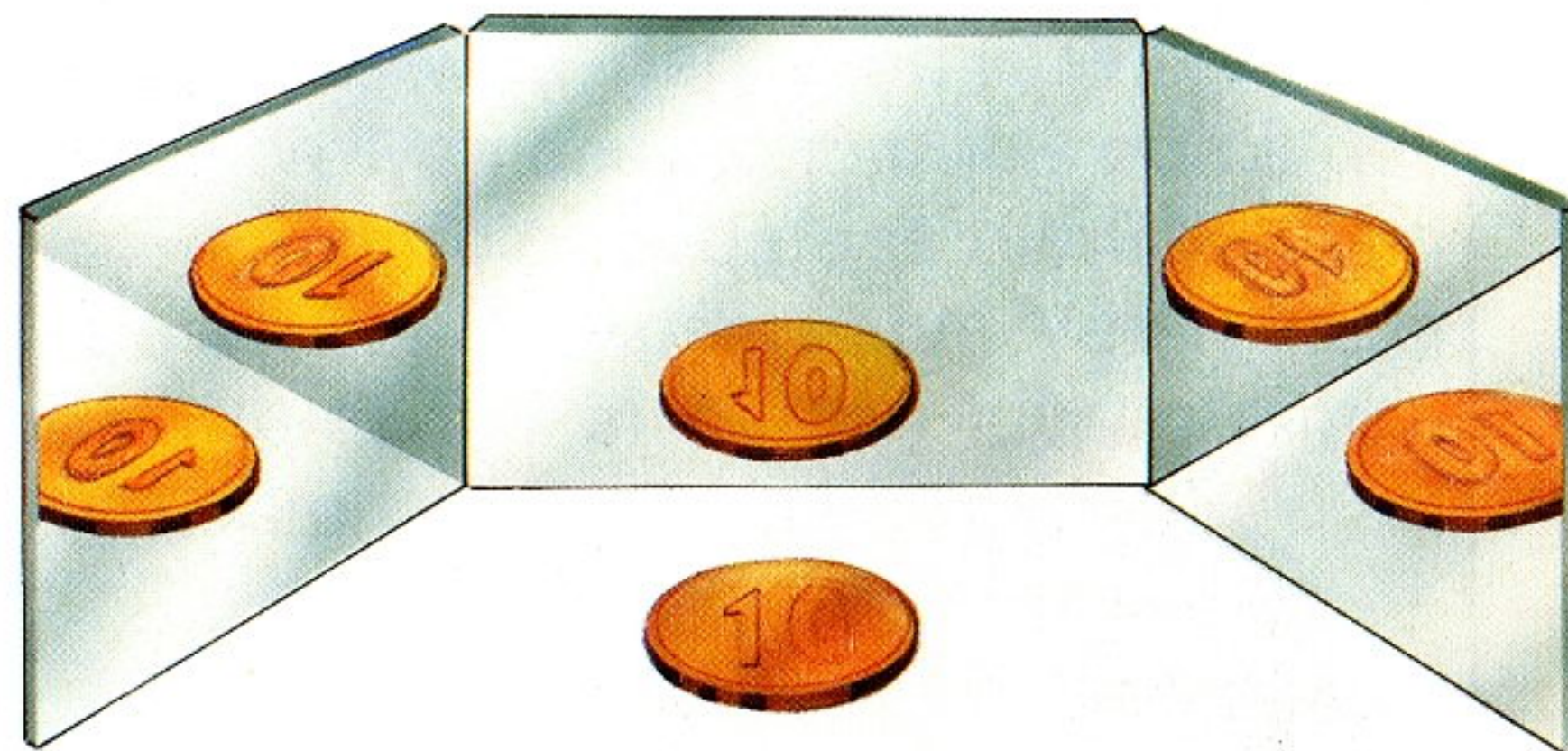


Je kleiner der Winkel der beiden Spiegel wird, um so schneller vermehrt sich das Geld. Mit einem dritten Spiegel geht es noch schneller. Die Zahl der Bilder wird unendlich, wenn zwei Spiegel einander parallel gegenüberstehen.

sich sieht. Manchmal sogar noch mehr, je nach dem Winkel, unter dem man in die Spiegel blickt.

Auf diese Weise kann man zum Beispiel Geld „vervielfältigen“. Ein Geldstück und zwei kleine Taschenspiegel genügen für diesen Trick. Man legt das Geldstück auf den Tisch und stellt die beiden Spiegel so nebeneinander, daß nur ein einziges Spiegelbild entsteht. Nun bewegt man die äußeren Kanten der beiden Spiegel zum Körper hin. Je näher die Spiegel zusammenkommen, um so mehr Spiegelbilder des Geldstückes erscheinen.

Zuerst sieht man das Spiegelbild des Geldstückes in jedem Spiegel. Wenn sich die Spiegel dann ineinander spiegeln, sieht man vier Spiegelbilder und das wirkliche Geldstück. Dreht man jetzt die Spiegel noch weiter, bis die äußeren Kanten das Geldstück fast berühren, dann sind sechs Spiegelbilder und das wirkliche Geldstück zu sehen.



Versuch 7

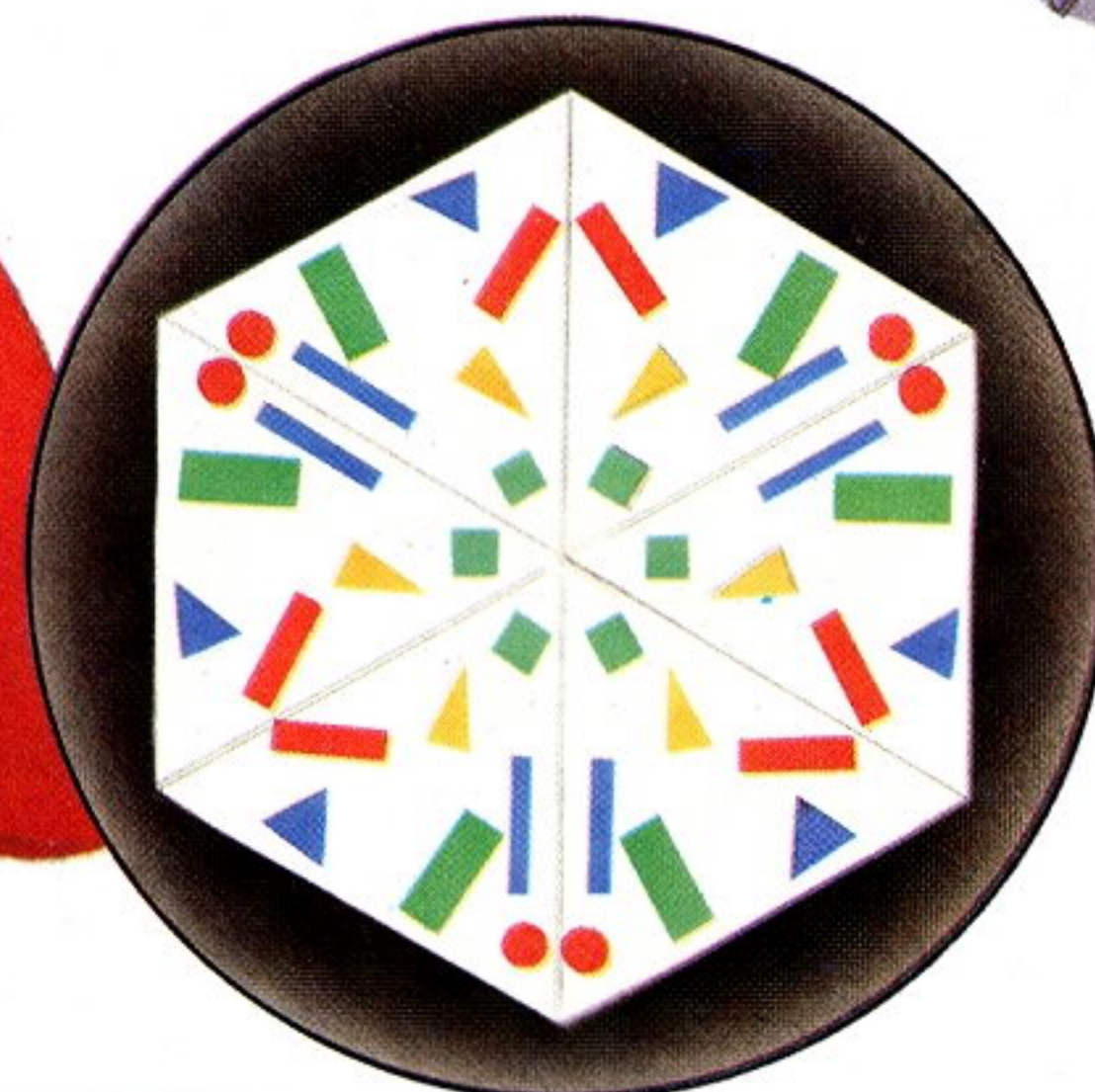
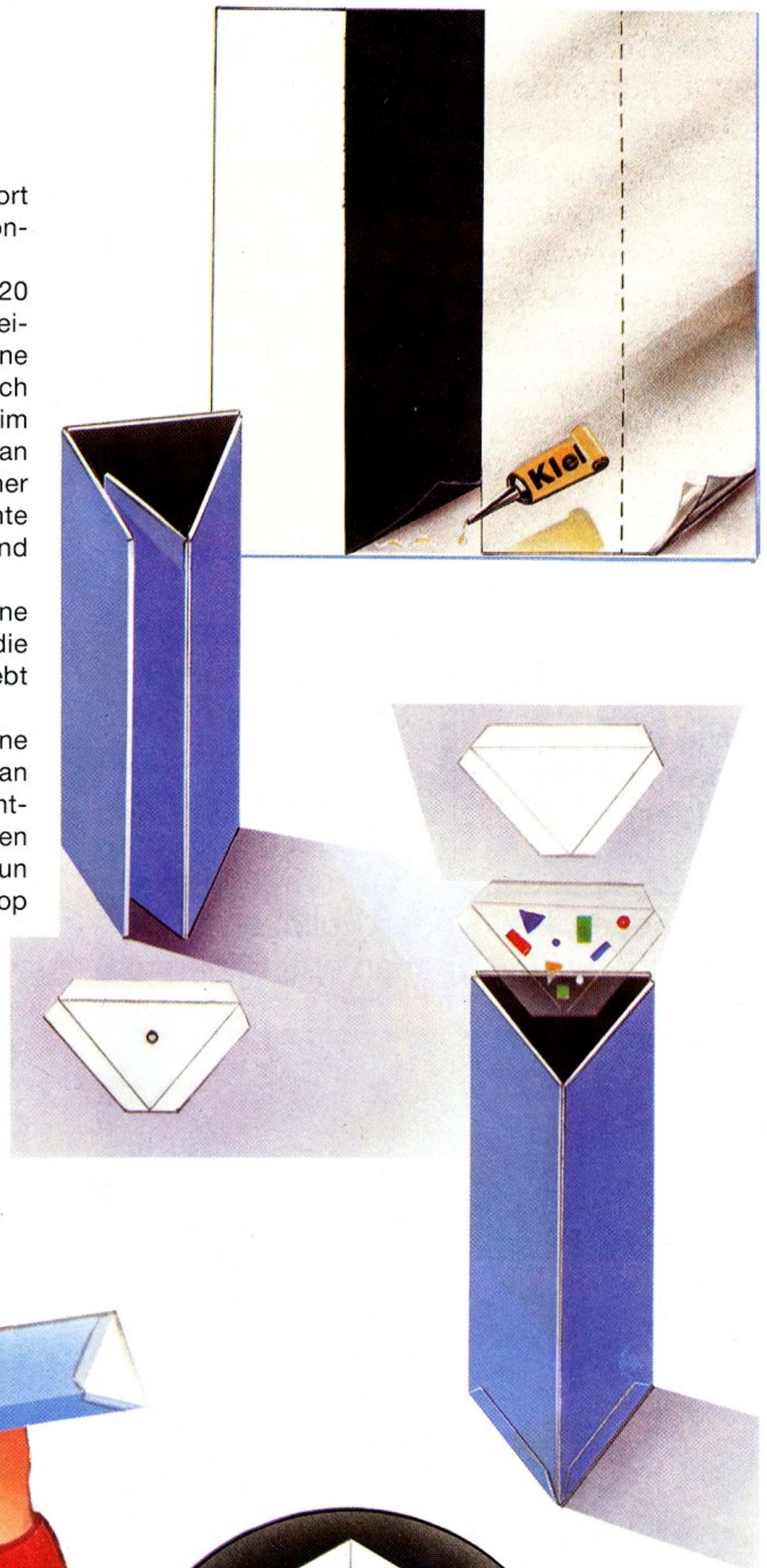
Wie baut man sich ein Kaleidoskop?

Ein Kaleidoskop ist ein optisches Spielzeug. Das Wort stammt aus dem Griechischen und bedeutet „Schönbildschauer“.

Man braucht zum Bau eines Kaleidoskops ein 20 x 20 cm großes Stück Karton, das in vier gleich breite Streifen aufgeteilt wird. Auf den Karton klebt man eine Glanzfolie, und zwar mit der glänzenden Seite nach oben. (Statt der Glanzfolie kann man auch Spiegel im Streifenformat nehmen). Auf einen Streifen klebt man schwarzes Papier. Nun knickt man den Karton zu einer dreieckigen Säule und klebt sie an der offenen Kante zu. Man schneidet ein Stück Plastikfolie zurecht und klebt es über eine der Öffnungen.

Dann schneidet man entweder Buntpapier in kleine Stücke oder nimmt farbige Perlen und legt sie auf die Plastikfolie an einem der beiden Enden. Darüber klebt man ein Stück weißes Papier.

Hält man nun das dreieckige Kaleidoskop gegen eine Lichtquelle und schaut von oben hinein, so sieht man eine bunte Figur in Form eines Sechsecks. Sie entsteht durch die Spiegelung des bunten Musters in den Folien im Innern des Kaleidoskops. Bewegt man nun die kleinen bunten Teile, indem man das Kaleidoskop dreht, verändert die Figur ihr Muster.



Optische Linsen

Durch die Brechung des Lichts können

Was ist eine Linse?

wir nicht nur Dinge unsichtbar machen (wie wir auf Seite 17 gesehen haben), sondern wir können sie

auch näher und größer oder weiter entfernt erscheinen lassen. Dazu braucht man Linsen.

Eine optische Linse ist ein von zwei Kugelflächen begrenzter Körper aus durchsichtigem Material, meist Glas. Wenn Licht durch eine Linse geht, wird es gebrochen: es geht von einem Medium in ein anderes über und von dort wieder zurück in das erste Medium – von Luft in Glas und dann wieder von Glas in Luft. Dadurch kann die Linse ein Bild eines entfernten Gegenstandes entwerfen. Die Form der Linse bestimmt, ob sie die durchgehenden Lichtstrahlen sammelt oder zerstreut. Optische Linsen wurden lange Zeit aus Glas hergestellt. Heute benutzt man auch Kunststoff, weil Linsen aus diesem Material nicht so leicht zerbrechen.

Es gibt im wesentlichen zwei Grund-

Wie sind Linsen geformt?

formen von Linsen. Darüber hinaus sind jedoch noch viele Abwandlungen und Kombinationen

der Grundformen möglich.

Je nach der Art der Wölbung unterscheidet man *konvexe* und *konkave* Linsen. Eine Konvexlinse ist in der Mitte dicker als am Rand. Sie sammelt das Licht, wie wir noch sehen werden, und heißt darum auch *Sammellinse*.

Eine Konkavlinse ist in der Mitte dünner als am Rand. Das Licht wird zerstreut, es ist eine *Zerstreuungslinse*.

Um die Wirkungsweise von Linsen zu

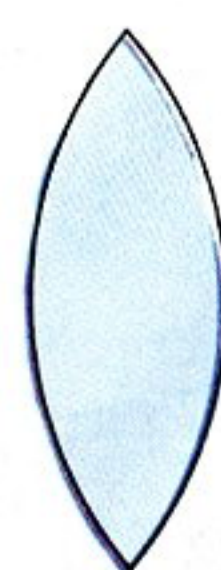
Wie geht das Licht durch ein Prisma?

verstehen, müssen wir den Weg eines Lichtstrahls durch Glas, zum Beispiel eine Fensterscheibe, verfolgen.

Fällt der Lichtstrahl senkrecht, also im rechten Winkel, auf die Oberfläche der Scheibe, geht er unverändert hindurch. Trifft er die Glasfläche jedoch unter einem anderen Winkel, wird er gebrochen. In anderen Worten: Die Richtung, in der der Lichtstrahl sich ausbreitet, ändert sich, wenn er von der Luft in das Glas eintritt. Wenn er auf der anderen Seite der Scheibe wieder austritt, wird er beim Übergang vom Glas in die Luft wieder gebrochen. Er hat wieder seine alte Richtung, ist aber parallel zu sich verschoben.

Auch ein Lichtstrahl, der durch ein Prisma geht, wird gebrochen. Wir wollen nun den Weg des Lichtstrahls durch das Prisma verfolgen, da uns die Brechung des Lichts im Prisma das Verständnis der Vorgänge in beiden Linsenformen erleichtert.

Grundformen der Linsen



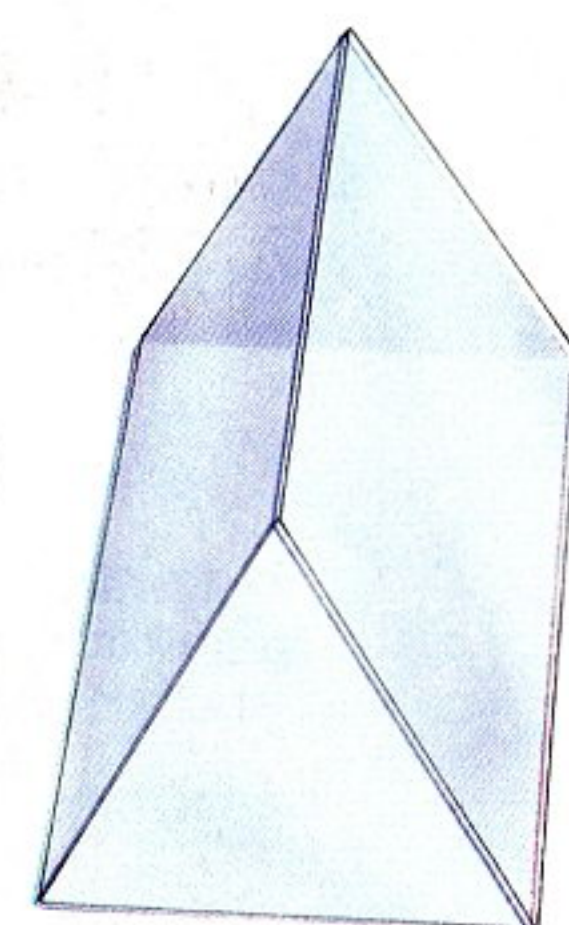
bikonvex



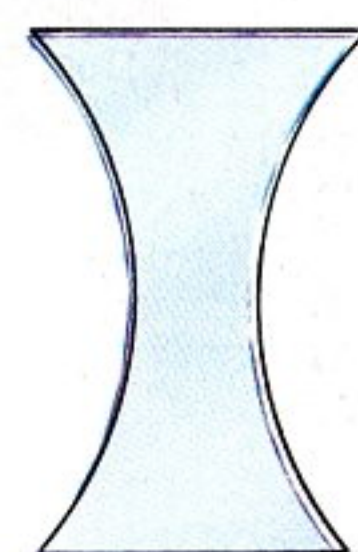
plankonvex



konkav-konvex



Prisma



bikonkav



plankonkav



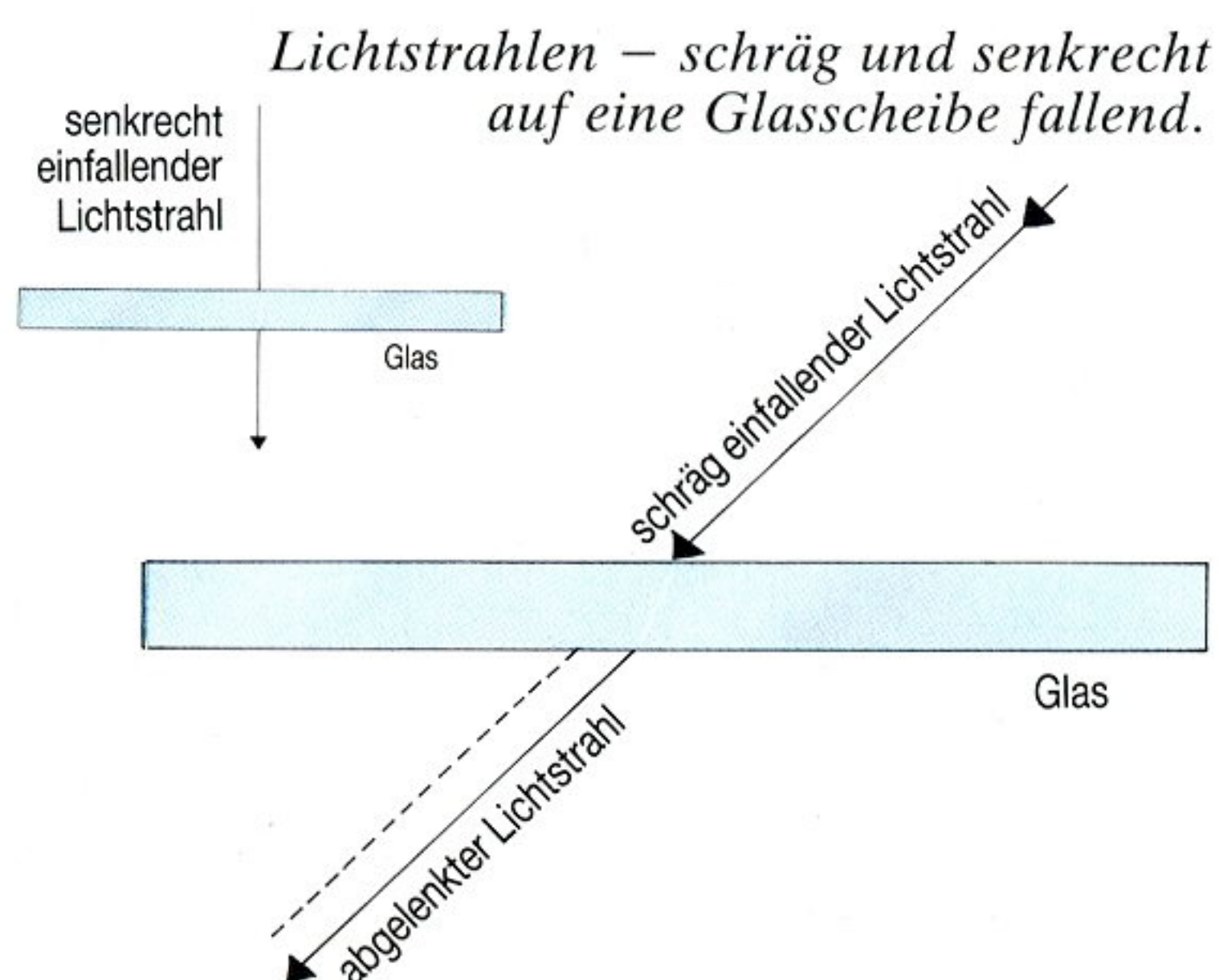
konvex-konkav

Ein optisches Prisma ist gewöhnlich ein Stück Glas, das wie eine dreikantige Säule aussieht. Mit anderen Worten, ein optisches Prisma hat zwei dreieckige Grundflächen an den Enden, und die drei Seitenflächen haben meist die Form von Rechtecken. Für die schematische Darstellung genügt es, ein Dreieck zu betrachten, das ein Querschnitt des Prismas ist. Ein Lichtstrahl kann entweder senkrecht oder unter einem anderen Winkel auf eine der Seitenflächen des Prismas treffen. Fällt der Lichtstrahl senkrecht auf eine der Flächen, bleibt seine Richtung unverändert, bis er die andere Seite des Prismas erreicht. Dort tritt der Lichtstrahl in ein anderes Medium, die Luft, ein und wird dabei gebrochen.

Fällt der Lichtstrahl jedoch unter einem spitzen Einfallswinkel auf die Seitenfläche des Prismas, wird er beim Eintritt in das Glas gebrochen. Tritt er auf der anderen Seite des Prismas aus, trifft er die Grenzfläche unter einem spitzen Winkel und wird erneut gebrochen.

Wenn ein Lichtstrahl in dem gleichen Winkel das Prisma verläßt, unter dem er eingetreten ist, wird das Licht am wenigsten abgelenkt.

Die beiden Seiten, durch die der Lichtstrahl hindurchgeht, bilden miteinander den brechenden Winkel. Je größer der brechende Winkel ist, um so stärker ist die Ablenkung des Lichtstrahls.



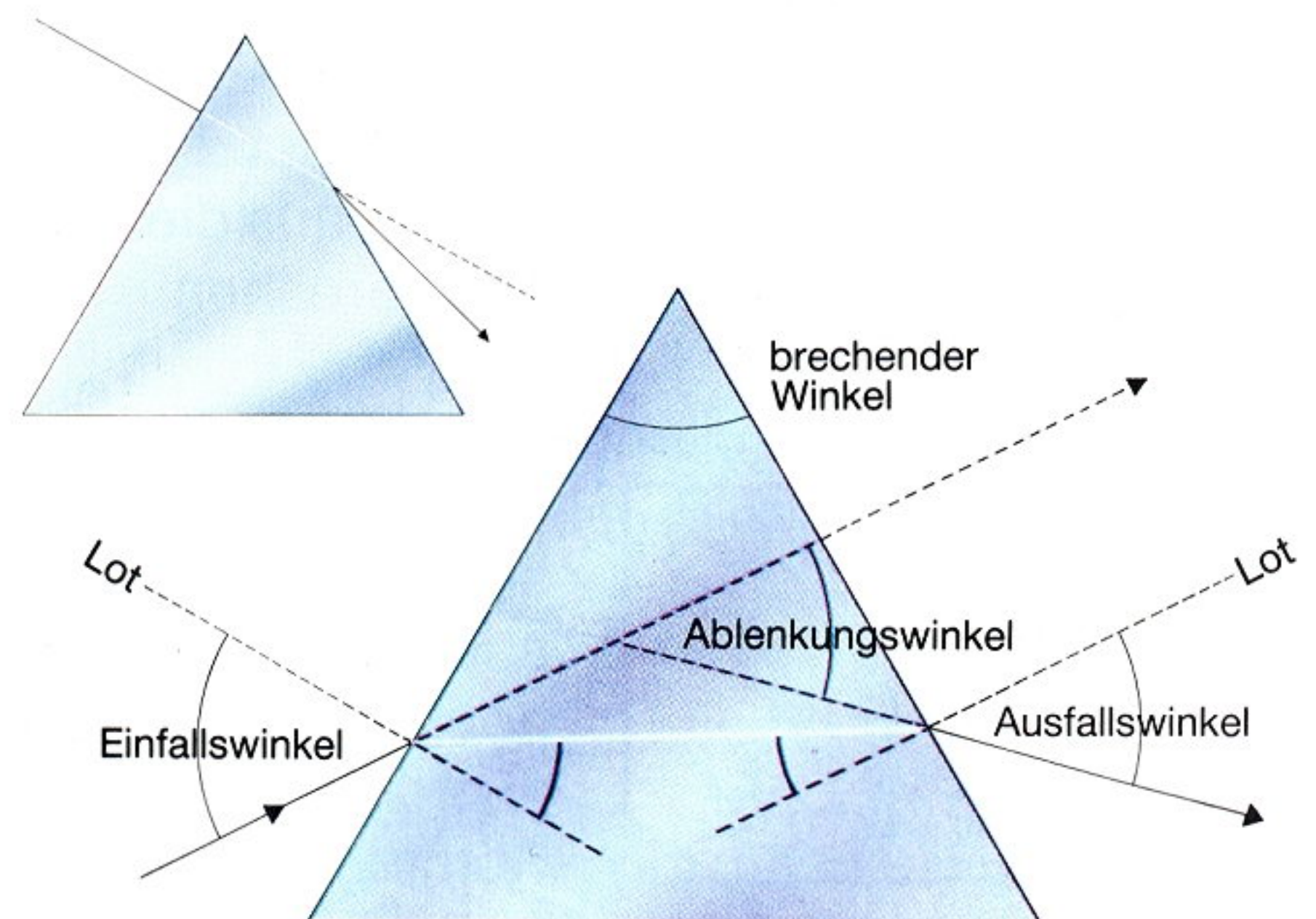
Betrachtet man eine konkave oder konvexe Linse von der Seite, läßt sich eine gedachte Gerade vom oberen zum unteren Rand der Linse ziehen.

Auf welchem Wege geht das Licht durch Linsen?

Diese Gerade liegt in der Mittelebene der Linse und heißt Mittelachse. Im rechten Winkel zu dieser Mittelachse kann man sich eine andere Gerade denken, die genau durch die Mitte der Linse geht. Man nennt sie die Hauptachse oder optische Achse.

Alle Lichtstrahlen, die parallel zur optischen Achse auf die Linse fallen, gehen, wenn sie die Linse wieder verlassen haben, durch einen Punkt auf der optischen Achse. Diesen Punkt nennt man den *Brennpunkt*. Die Entfernung des Brennpunktes von der Mittelachse der Linse wird als *Brennweite* bezeichnet.

Parallele Lichtstrahlen aus anderen Richtungen treffen sich auch in einem Punkt. Er liegt in einer Ebene, die senk-

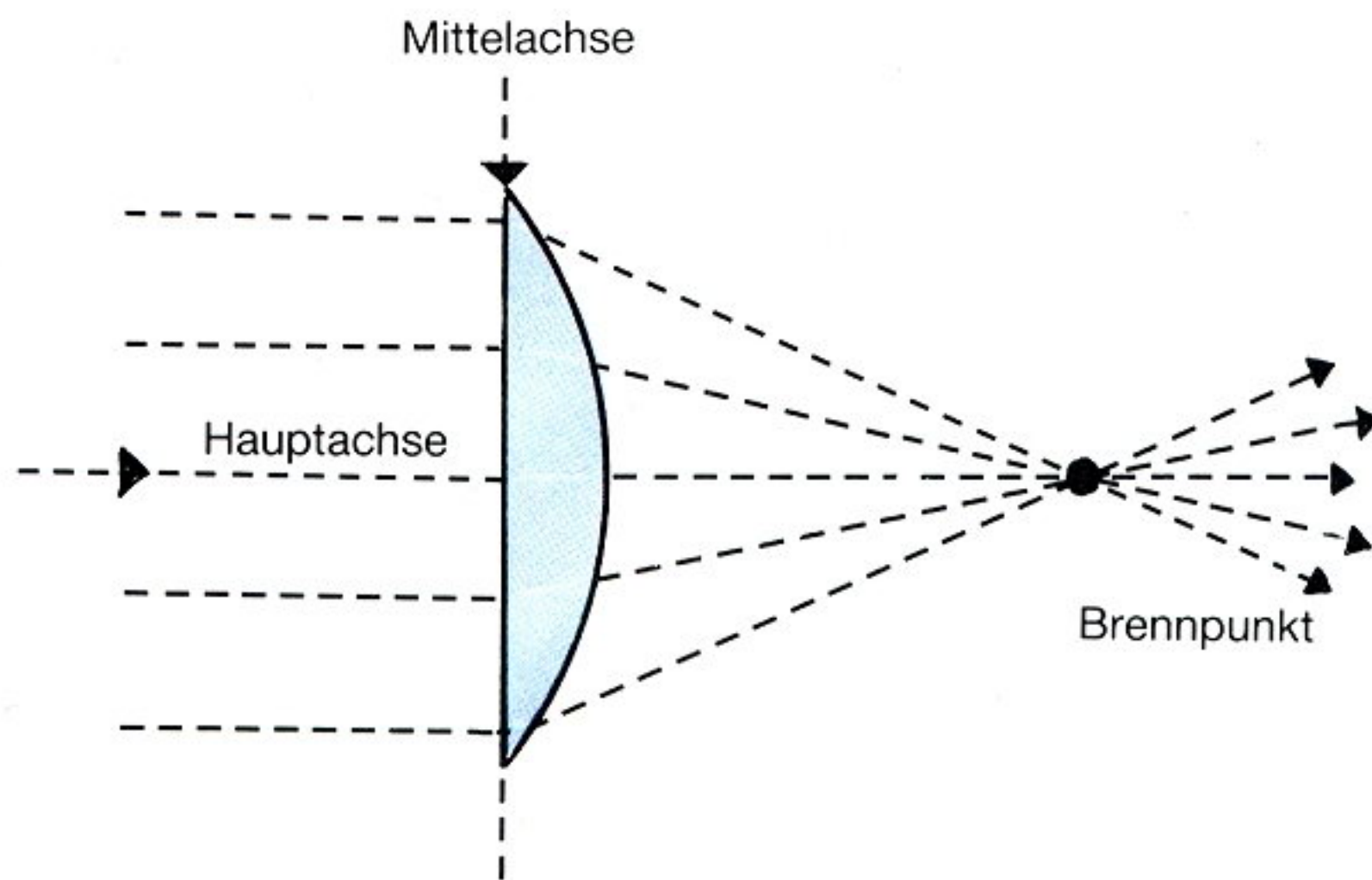


Der Weg des Lichts durch ein Prisma. Ein schräg auffallender Lichtstrahl wird beim Eintritt in das Prisma zum Einfallslot hin, beim Austritt vom Einfallslot weg gebrochen. Ein senkrecht auffallender Lichtstrahl ändert seine Richtung erst, wenn er an der anderen Seite des Prismas austritt.

recht zur optischen Achse steht und durch den Brennpunkt geht. Dabei wird jeweils die Richtung der Strahlen, die durch die Mitte der Linse gehen, nicht

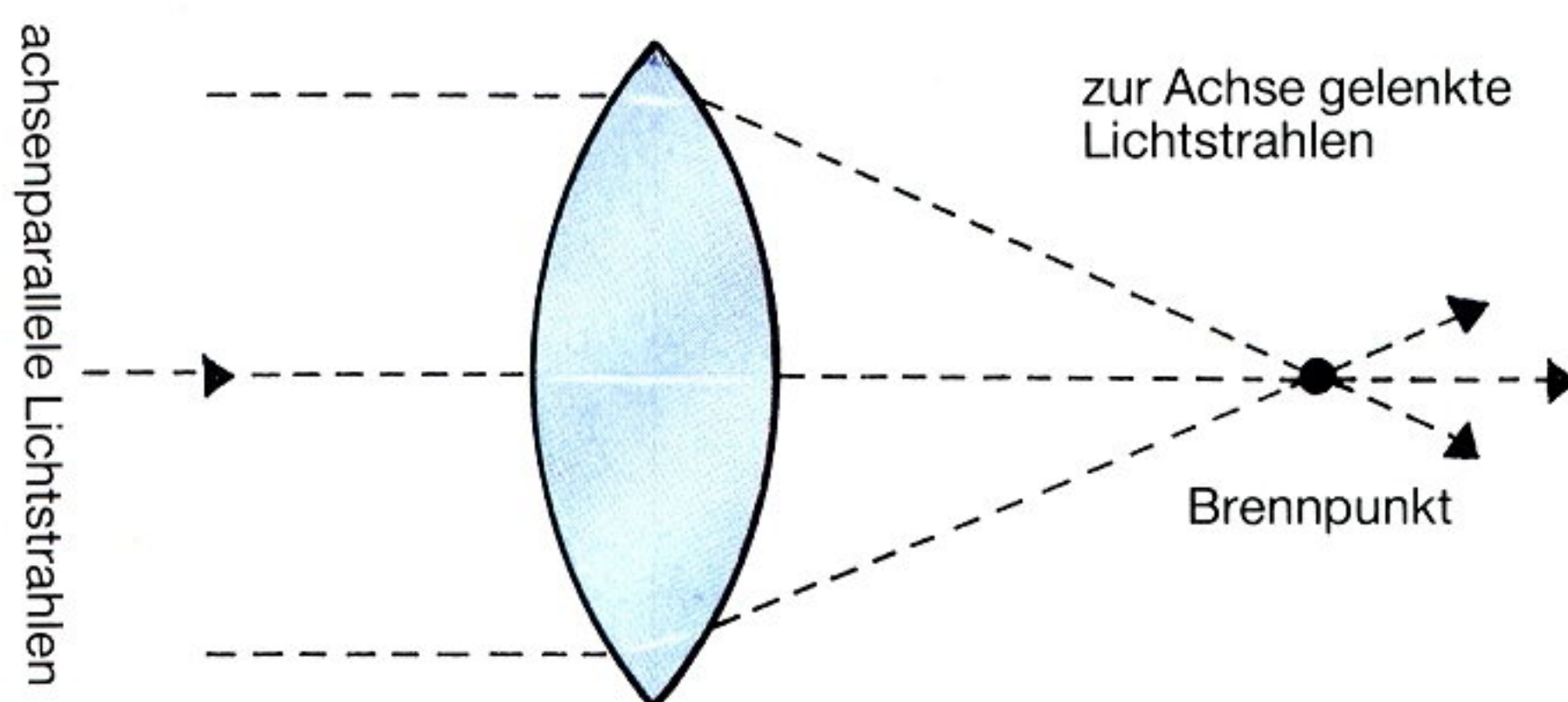
verändert, sie werden nur ein wenig parallel zu sich selbst verschoben. (Das ist aber nur bei dicken Linsen störend.)

Eine konvexe Linse nennt man auch Sammellinse, da parallele Lichtstrahlen, die durch sie hindurchgehen, nach innen abgelenkt werden und sich hinter der Linse in einem Punkt der Brennebene sammeln.



Bezeichnungen bei einer Linse.

Blickt man von der Seite auf eine einfache Sammellinse, kann man sich vorstellen, daß es sich um zwei leicht abgeänderte Prismen mit einer gemeinsamen Basis handelt. Gehen die Lichtstrahlen durch ein Prisma, werden sie zur Basis, also zum breiteren Ende hin, gebrochen. So kommt es, daß die Lichtstrahlen beim Durchgang durch das gedachte obere und untere Prisma einer konvexen Linse nach innen verlaufen, also gesammelt werden.



Weg der Lichtstrahlen durch eine Sammellinse (bikonvex).

In ähnlicher Weise kann eine konkave Linse als eine Kombination von zwei Prismen betrachtet werden, die an den Spitzen zusammentreffen. Auch bei diesen Prismen werden die Lichtstrahlen zur Basis hin abgelenkt. Die Konkavlinse lenkt also die Lichtstrahlen nach außen – sie zerstreut sie. Man spricht daher auch von Zerstreuungslinse.

Hält man in der einen Hand ein Blatt

Wie erzeugt eine Linse ein Bild?

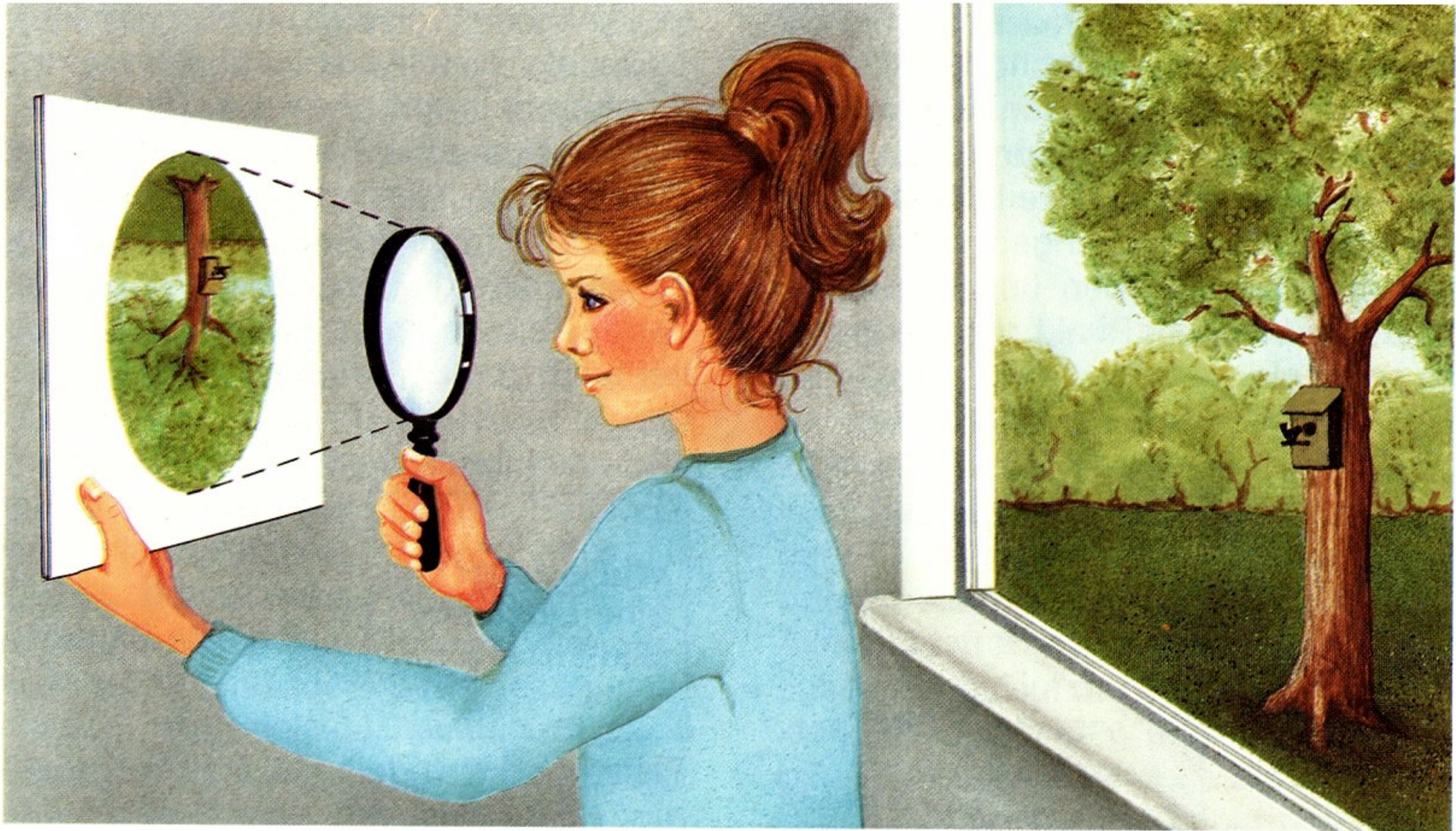
Papier und in der anderen ein Vergrößerungsglas, also eine Sammellinse, und stellt sich vor einem

Fenster so auf, daß sich das Vergrößerungsglas zwischen dem Fenster und dem Blatt Papier befindet, sieht man durch das Vergrößerungsglas auf dem Papier ein Bild von der Welt draußen. Bringt man das Vergrößerungsglas näher an das Papier heran oder hält es weiter weg, entdeckt man, daß das Bild in einer bestimmten Entfernung am schärfsten ist. Auch bei einer Kamera wird die Linse vor- und zurückbewegt, um auf dem Film ein scharfes Bild zu erhalten.

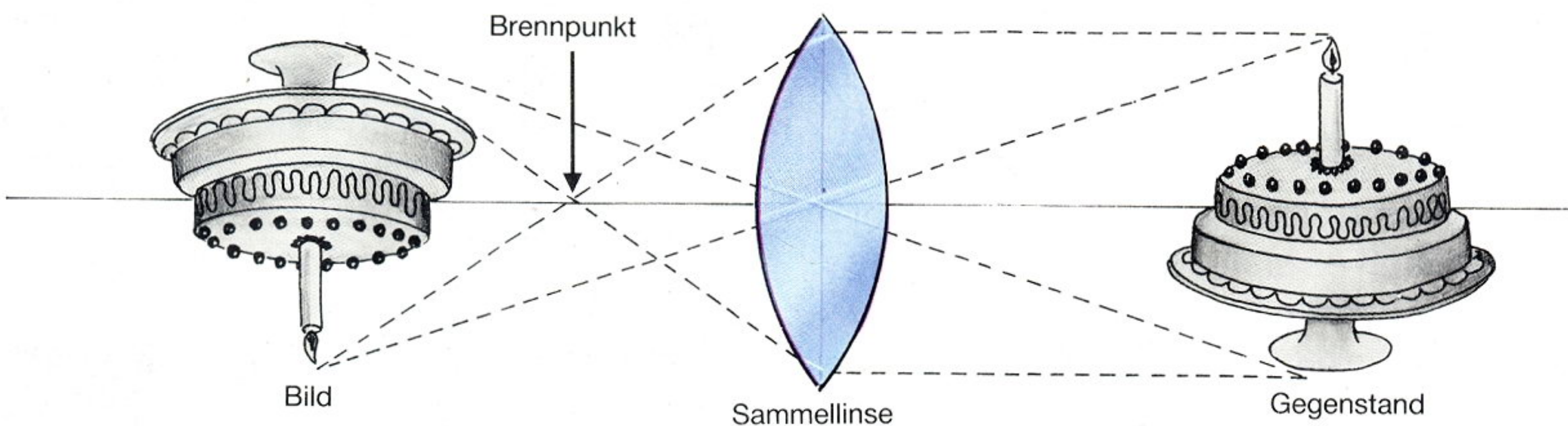
Etwas ist allerdings ungewöhnlich an dem Bild, das durch die Sammellinse auf dem Papier erzeugt wird: es steht auf dem Kopf und ist seitenverkehrt. Die Linse kehrt den Gegenstand um, wenn sie ein Bild von ihm erzeugt.



Weg der Lichtstrahlen durch eine Zerstreuungslinse (bikonkav).



Mit einer einfachen Lupe kann man sich die Außenwelt ins Zimmer holen – doch das Bild steht auf dem Kopf und ist seitenverkehrt.



Ohne Linsen, mit denen kleine Gegenstände vergrößert und das Bild entfernter Gegenstände herangeholt werden, wären viele der großen wissenschaftlichen Entdeckungen und Fortschritte nicht möglich gewesen. Man verwendet Linsen in optischen Geräten wie Mikroskopen und Fernrohren. Mikroskope sind Instrumente, mit denen man sehr kleine Dinge, die das Auge normalerweise nicht wahrnimmt, vergrößert betrachten kann. Man kann zum Beispiel Blutkörperchen untersuchen oder winziges pflanzliches und tieri-

Wozu werden Linsen verwendet?

sches Leben wie Bakterien und Viren. So erhält man Kenntnisse, die helfen, Krankheiten zu bekämpfen. Auch bei der Erforschung des Welt-raums werden Linsen verwendet. Das Fernrohr oder Teleskop bringt uns weit entfernte Sterne und Planeten näher, indem es sie heller und größer erscheinen läßt, als sie sich dem bloßen Auge zeigen. Im allgemeinen werden in diesen optischen Geräten mehrere verschiedene Linsen verwendet. Ein Vergrößerungsglas (Lupe) ist zwar ein einfaches Mikroskop, reicht aber für die wissenschaftliche Forschung nicht aus. Sind mehrere Linsen eingebaut, so spricht

Versuch 8

Wie baut man sich eine Lochkamera?

Ein sehr kleines Loch wirkt wie eine Sammellinse (Blende) und erzeugt ein kopfstehendes Bild. Die einfachste Kamera ist eine Lochkamera. Sie wurde schon um 1500 von Leonardo da Vinci als „Camera obscura“ beschrieben.

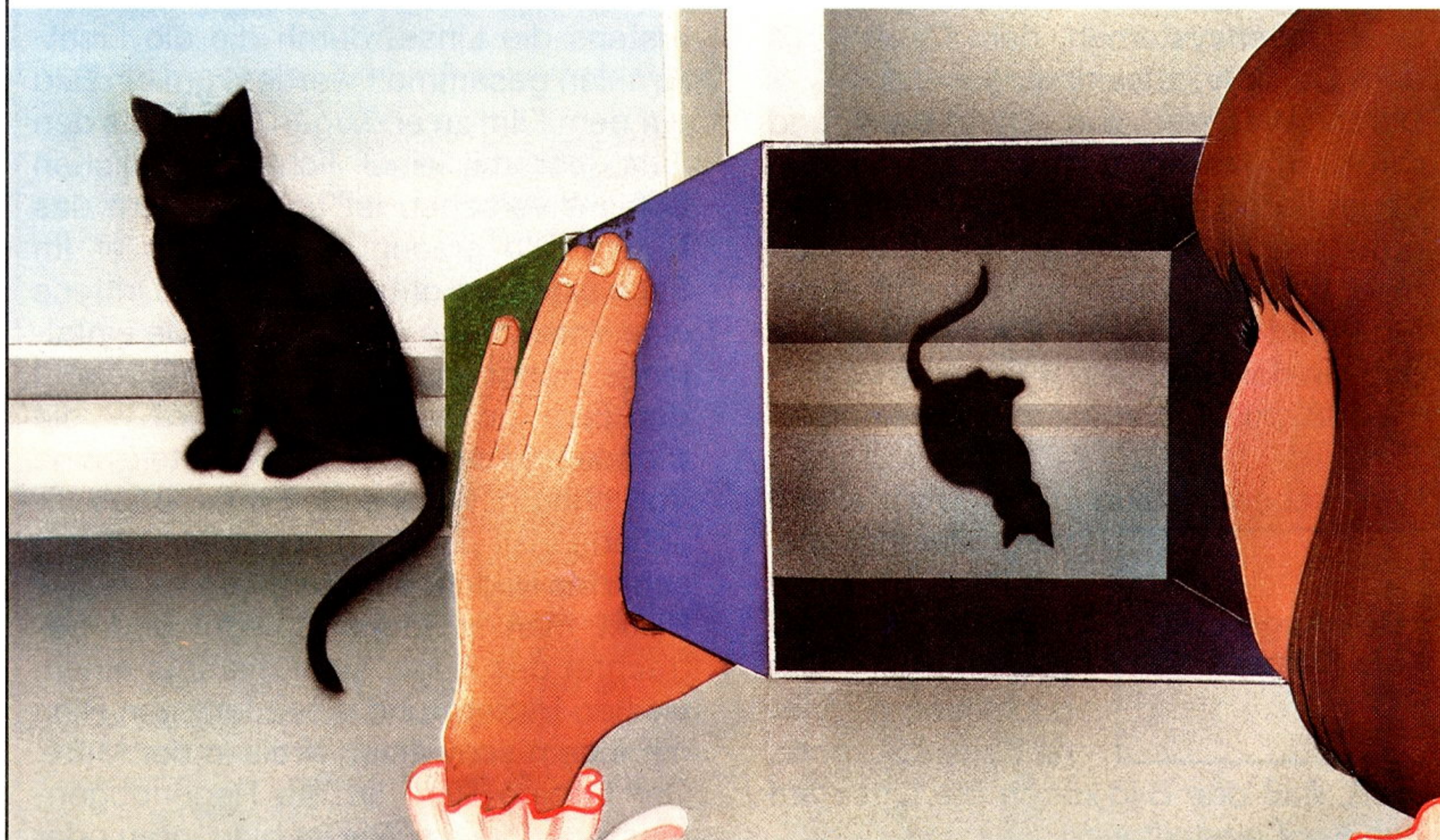
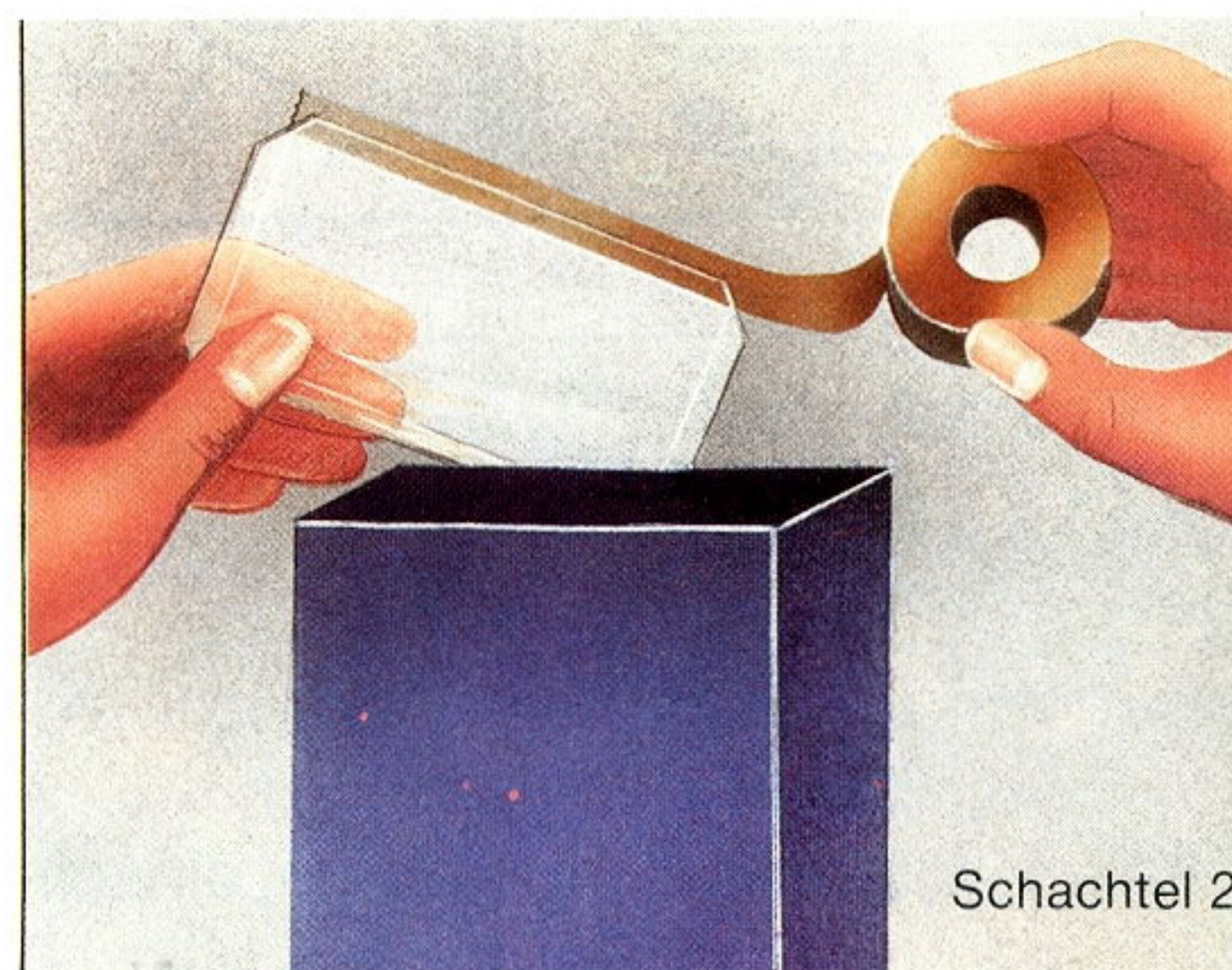
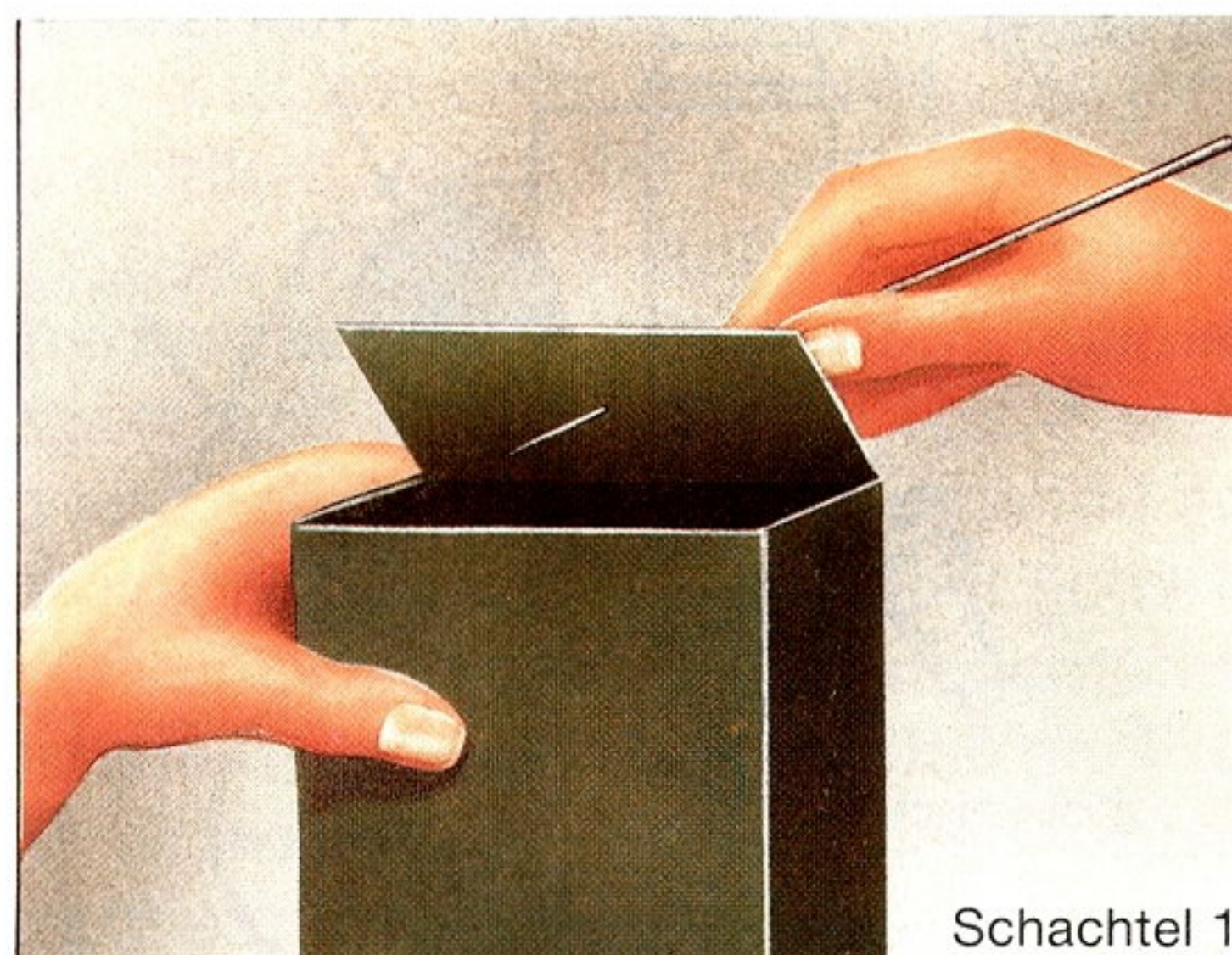
Für den Bau einer Lochkamera braucht man zwei Pappschachteln, von denen die eine kleiner sein muß als die andere, damit man sie ineinander schieben kann. Außerdem braucht man Klebeband und Pergamentpapier.

Eine Längsseite von Schachtel 1 soll geschlossen sein, die andere offen. Wie auf der Abbildung gezeigt, bohrt man in die Längsseite mit einer Nadel ein kleines Loch.

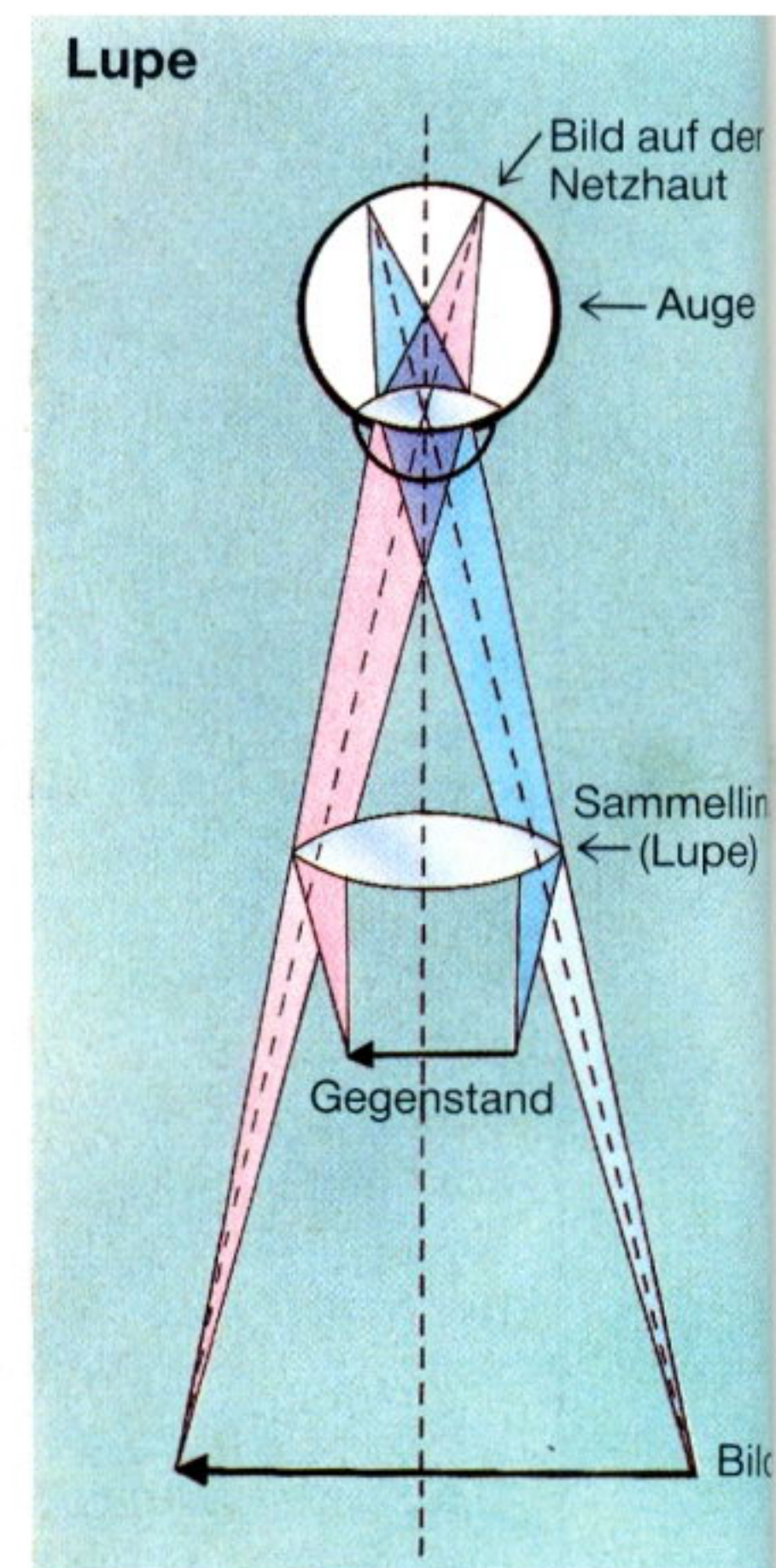
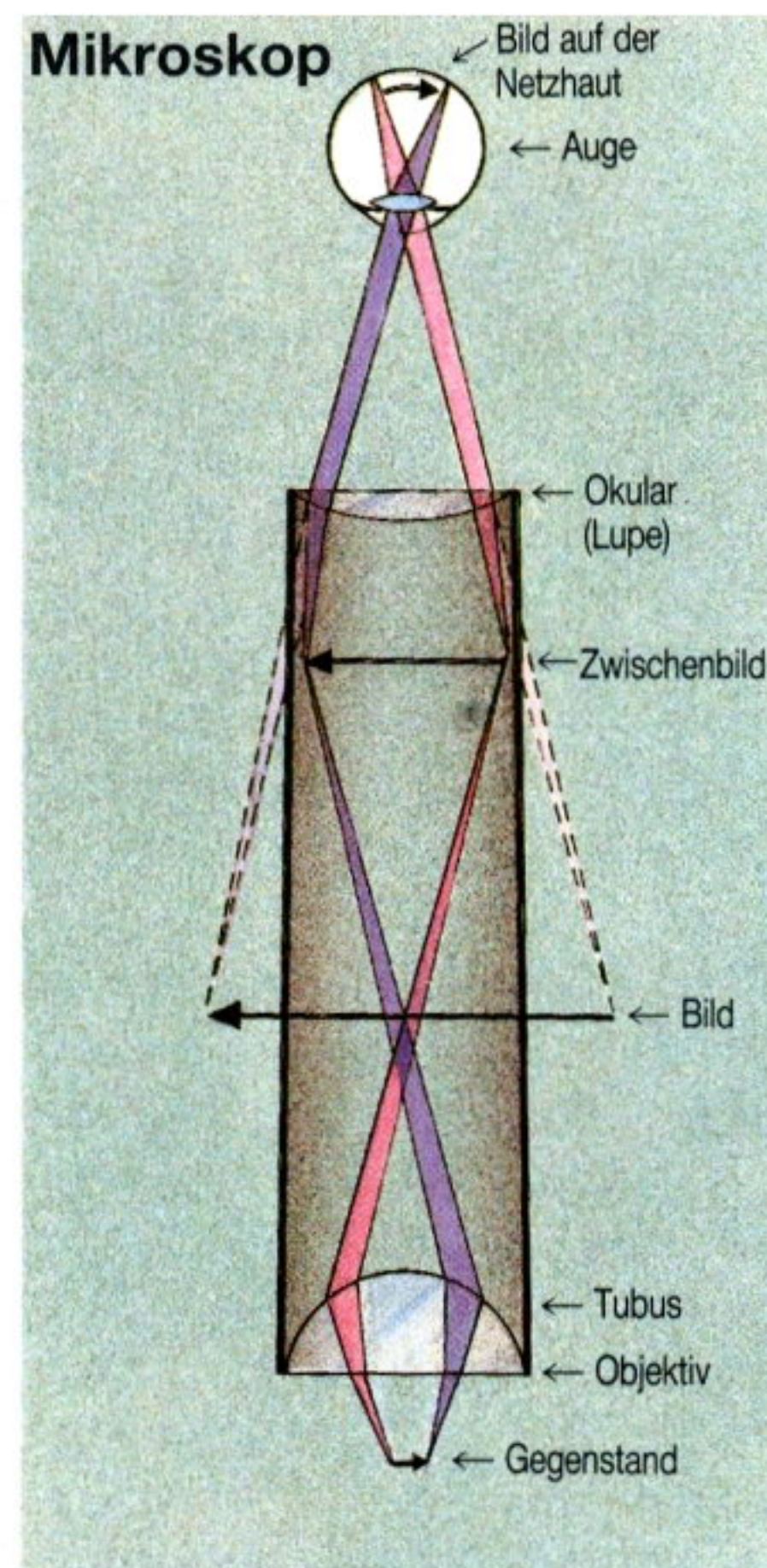
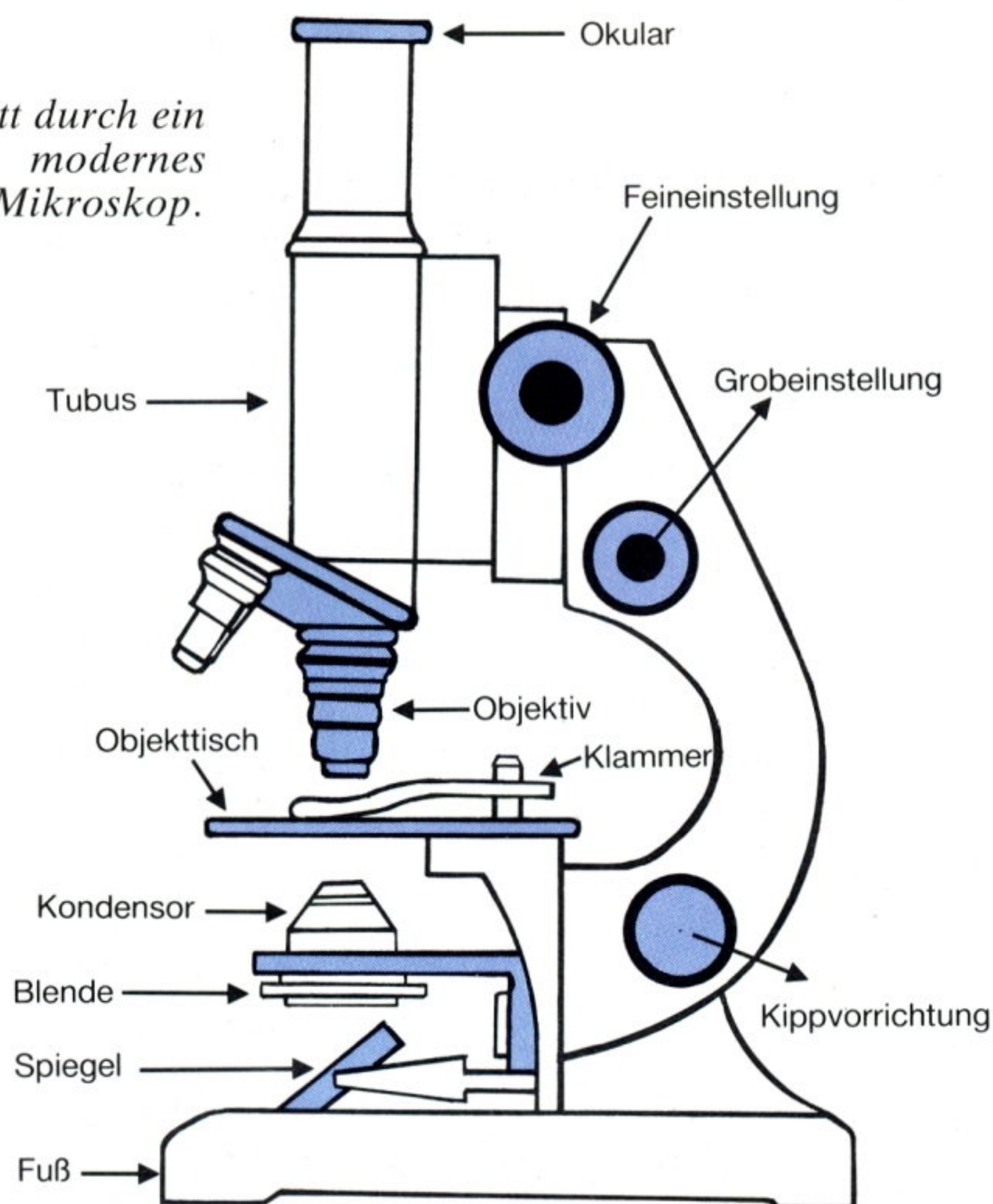
Nur durch dieses Loch darf Licht einfallen. Bei Schachtel 2 sind beide Längsseiten offen. Man schneidet ein Stück Pergamentpapier zurecht und klebt es auf eine der offenen Seiten.

Dann schiebt man Schachtel 2 mit dem Pergamentpapier vorn in Schachtel 1. Man hält sich im Freien am besten im Schatten auf, auch im Zimmer soll es nicht zu hell sein. Das Loch wird auf eine Lichtquelle oder eine helle, sonnige Szene gerichtet. Schiebt man den Pergamentschirm näher an das Loch heran, wird das Bild kleiner, zieht man ihn zurück, wird es größer; es ist kopfstehend und seitenverkehrt.

Ersetzt man das Pergamentpapier durch ein Stück Rollfilm, so kann man die Szene durch Belichten, Entwickeln und Fixieren des Films dauerhaft im Bild einfangen.



*Schnitt durch ein
modernes
Mikroskop.*



Viele Entdeckungen hätten ohne Linsen nicht gemacht werden können, denn ohne Linsen gäbe es kein Mikroskop.

man von einem Linsensystem, wie bei den Objektiven der Fotoapparate. Aus Linsensystemen und auch einzelnen Linsen kann man Geräte wie Mikroskope und Fernrohre zusammensetzen. Das hier abgebildete Mikroskop ist aus zwei Linsensystemen, dem Okular und dem Objektiv, zusammengesetzt. Durch Wechsel von Objektiven und Okularen lassen sich immer stärkere Vergrößerungen erzielen. Mit modernen optischen Mikroskopen erreicht man eine bis zu 2400fache Vergrößerung. Ein Punkt (.) auf dieser Buchseite würde dann in der Größe einer Scheibe von etwa 108 cm Durchmesser erscheinen.

Wer schon versucht hat, mit einem

Das Auge und die Kamera

Vergrößerungsglas ein Bild auf einem Blatt Papier zu erzeugen oder eine Lochkamera (siehe Seite 25) kennt, weiß, daß das Bild durch die Linse auf den Kopf gestellt wird.

In mancher Hinsicht wirkt unser Auge wie eine Kamera. Wir wollen deshalb zunächst eine Kamera betrachten, um besser zu verstehen, was in unserem Auge vor sich geht.

In einer Kamera gibt es vier Hauptteile: erstens die Linse, durch die die Lichtstrahlen gesammelt werden, um ein Bild auf dem Film zu erzeugen. Zweitens den Film, der mit einer lichtempfindlichen Schicht versehen ist und auf dem das Negativbild erzeugt wird, wenn er im Entwicklerbad entwickelt wird. Drittens eine Vorrichtung, mit der sich die einfallende Lichtmenge verändern läßt, damit der Film richtig belichtet wird – die Blende und der Verschuß. Viertens eine Vorrichtung, welche die Entfernung zwischen Linse und Film verändert, um ein scharfes Bild zu erhalten.

Blickt man in einen Spiegel und betrachtet das Auge, sieht man auf einem weißen Hintergrund einen farbigen Ring mit einem schwarzen Kreis in der Mitte. Der farbige Ring ist die Regenbogenhaut oder die Iris. Sie ist blau, grau oder

braun. Der schwarze Kreis in der Mitte ist die Pupille, ein dunkles Loch, durch das das Licht ins Auge fällt.

Hinter der Pupille befindet sich die Augenlinse. Licht, das von einem Punkt ausgeht und durch die Linse in das Auge gelangt, wird auf dem gekrümmten Hintergrund, der Netzhaut, gesammelt; die Netzhaut kann mit dem Film in der Kamera verglichen werden. Die konvexe Augenlinse wird nicht wie die Linse eines Fotoapparates hin und her bewegt, sondern verändert ihre Form; das ge-

schieht mit Hilfe von winzigen Muskeln. Wenn man auf einen entfernten Gegenstand blickt, wird die Augenlinse dünner: Das Bild wird auf der Netzhaut scharf abgebildet. Betrachtet man einen Gegenstand in der Nähe, verdickt sich die Linse: Das Bild ist wieder genau an der gleichen Stelle der Netzhaut scharf. In einem nur spärlich erleuchteten Raum läßt sich beobachten, daß die Pupille sich erweitert hat; im hellen Sonnenschein dagegen ist sie klein. Die Lichtmenge, die durch die Pupille in das

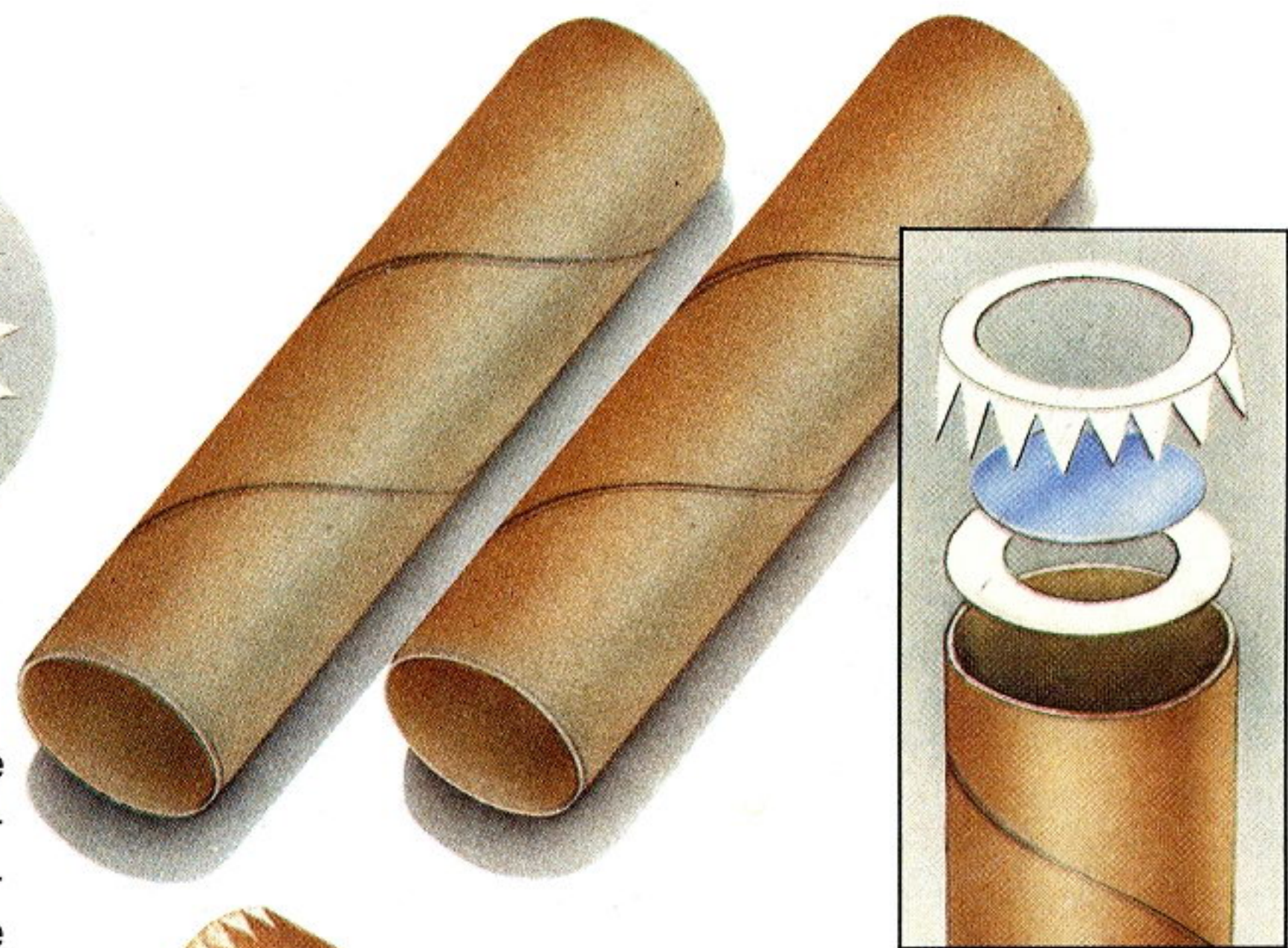
Versuch 9

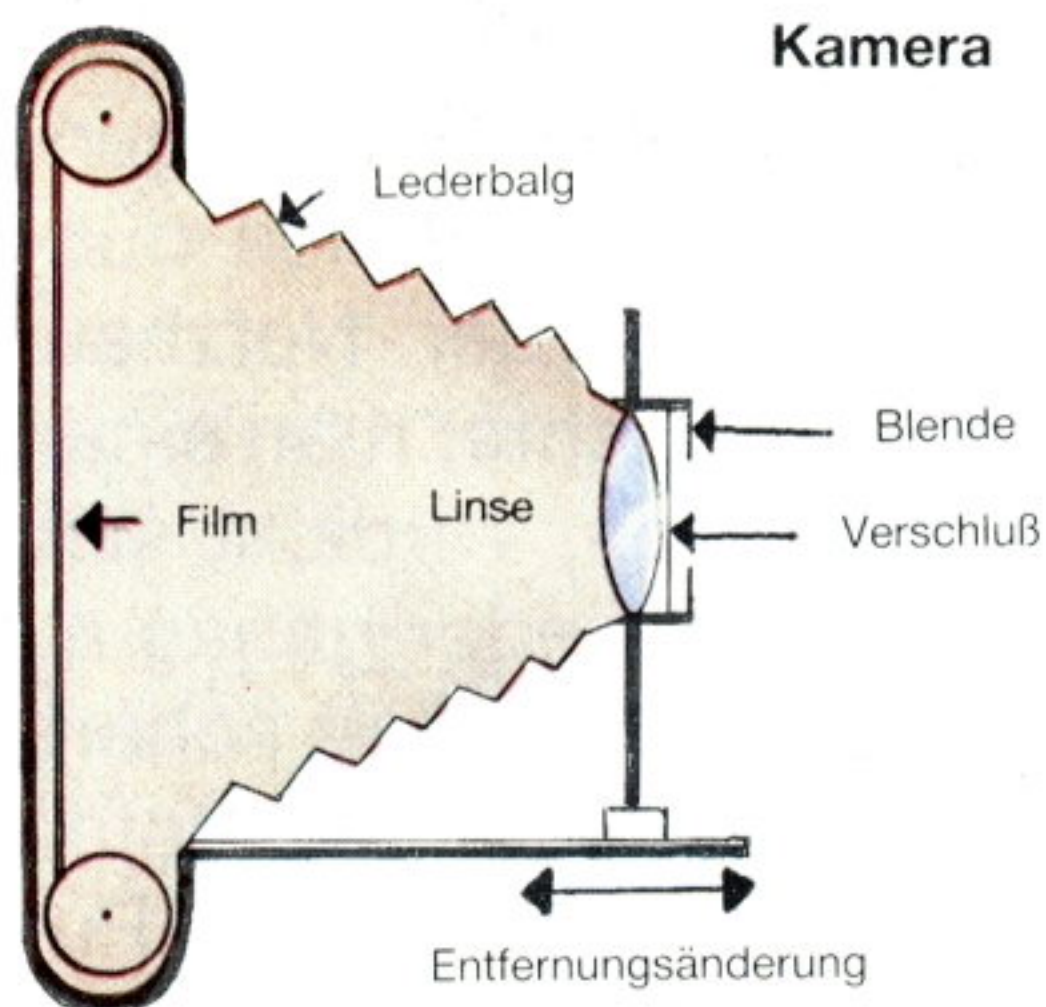


Wie baut man sich ein einfaches Fernrohr?

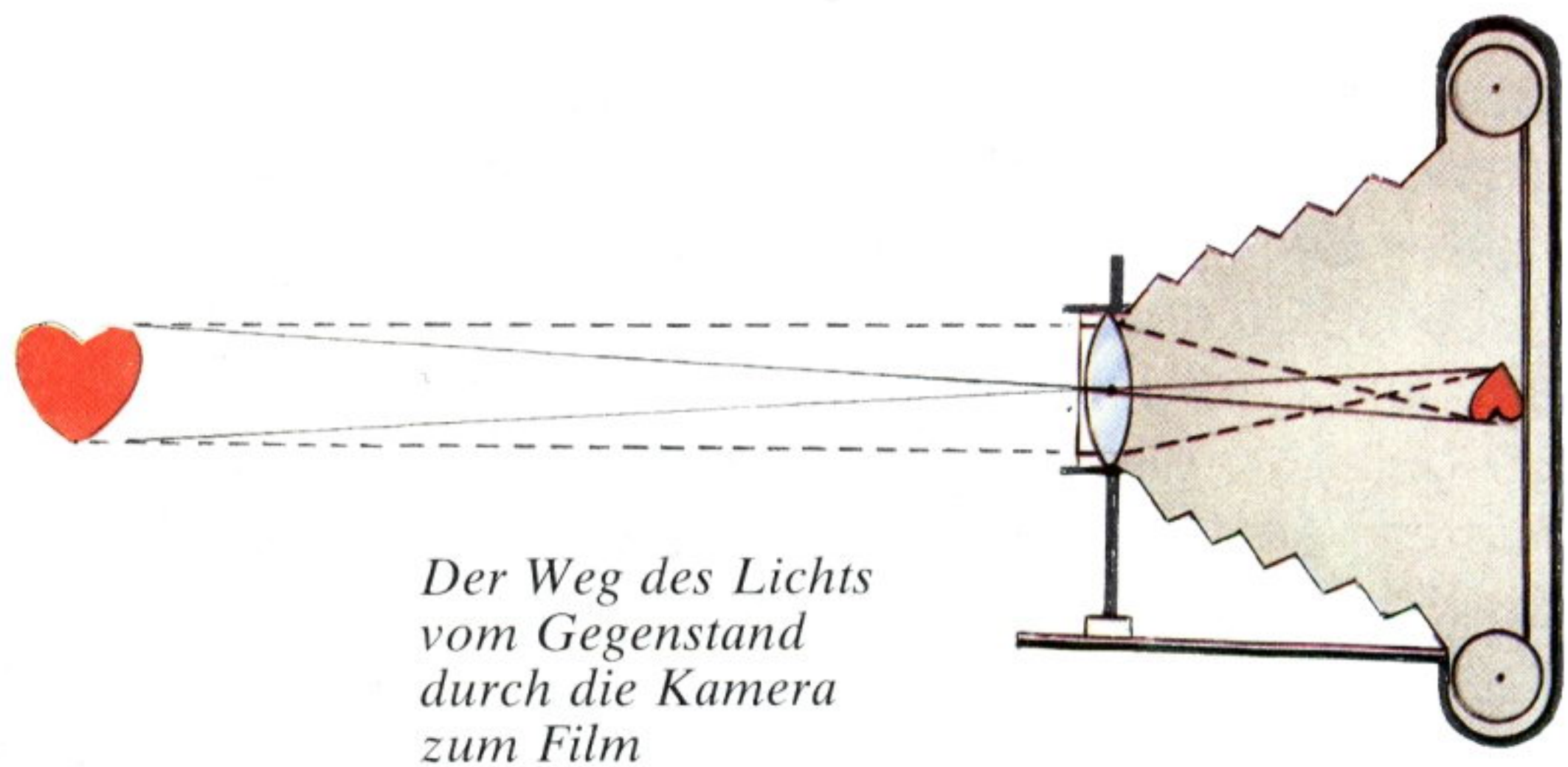
Für ein Fernrohr braucht man zwei Sammellinsen, eine mit großer Brennweite und eine mit kleiner Brennweite, und zwei Pappröhren mit verschiedenem Durchmesser. Man kann den Durchmesser einer Pappröhre verkleinern, indem man sie aufschneidet, ein Stück wegnimmt und die neuen Kanten wieder zusammenklebt. Die kleinere muß in die größere passen und sich gut hin- und herschieben lassen.

Falls die Öffnungen der Pappröhren größer als die Linsen sind, schneidet man zwei kreisrunde Pappstücke aus, die genau in die Öffnungen passen. Eine davon versieht man mit Klebelaschen, wie auf der Abbildung gezeigt. Dann legt man die Linse in die Mitte der Pappstücke, zieht eine Kreislinie um die Linse und schneidet nun danach ein Loch in die Pappe, das etwas kleiner ist als die Linse. Die Linse wird zwischen den Pappstücken eingeklemmt und die Laschen umgknickt und festgeklebt. Dann setzt man die Linse mit dem Papprand in die Pappröhre ein und klebt einen Klebestreifen herum. Ebenso verfährt man mit der zweiten Linse, die an einer Öffnung der zweiten Pappröhre befestigt wird. Die richtige Länge der beiden Röhren hängt von der Stärke der Linsen ab und läßt sich durch Ausprobieren feststellen. Am besten beginnt man mit Röhren von 45 cm Länge und schneidet etwa 5 cm ab, falls sie zu lang sind. Man hält die Linse mit der kleineren Brennweite vor das Auge und richtet das Fernrohr auf einen etwa 30 bis 50 m entfernten Gegenstand. Dann bewegt man sie vor und zurück, bis man ein vergrößertes Bild des Gegenstands sieht.

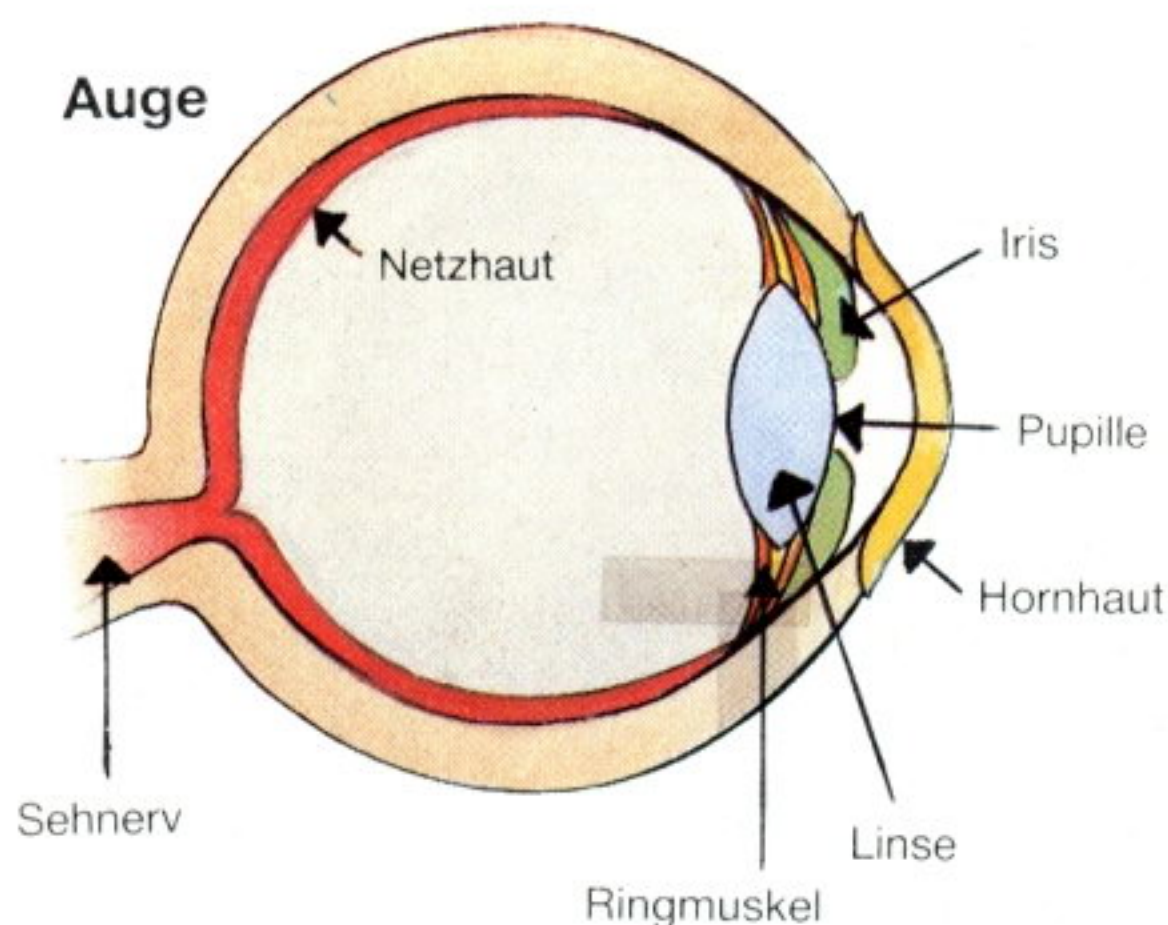




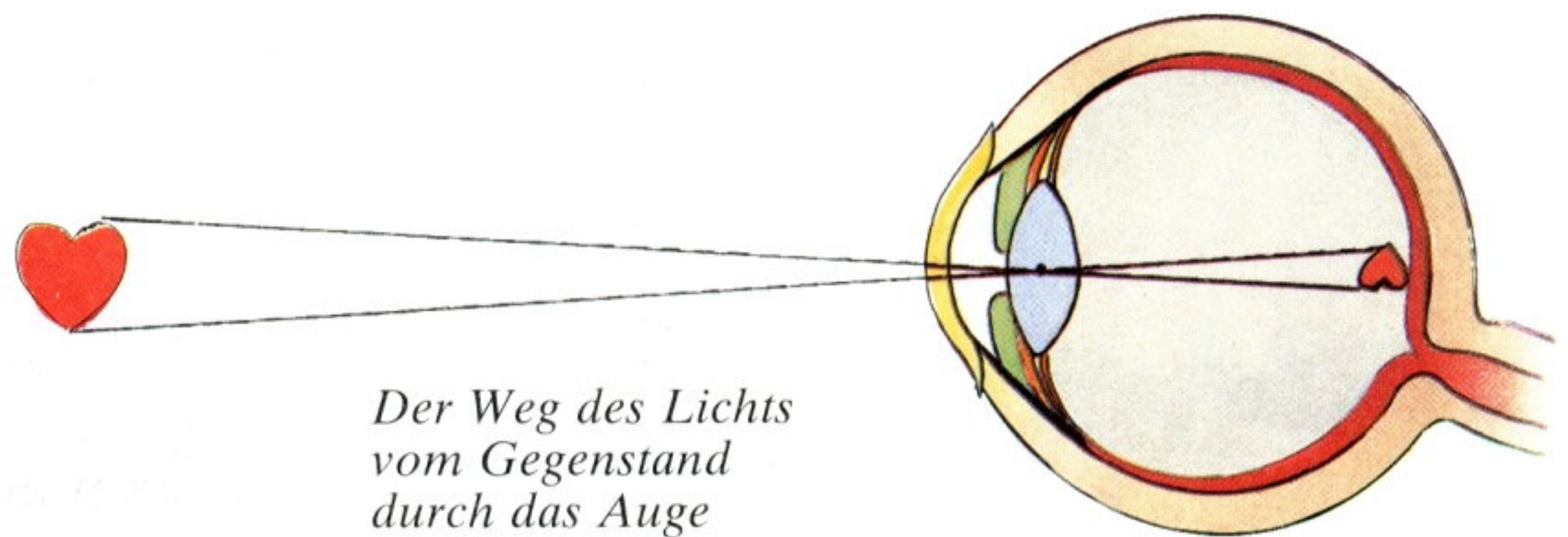
Schärfeneinstellung durch Verschiebung der Linse



Der Weg des Lichts vom Gegenstand durch die Kamera zum Film



Schärfeneinstellung durch Verformung der Linse durch den Ringmuskel



Der Weg des Lichts vom Gegenstand durch das Auge zur Netzhaut

Auge und Kamera haben vieles gemeinsam und wirken in mancher Weise sehr ähnlich. Die Abbildungen zeigen die miteinander vergleichbaren Teile von Auge und Kamera und ihre Wirkungsweise.

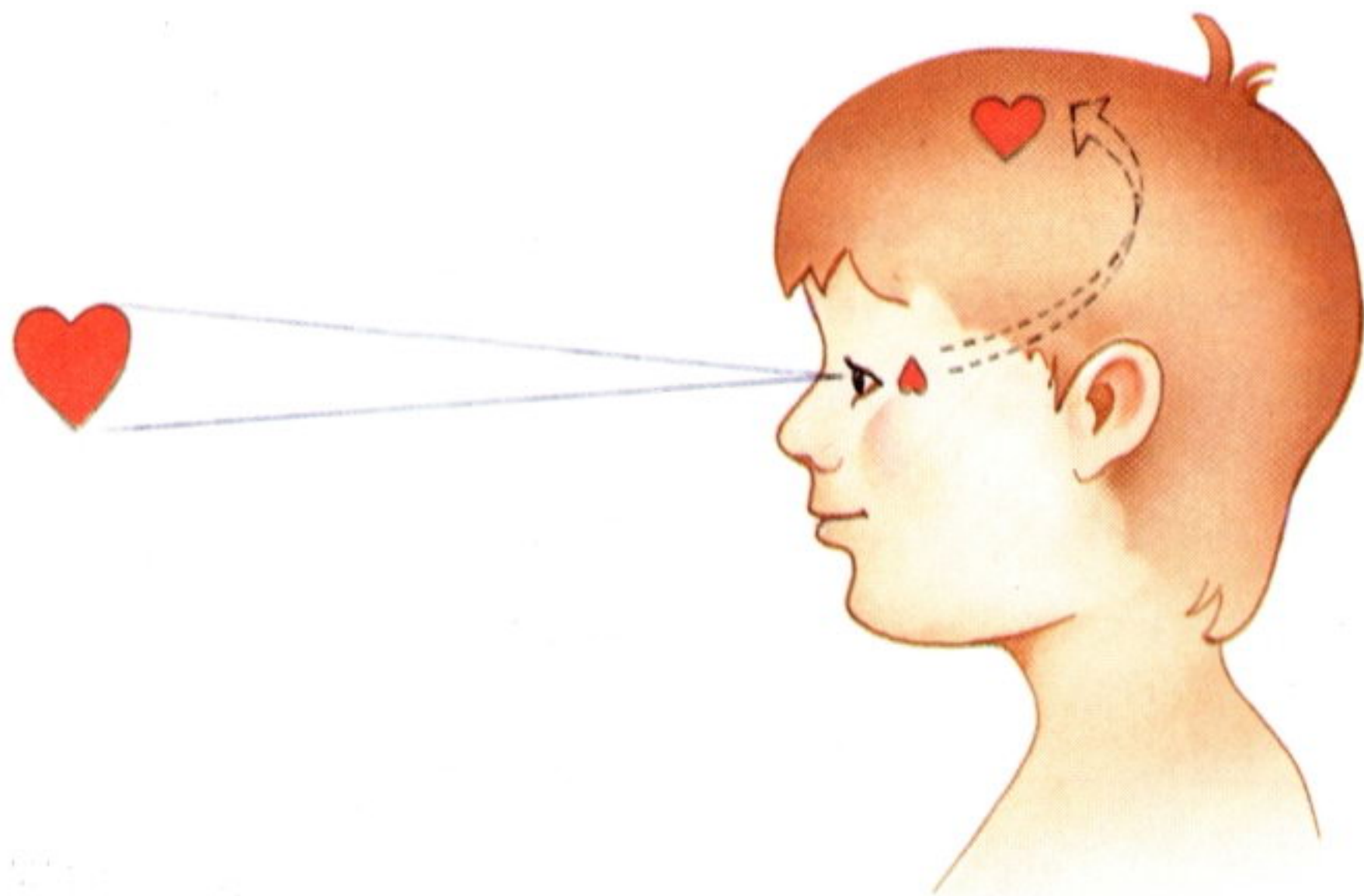
Auge eintritt, wird durch die Regenbogenhaut geregelt, in die zwei ringförmige Muskeln eingelagert sind. Sie wirkt wie die Blende eines Fotoapparats. Würde zu viel Licht durch die Pupille eindringen, würde die Netzhaut beschädigt, zu wenig Licht aber würde das Sehen unmöglich machen. Bei hellem Licht zieht sich die Regenbogenhaut darum über die Pupille, bei dunklem Licht geht sie zurück, damit die Pupille weit geöffnet ist und soviel Licht wie möglich eindringen kann.

Das menschliche Auge und ein Fotoapparat funktionieren also sehr ähnlich: Beide erzeugen ein verkleinertes, umgekehrtes Bild. Doch es besteht ein wesentlicher Unterschied: Das Auge gibt das Bild an das Gehirn weiter, während das Bild in der Kamera auf dem Film

bleibt und entwickelt wird. Ist der Film entwickelt, dreht man ihn einfach um, und man kann das Bild richtig herum sehen. Betrachten wir etwas mit unseren Augen, sehen wir es aufrecht. Tatsächlich aber lassen unsere Augen ein umgekehrtes, verkleinertes Bild auf der Netzhaut entstehen. Wir sehen die Gegenstände nur aufrecht, weil wir von frühester Kindheit an durch Betasten der Gegenstände daran gewöhnt sind, unsere *Wahrnehmung* mit dem Auge richtig zu deuten. Aus Erfahrung sehen wir die Dinge, wie sie wirklich sind. Dies ist einzig und allein die Leistung unseres Gehirns, das deutet, was der Sehnerv ihm übermittelt.

Wie weit unser Gehirn „richtigstellt“, was unsere Augen wahrnehmen, wurde vor vielen Jahren von einem Schweizer

Wissenschaftler gezeigt. Er machte einen Versuch mit mehreren Personen, die Brillen besonderer Art trugen. Diese Brillen hatten konvexe Linsen, die wie die Linse einer Kamera das Bild des Gegenstandes umkehrten. Die Augen kehrten das auf dem Kopf stehende Bild wieder um, und auf diese Weise entstand auf der Netzhaut ein aufrechtes Bild. Als die Versuchspersonen die Spezialbrillen zu tragen begannen, empfand das ans Umkehren gewöhnte Gehirn das auf der Netzhaut entstandene aufrechte Bild als umgekehrt. Auf diese Weise sahen die Versuchspersonen die Gegenstände auf dem Kopf stehen. Nachdem sie jedoch die Brillen einige Wochen lang ständig getragen hatten, sahen sie wieder alles „richtig“, so als trügen sie keine Brillen. Das Gehirn hatte sich den veränderten Verhältnissen



Wie in der Kamera wird der Gegenstand auf der Netzhaut des menschlichen Auges kopfstehend abgebildet. Wir sind es gewohnt und empfinden es nicht als umgekehrt.

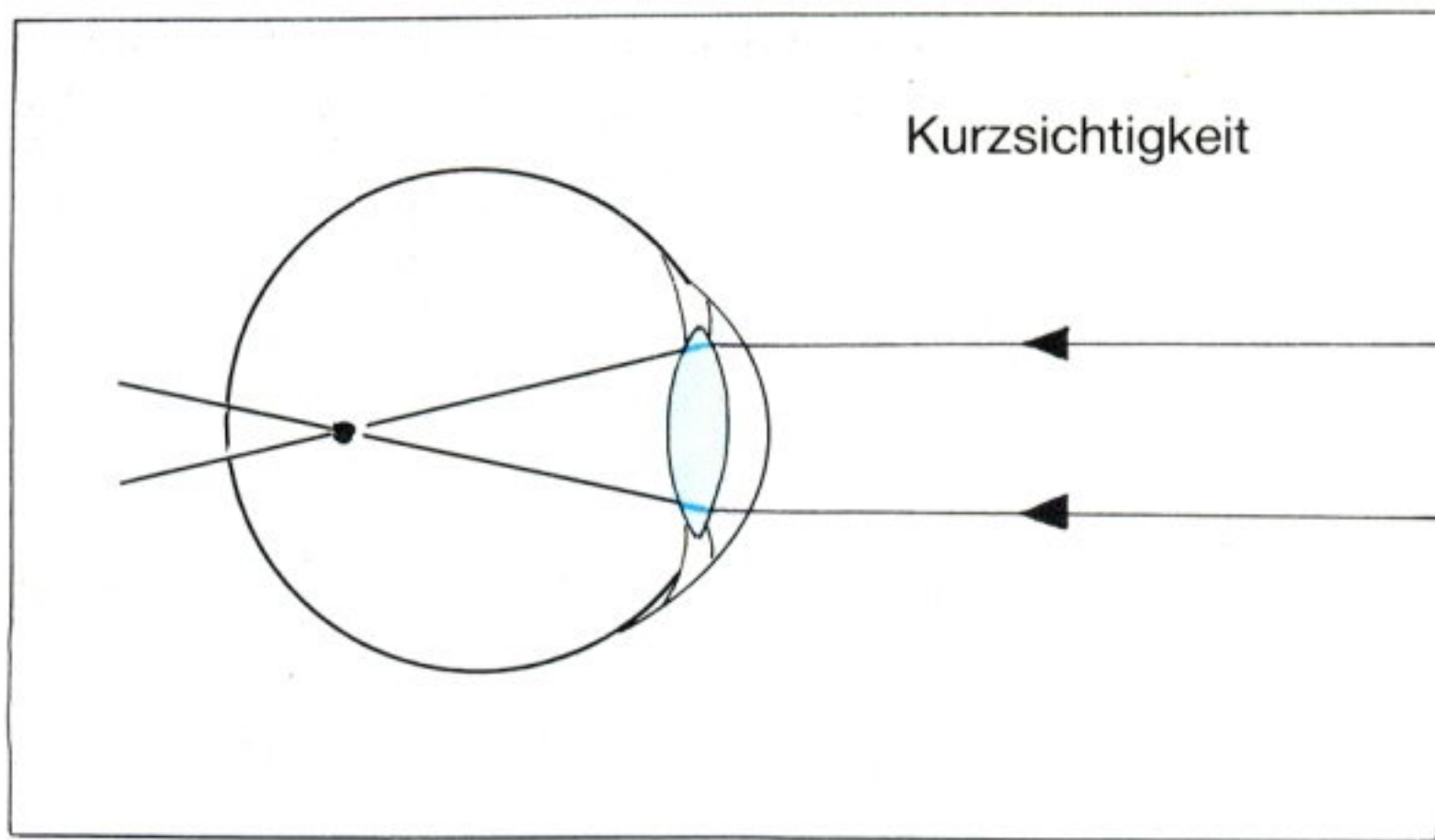
angepaßt. Als die Leute dann keine Brillen mehr trugen, sahen sie die Dinge umgekehrt, da sich das Gehirn nun an das durch die Spezialbrille umgekehrte Bild gewöhnt hatte. Nach einiger Zeit hatte das Gehirn sich wieder angepaßt, und die Personen sahen wieder normal.

Blickt man auf einen entfernten Gegenstand, so entwirft das Auge mit Hilfe der Augenlinse ein scharfes Bild auf der Netzhaut. Kommt der Gegenstand näher, muß sich die Form der Linse ändern, andernfalls würden sich die vom Gegenstand ausgehenden Lichtstrahlen hinter der Netzhaut vereinigen. Mit anderen Worten, das Bild würde hinter der Netzhaut entstehen und unscharf sein.

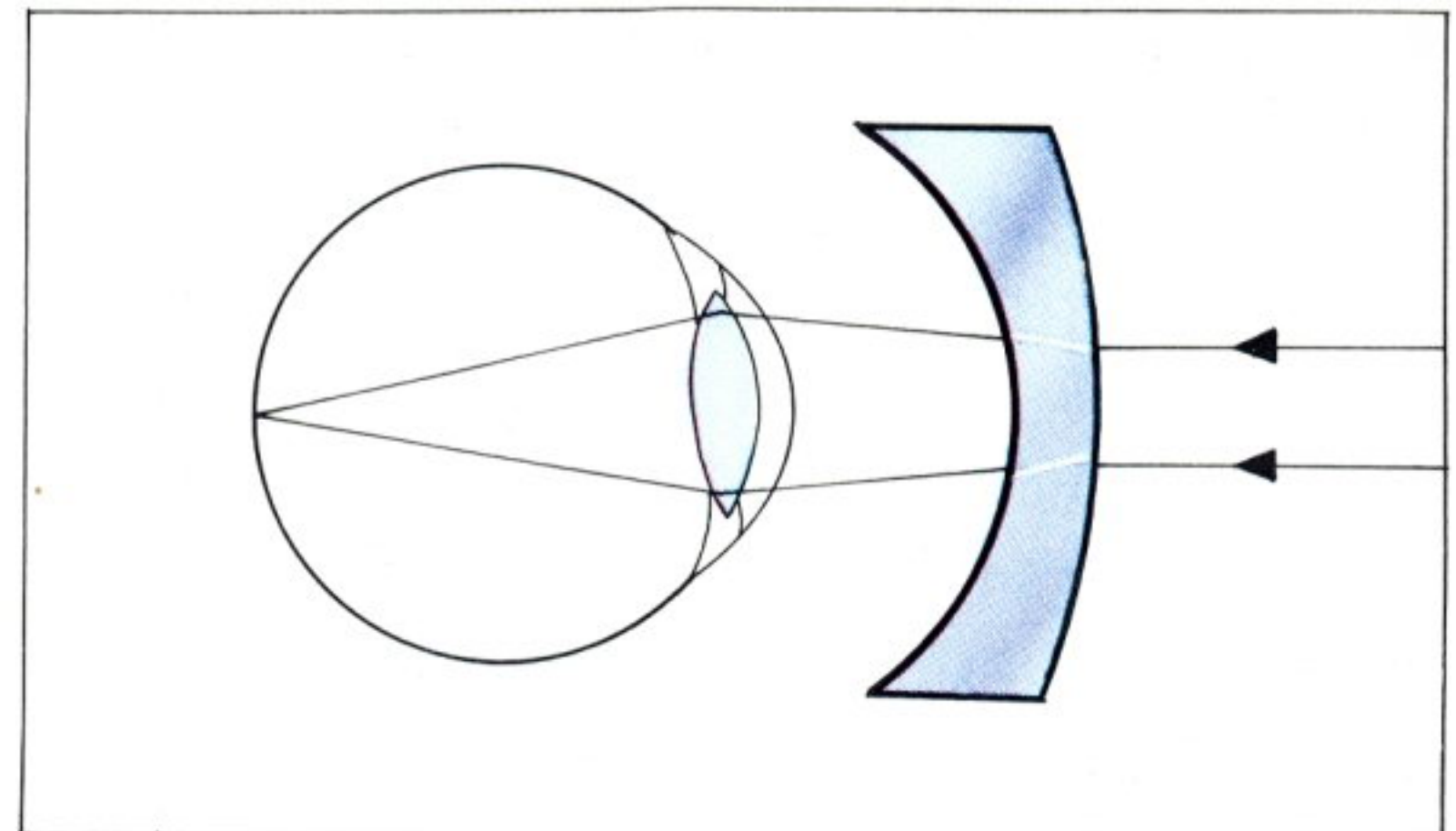
Warum tragen manche Leute eine Brille?

In der Ruhe und beim Sehen in die Ferne sind die Fasern der Muskelringe um die Linse straff gespannt; die Linse wird dadurch abgeflacht. Beim Sehen in der Nähe zieht sich der Muskelring zusammen, die Fasern entspannen sich, und die elastische Linse zieht sich nun auch zusammen; dabei krümmt sich vor allem die vordere Linsenfläche stark. Die Linse wird also in der Mitte dicker.

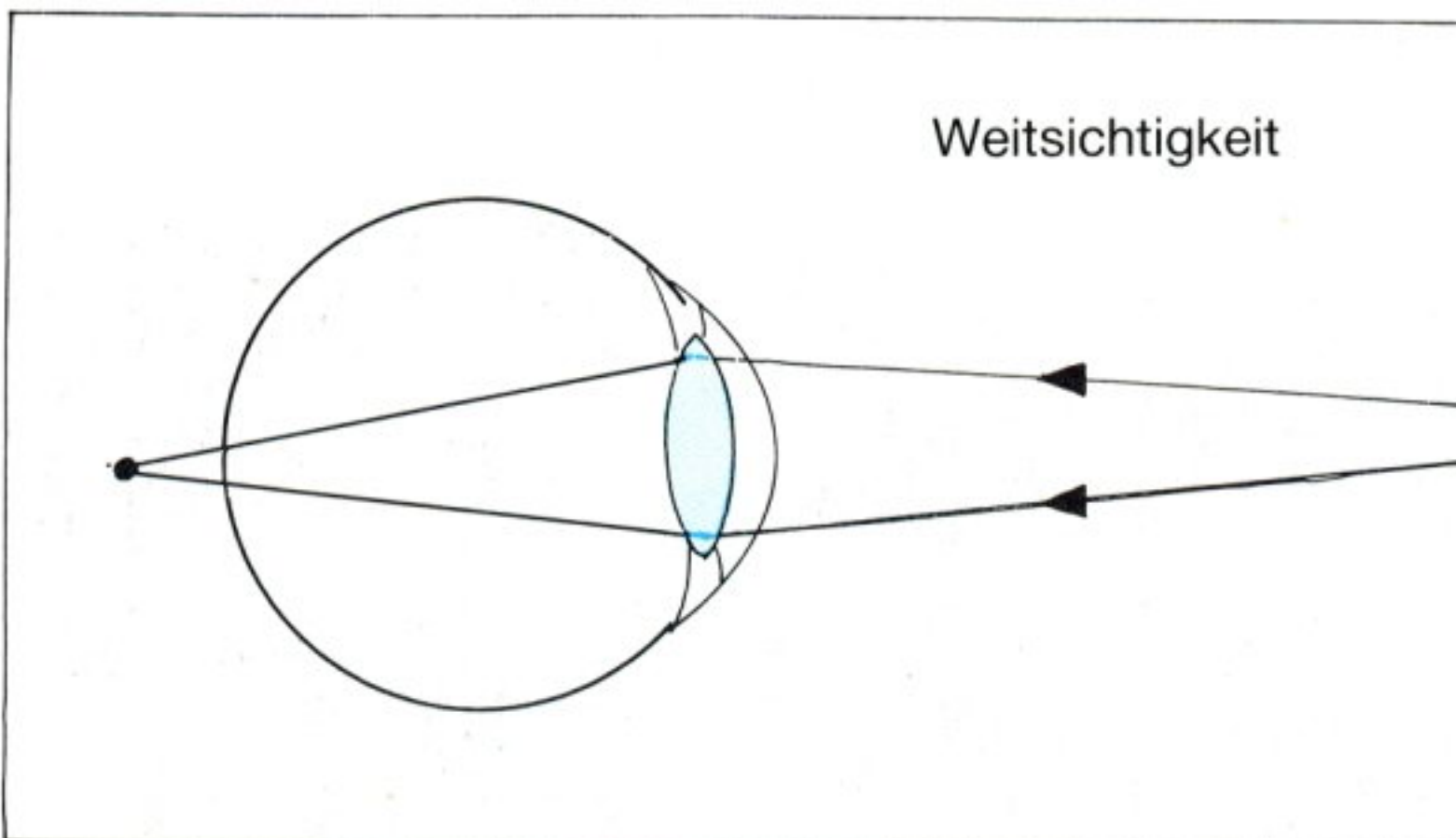
Sind die Augenmuskeln zu stark oder nicht kräftig genug oder ist die Linse zu sehr oder zu wenig gekrümmt, oder ist der Augapfel zu lang oder zu kurz, kann das Auge sich nicht richtig auf die Entfernung des betrachteten Gegenstandes einstellen. Man sagt auch, seine *Akkommodation* ist nicht ausreichend. Ist die Augenlinse von Natur aus zu stark gekrümmt, können weiter entfernte Gegenstände nicht mehr scharf abgebildet werden; das Bild liegt vor der Netzhaut. Man spricht von *Kurzsichtigkeit*. Ist die Linse nicht genügend gekrümmt, entsteht das Bild hinter der Netzhaut, nahe Gegenstände sind nicht scharf abgebildet. Diesen Zustand nennt man *Weitsichtigkeit*. Diese Sehfehler können berichtigt werden, indem man eine optische Linse zwischen Auge und Gegenstand einschiebt, die Brille. Die Art der Linse hängt davon ab, ob und wie stark jemand kurz- oder weitsichtig ist.



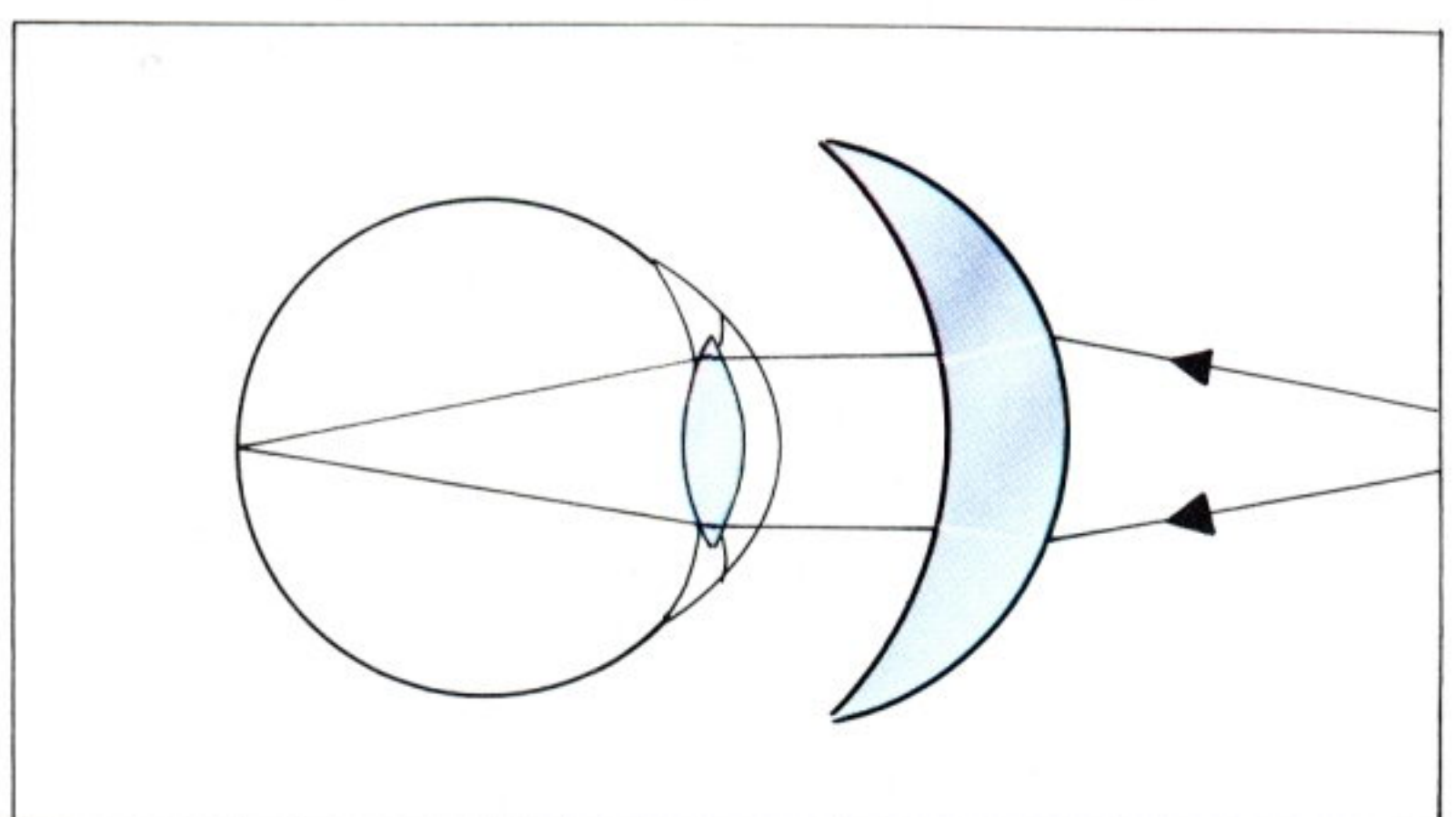
Das Bild wird vor der Netzhaut erzeugt.



Zerstreuungslinse korrigiert Kurzichtigkeit.



Das Bild wird hinter der Netzhaut erzeugt.



Sammellinse ermöglicht scharfes Sehen.

Bei vielen Sehfehlern korrigiert eine optische Linse die fehlerhafte Funktion der Augenlinse. Der Weitsichtige benötigt eine Sammellinse, der Kurzsichtige eine Zerstreuungslinse.

In der Netzhaut sitzen Nervenenden, die Reize oder Impulse empfangen, wenn Licht ins Auge fällt. Die zu den Nervenzellen im Gehirn führenden Nervenfasern sammeln sich im hinteren



Augapfel zum Sehnerv, der die Reize an das Gehirn sendet. An der Stelle, wo der Sehnerv in die Netzhaut eintritt, gibt es keine Nervenenden. Dort ist die Netzhaut für das Licht nicht empfindlich; darum nennt man sie den „blinden Fleck“. Mit Hilfe der Zeichnung kann man sich selbst vom blinden Fleck überzeugen.

Wie man den blinden Fleck nachweist

Man schließt das linke Auge und hält diese Buchseite mit ausgestrecktem Arm, so daß sich das Kreuz genau vor dem rechten Auge befindet. Aus dem rechten Augenwinkel sieht man auch die schwarze Scheibe. Wenn man nun die Entfernung zwischen Auge und Buchseite langsam verringert, verschwindet sie plötzlich für einen Augenblick. In dieser Entfernung fällt das Bild der schwarzen Scheibe gerade auf die Austritts-

stelle des Sehnervs, wo es keine lichtempfindlichen Sehzellen gibt. Diese Stelle heißt daher der blinde Fleck. Wird der Abstand zwischen Auge und Kreuz noch mehr verringert, erscheint die schwarze Scheibe wieder. Ist der Abstand zwischen rechtem Auge und Buchseite noch kleiner, verschwindet plötzlich auch der Stern, weil von ihm keine Lichtstrahlen mehr ins Auge gelangen.



Wir müssen uns klarmachen, daß das,

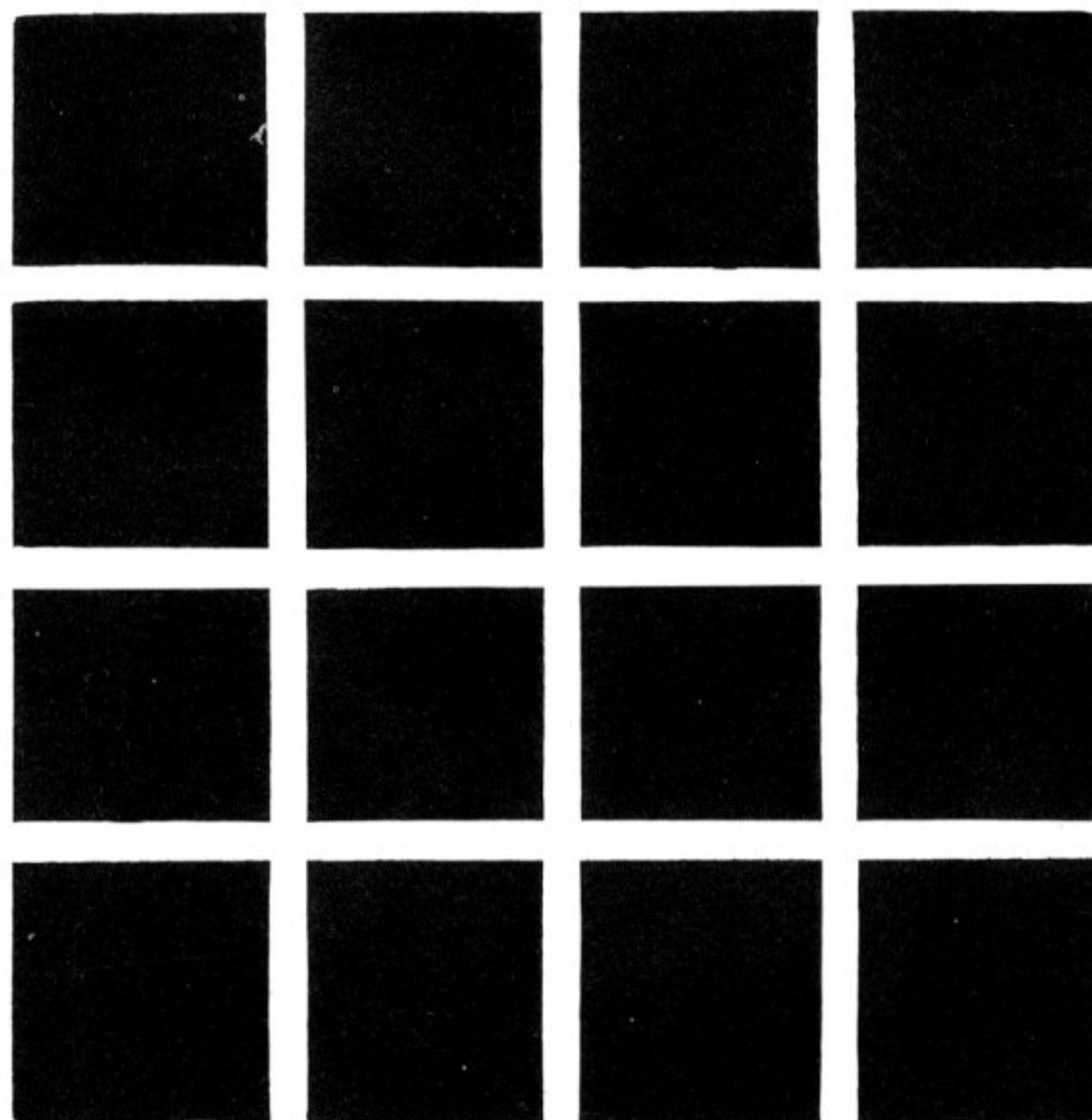
Was ist ein Nachbild?

was wir „sehen“, uns erst von unserem Gehirn vermittelt wird. Das dauert länger, als die Lichtstrahlen brauchen,

um von einem Gegenstand aus unser Auge zu erreichen – wir wissen, daß die Geschwindigkeit des Lichts unvorstellbar groß ist. Die von der Netzhaut aufgenommenen Lichteindrücke werden in Nervenreize umgesetzt und durch den Sehnerv an das Gehirn übermittelt. Diese Reize werden ebenfalls in sehr kurzer Zeit weitergeleitet, sie brauchen nur den Bruchteil einer Sekunde vom Auge zum Gehirn. Aber in dieser kurzen Zeit kann sich das Auge schon auf einen anderen Gegenstand eingestellt haben, und neue Reize von der Netzhaut empfangen. Die Reizempfindungen in den Sehnervenzellen des Gehirns brauchen einige Zeit, und es dauert etwas, bis die Zellen sich wieder so weit erholt haben, daß sie einen neuen

Reiz aufnehmen können. So läßt uns das Gehirn etwas sehen, das ein wenig von dem abweicht, worauf unsere Augen gerade gerichtet sind.

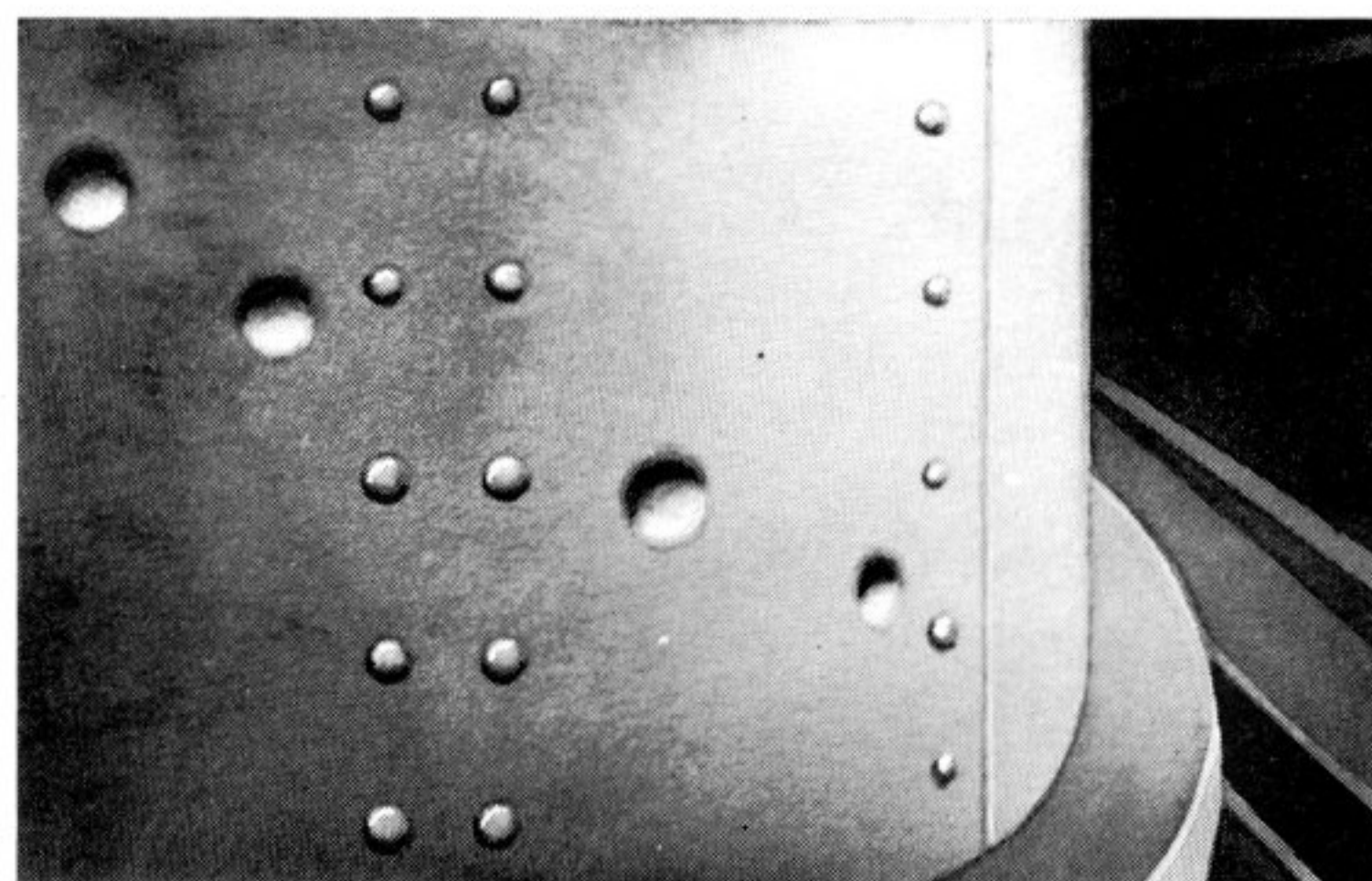
Machen wir doch selbst einen Versuch, indem wir auf das obere Bild sehen. Blicken wir ein oder zwei Minuten lang unverwandt auf die Zeichnung, wenden dann schnell den Kopf ab und schauen auf eine helle, weiße Wand. Jetzt sehen wir die Zeichnung auf der Wand. Das nennt man ein Nachbild.



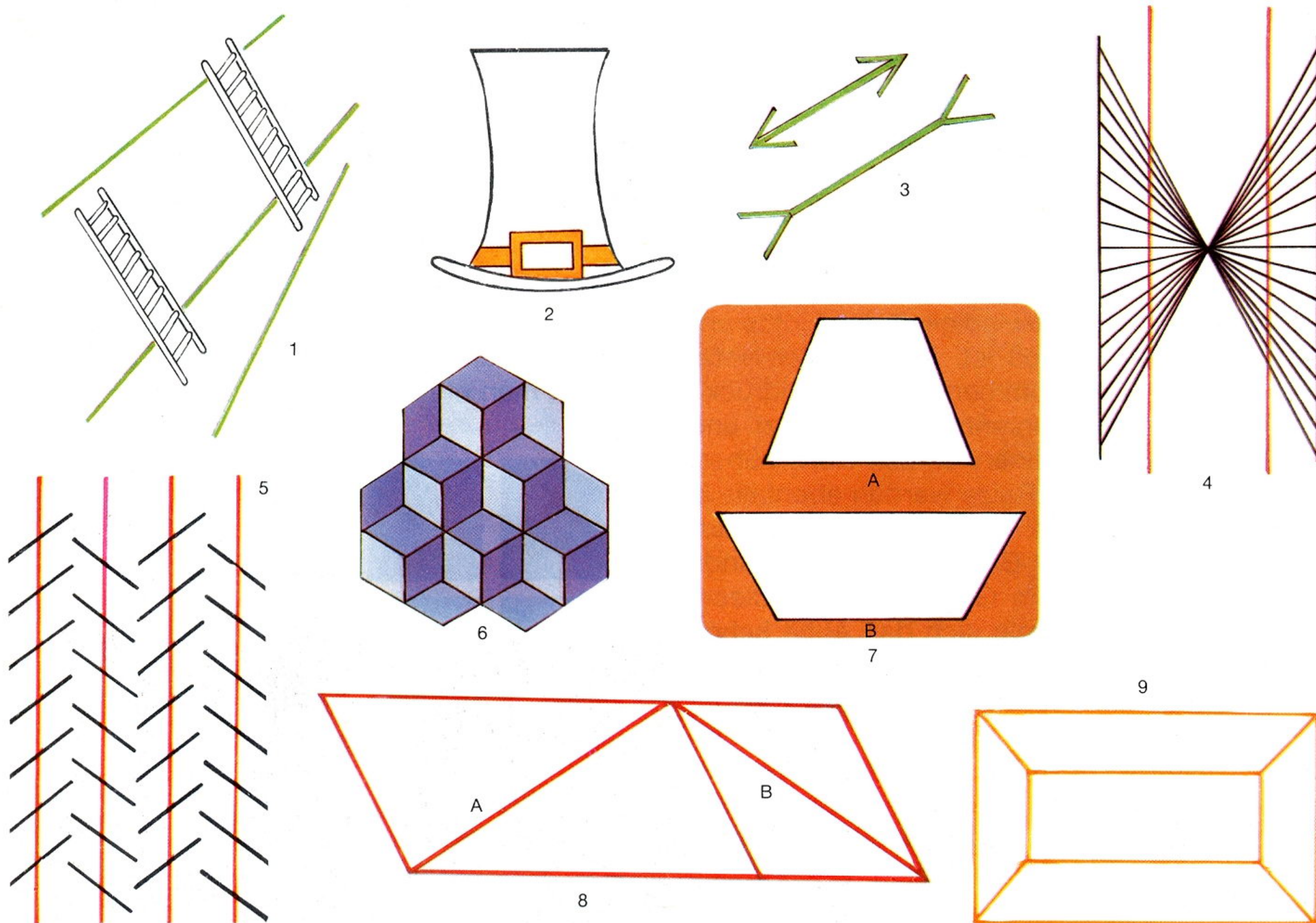
Sieht man sich dieses Bild genauer an, bemerkt man dort, wo sich die weißen Streifen kreuzen, flimmernde Schatten. Das ist eine optische Täuschung, die dadurch verursacht wird, daß die von den Schnittpunkten entfernten weißen Stellen von mehr Schwarz umgeben sind und durch den Kontrast heller aussehen.



Betrachtet man dieses Bild eine Weile und blickt dann auf eine helle Wand, nimmt man es noch wahr. Das ist ein Nachbild.



Stellt man dieses Bild auf den Kopf, verringert sich die Zahl der Niete und die flachen Löcher sind in der Überzahl.



Bekannte optische Täuschungen

In allen Zeichnungen sind Eigenschaften, die wir zu sehen glauben, nicht wirklich da. Jeder kann sich selbst prüfen und feststellen, wie er abschneidet.

1. Welche Leiter ist länger? Oder sind beide gleich lang? 2. Ist der Hut ebenso breit wie hoch? 3. Diese Linien sehen verschieden lang aus. Sind sie es wirklich? 4. Sind die beiden roten Linien in der Mitte gebogen oder sind sie gerade? 5. Die senkrechten Linien sehen nicht parallel aus. Wie sind sie wirklich? 6. Zähle die Würfel und betrachte sie dann noch eine Weile weiter. Wie viele sind es nun? 7. Ist die Gerade A länger als die Gerade B? 8. Vergleiche die Länge der Diagonalen A und B. Welche ist länger? 9. Betrachte das innere Rechteck. Scheint es sich nach hinten oder nach vorn zu verschieben?

Mit einem Lineal lassen sich die Antworten schnell finden. Die Augen können uns täuschen.

Als optische Täuschung bezeichnet

Trügen unsere Augen uns?

man etwas, das wir mit unseren Augen sehen, von dem wir jedoch wissen, daß es so nicht stimmt. Ein Beispiel ist die Größe des Mondes, wenn er über dem Horizont steht (siehe Seite 16).

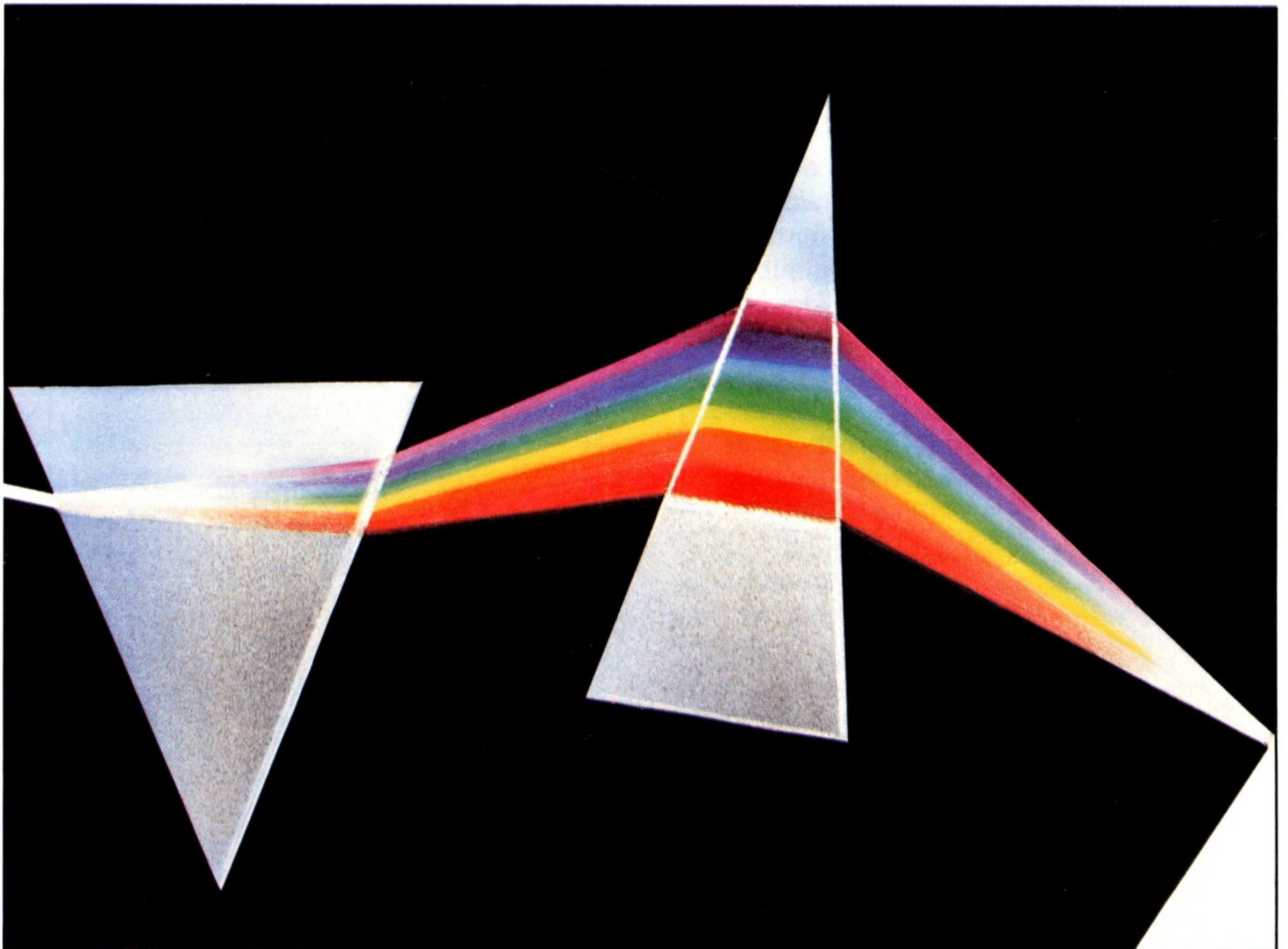
Die Zeichnungen oben zeigen einige optische Täuschungen, die verschiedene Ursachen haben. Sie täuschen, weil wir durch unsere Erfahrungen gewohnt sind, etwas anderes wahrzunehmen als das, was wirklich auf der Abbildung gezeigt ist. Man kann mit dem Lineal nachprüfen, ob die Linien gerade sind, aber ohne Lineal fällt man wieder auf die Täuschung herein.

Licht und Farbe

Was ist „weißes“ Licht?

Es ist mehr als 300 Jahre her, seit der Mensch zum ersten Mal in die Geheimnisse der Naturfarben eindrang. Dem englischen Naturforscher Isaac Newton, der im Jahre 1666 Versuche mit einem Prisma machte, verdanken wir viel von dem, was wir heute über Farben wissen. Newton kaufte sich auf einem Jahrmarkt ein kleines Prisma. Solche Prismen wurden wegen des schönen Farbenspiels, das

sie geben, schon seit längerer Zeit als Spielerei hergestellt. Newton war der erste, der diese Erscheinung untersuchte. Er machte einen einfachen Versuch. Zunächst bohrte er in den Fensterladen seines Zimmers ein Loch, durch das ein Sonnenstrahl ins verdunkelte Zimmer fiel. Diesen Strahl ließ er durch sein Prisma gehen und dann auf einen Schirm fallen. Er sah, daß sich der weiße Lichtstrahl zu einem breiten, waagerechten Band auseinanderzog, und dieses Band war nicht weiß, sondern bestand aus Streifen in den Farben des Regenbo-



So wies Isaac Newton im Jahre 1666 nach, daß weißes Licht aus farbigem Licht besteht: Weißes Licht, das auf das erste Prisma trifft, wird in die Farben des Regenbogens aufgespalten. Ein zweites, umgekehrt stehendes Prisma vereinigt die Farben wieder zu weißem Licht.

gens Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett. Wir nennen dieses Band von farbigem Licht heute *Spektrum*, die einzelnen Farben *Spektralfarben*.

Newton entdeckte bei seinem Versuch noch zwei weitere wichtige Tatsachen. Zunächst stellte er fest, daß sich keine Farbe des Spektrums in andere Farben zerlegen ließ, wie es beim weißen Licht möglich gewesen war. Newton fand ferner heraus, daß sich das farbige Licht beim Durchgang durch ein zweites, diesmal umgekehrtes Prisma wieder zum weißen Licht zusammenschloß.

Als Newton sich mit den Farben be-

**Wie stellte sich
Newton die
Natur des
Lichtes vor?**

schäftigte, kam er auch auf die Frage nach der Natur des Lichtes. Er stellte sich das Licht als aus kleinen Teilchen bestehend vor, die von der Lichtquelle ausgehen und sich durch den Raum bewegen. Er nannte diese Teilchen „Korpuskeln“ und glaubte, für die verschiedenen Farben des Lichts

gäbe es verschiedene Arten von Korpuskeln. Die eine erzeuge rotes, eine andere blaues, wieder eine andere grünes Licht und so weiter. Seine Theorie über die Natur des Lichtes wurde als „Korpuskulartheorie“ bekannt. Sie erklärte die Tatsache, daß Licht sich geradlinig ausbreitet, reflektiert und gebrochen werden kann.

Etwa zur gleichen Zeit wie Newton beschäftigte sich auch der holländische Naturforscher Christian Huygens mit dem Licht. Dabei kam er zu dem Schluß, Licht breite sich in regelmäßigen Schwingungen nach allen Seiten aus, so wie Wellen, die entstehen, wenn man einen Stein ins Wasser wirft.

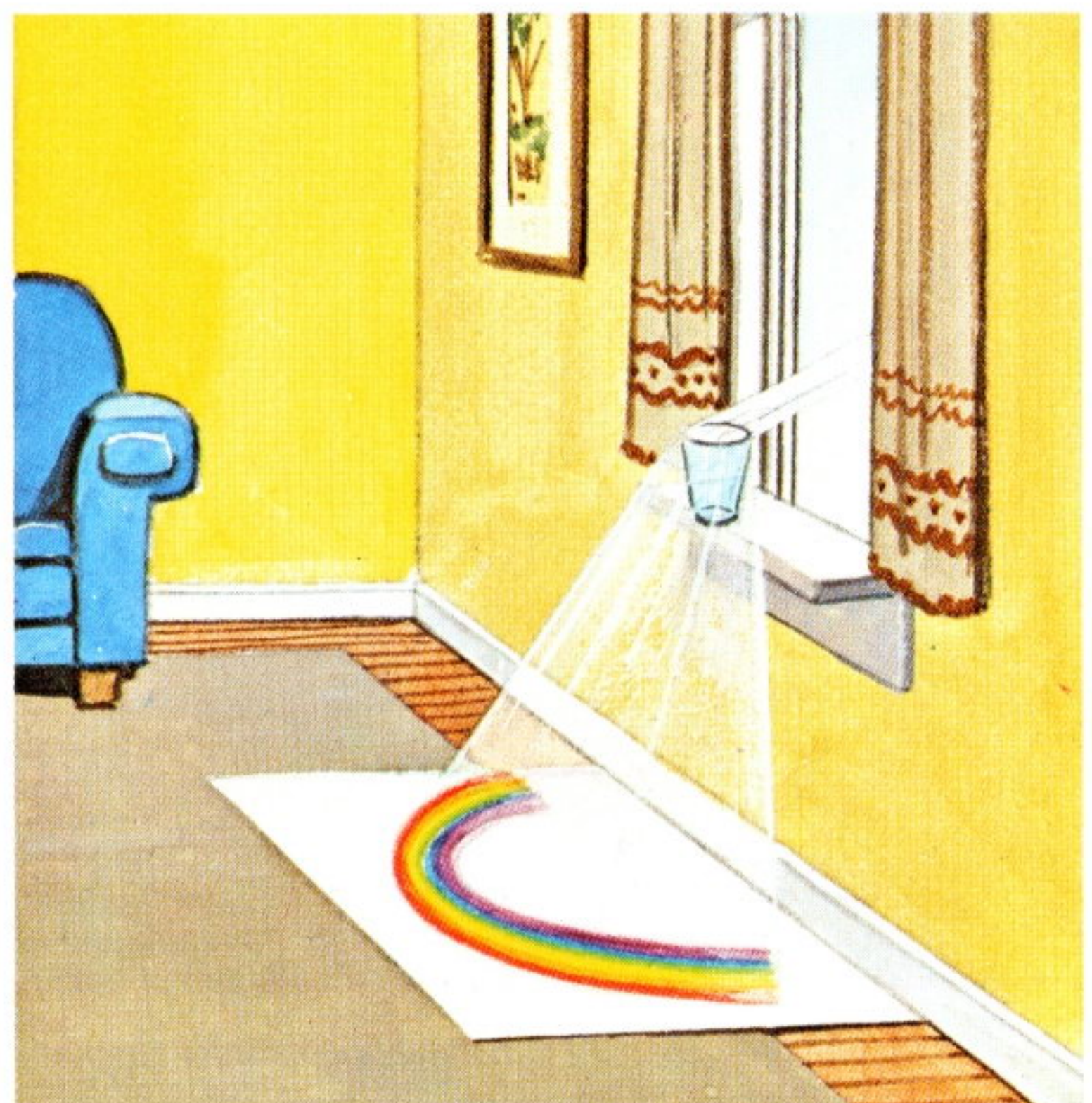
Obwohl Huygens Wellentheorie viele Eigenschaften wie Brechung und Reflexion besser erklärten als Newtons Korpuskulartheorie, dauerte es lange, bis sie sich durchsetzen konnte. Viele Änderungen wurden bei beiden Theorien vorgeschlagen, da keine unter jeder Bedingung anwendbar war. So suchten die Physiker nach einer Theorie, die unter allen Bedingungen zutraf.

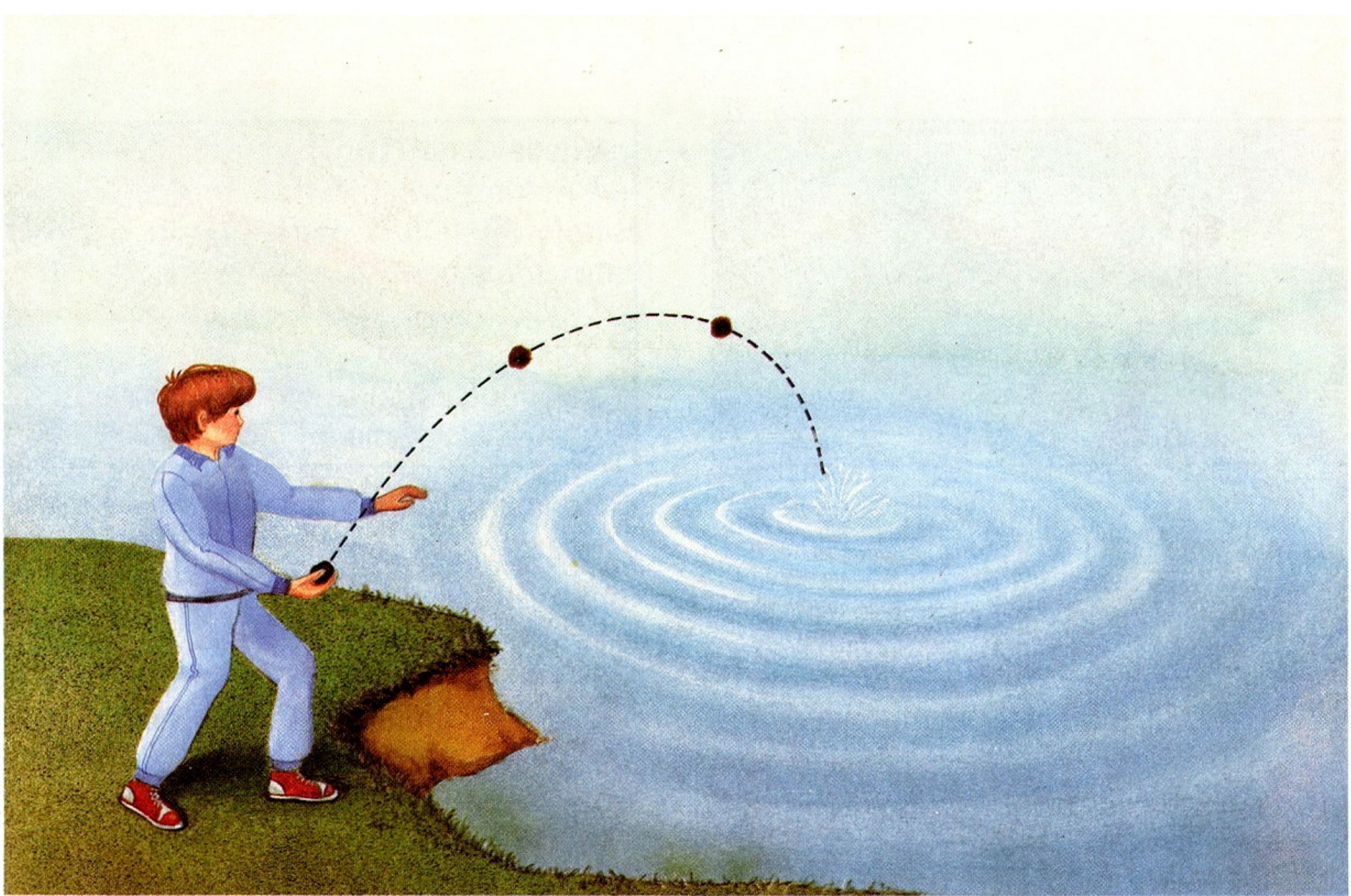
Versuch 10

Wie erzeugt man einen Regenbogen?

Der Regenbogen ist ein riesiges Spektrum. Man sieht dieses großartige Schauspiel immer dann am Himmel, wenn die in unserem Rücken stehende Sonne eine Regenwolke vor uns bescheint. Die Regenwolke besteht aus vielen Millionen kleiner Regentropfen. Jeder einzelne Regentropfen zerlegt das Sonnenlicht auf die gleiche Art und Weise wie das Prisma in Newtons Experiment: aus jedem Regentropfen kommt das weiße Licht, in seine Farben zerlegt, wieder heraus, jede Farbe hat dabei eine andere Richtung. Daher kommt es, daß jeder Tropfen nur eine einzige Farbe des Spektrums in unsere Augen wirft, wobei die Farbe von der Höhe des Tropfens über dem Horizont abhängt.

Man kann auch selbst einen Regenbogen erzeugen, indem man einen großen Bogen weißes Papier auf den Fußboden vor ein Fenster legt, durch das die Sonne scheint. Dann stellt man ein mit Wasser gefülltes Glas auf das Fensterbrett, so daß es etwas über die Kante hinausragt. Das Wasser im Glas wirkt wie ein Prisma und macht auf dem Papier das Spektrum sichtbar.





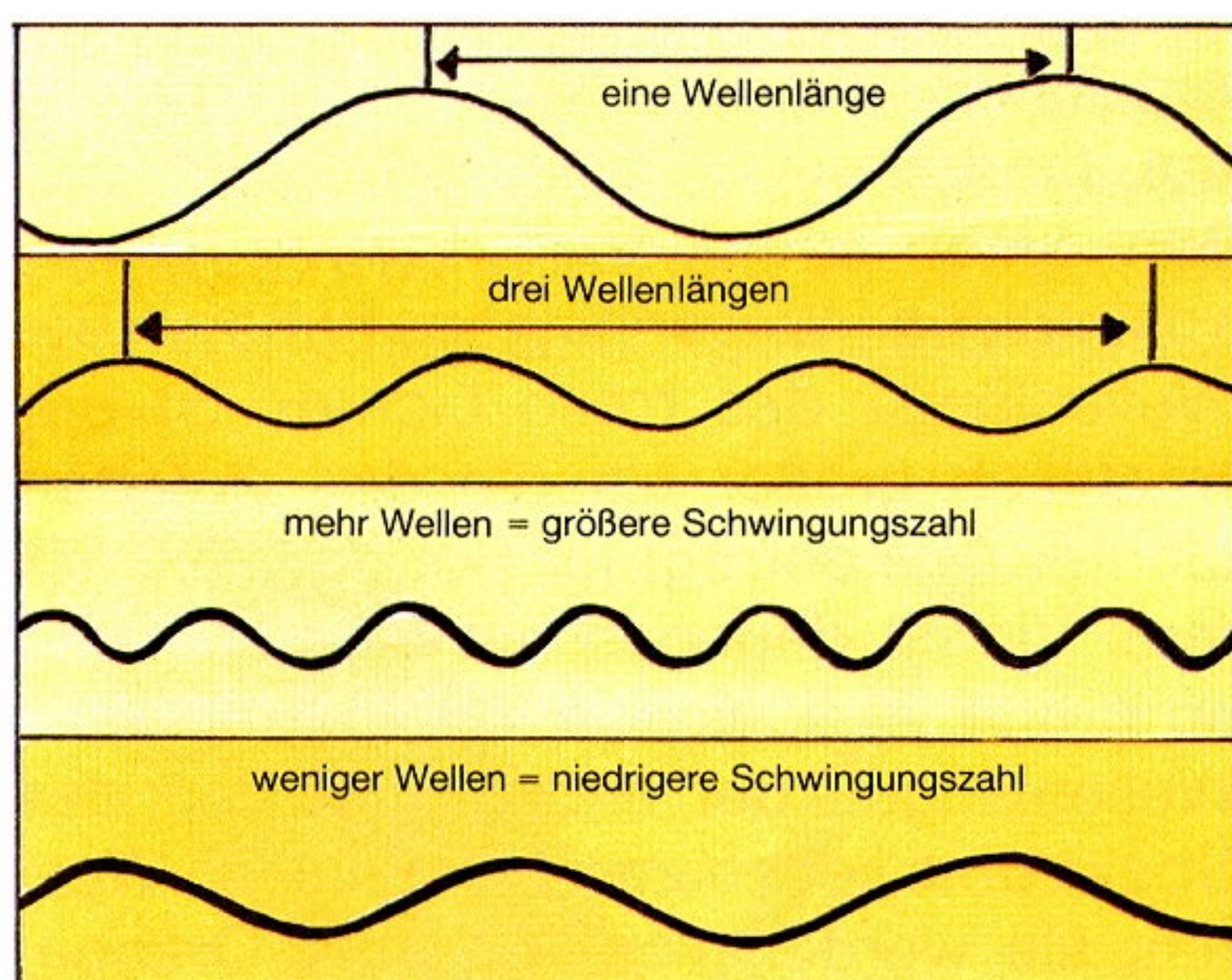
Wenn ein Stein ins Wasser geworfen wird, breiten sich nach allen Seiten Wellen aus. Ebenso verhalten sich Lichtwellen. Sie sind so klein, daß zweitausend Wellenlängen auf einen Millimeter fallen.

Als am Anfang dieses Buches beschrieben wurde, was Licht ist, stellten wir fest, daß Licht eine Form von Energie ist, die sich als Welle ausbreitet. Diese Ansicht wurde zuerst im Jahre 1900 von dem deutschen Gelehrten Max Planck vertreten. Er sagte, daß Strahlungsenergie wie Licht sich aus winzigen, unver-

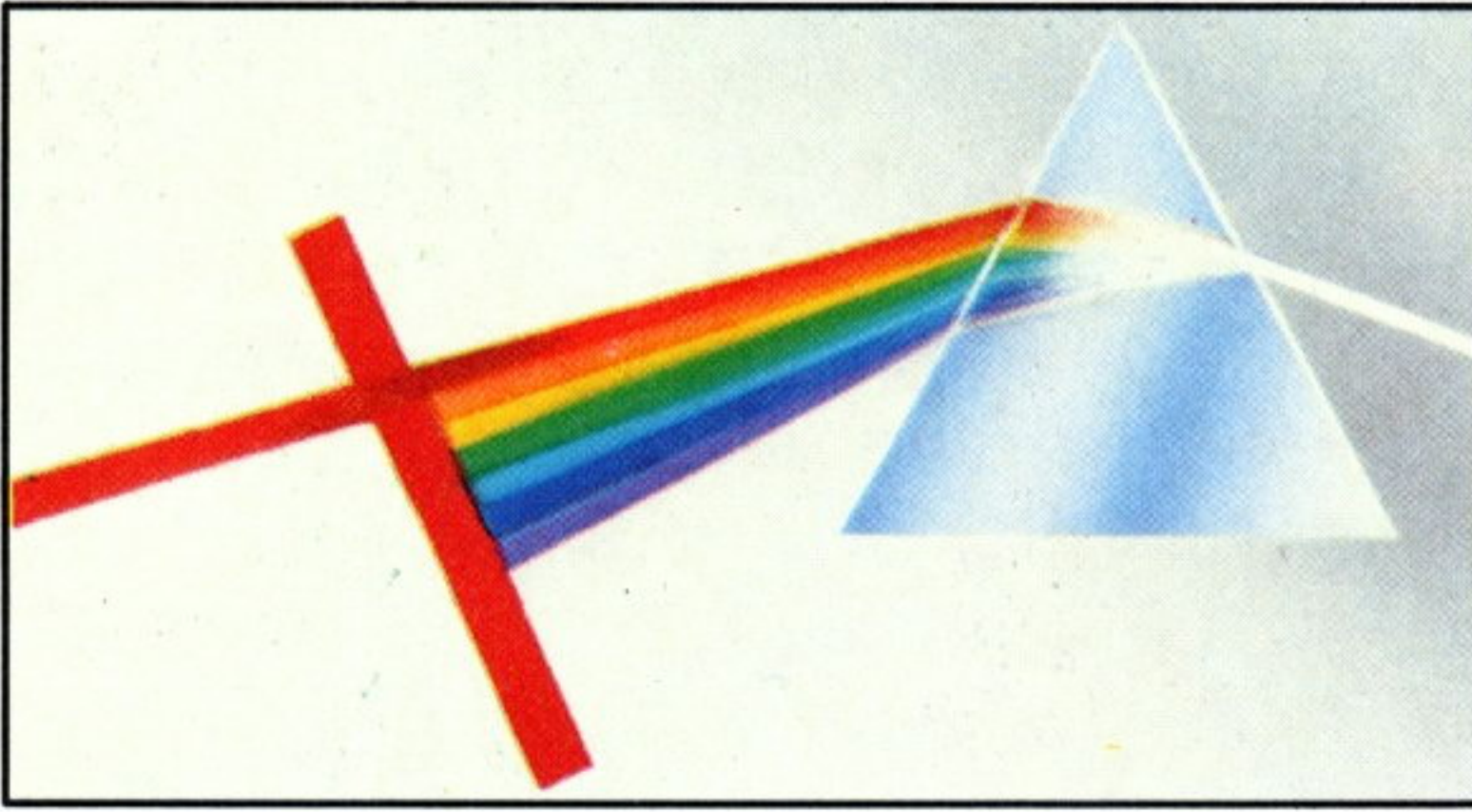
änderbaren Energiepaketen – er nannte sie „Quanten“ – zusammensetzt, die aufgenommen oder abgegeben werden. Fünf Jahre, nachdem Planck seine Theorie verkündet hatte, schlug der deutsche Wissenschaftler Albert Einstein eine genauere Definition der Energie vor, die das Licht hervorruft. Einstein kam bei seinen Untersuchungen über die Zusammensetzung des Atoms zu dem Schluß, daß nicht nur Abgabe und Aufnahme der Energie des Lichtes in Quanten erfolge, sondern die Strahlung selber ein Strom von einzelnen Lichtquanten, die er „Photonen“ nannte, sei. In mancher Hinsicht verhält sich Licht wie eine Welle, in anderer so, als ob es aus Teilchen bestünde. Newtons und Huygens Theorien schlossen sich nicht länger gegenseitig aus.

Noch heute gilt für die Physiker die Vorstellung, daß Licht zwei verschiedene Formen hat.

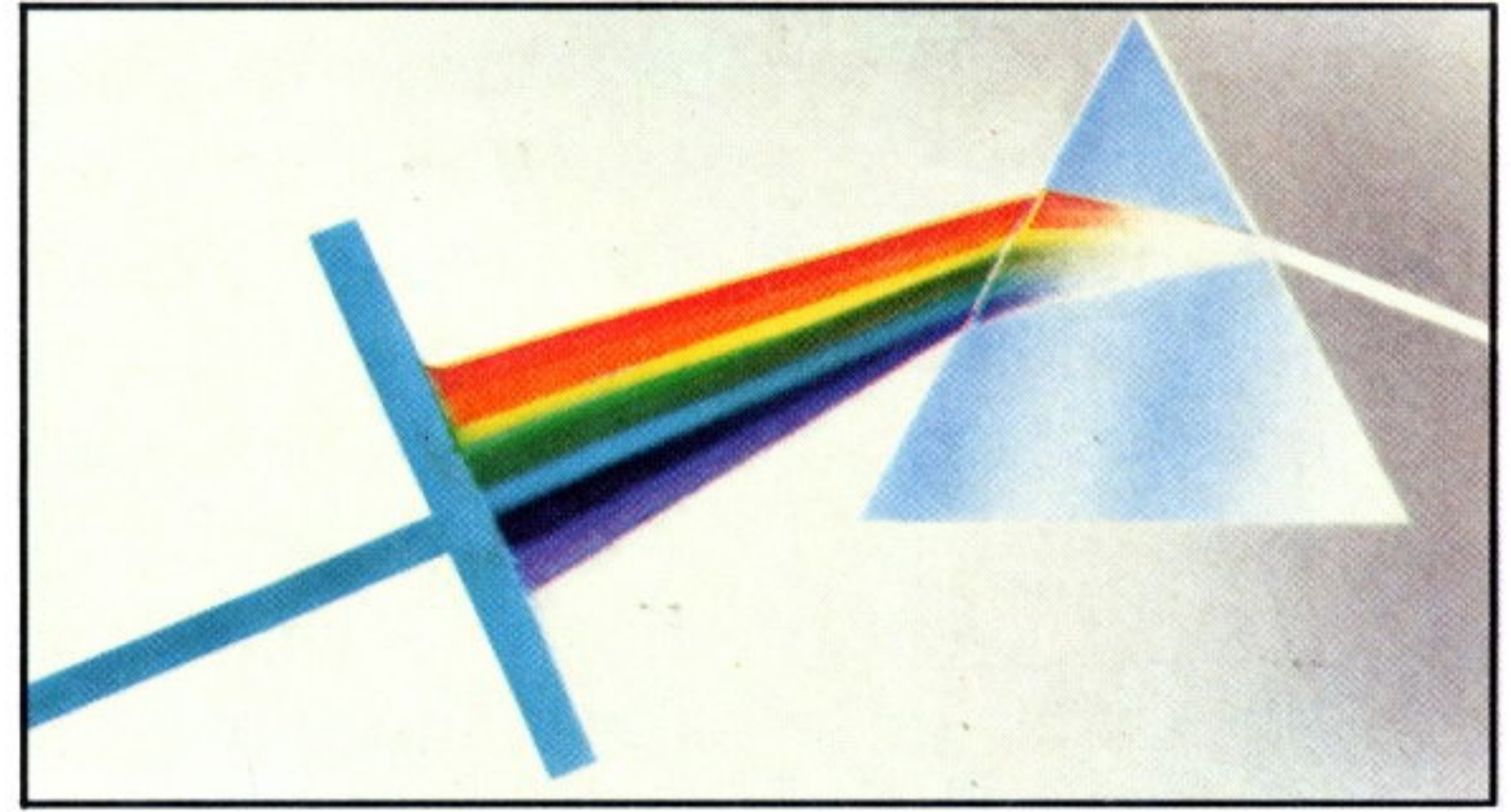
Erstens: Wenn Licht von einem Ort zum anderen gelangt – von der Sonne zur Erde oder von einer Glühlampe in unse-



Die Wellenlänge ist der Abstand zwischen dem oberen Teil, dem Kamm, einer Welle, bis zum Kamm der nächsten Welle. Frequenz ist die Anzahl der Wellenkämme, die an einem Punkt in einer Sekunde vorbeikommen (mehr Wellen pro Sekunde: höhere Frequenz; weniger Wellen: niedrigere Frequenz).



Farben durch Absorption: Rotgefärbtes Glas läßt nur die rote Farbe durchtreten und verschluckt (absorbiert) alle anderen Farben.



Genauso verschluckt blaues Glas alle Farben des weißen Lichts mit Ausnahme von Blau, das ungehindert hindurchgeht.

re Augen – dann breitet es sich wie eine Welle aus.

Zweitens: Wenn Licht von einem Gegenstand ausgesandt wird, wie zum Beispiel der Sonne oder einer Glühlampe oder wenn Licht von einem Gegenstand aufgenommen wird, wie zum Beispiel das Blatt einer Pflanze Licht aufnimmt, um Nährstoffe aus Wasser und Kohlendioxid herzustellen, dann wirkt das Licht so, als sei es ein Strom von Teilchen oder „Photonen“.

Um zu verstehen, wie sich eine Licht-

Wie lang sind Lichtwellen?

welle ausbreitet und was sie genau ist, beobachten wir einmal Wellen im Wasser. Wirft man einen Stein ins Wasser, breiten sich Wellen aus. Dort, wo der Stein in das Wasser fällt, entstehen jedoch nur wenige Wellen. Nach kurzer Zeit ist das Wasser im Zentrum dieser Wellen wieder ruhig, während sich einige Wellen noch nach allen Seiten ausbreiten. Man bezeichnet die Zahl der Wellenberge (Kämme), die in einer Sekunde einen Punkt passieren, als Schwingungszahl oder *Frequenz*. Bei Lichtwellen sind das mehrere hundert Millionen. Man kann auch die Länge einer Welle messen. Das ist die Entfernung vom Kamm einer Welle zum Kamm der nächsten Welle; sie beträgt beim Licht nur

ein paar zehntausendstel Millimeter. Diese winzige Entfernung nennt man *Wellenlänge*. Allgemein gilt die Regel: Je kleiner die Wellenlänge, um so höher die Frequenz, also die Anzahl der Wellen. Und je größer die Wellenlänge, um so niedriger die Frequenz. Diese Regel läßt sich auch auf die Lichtwellen anwenden.

Die einzelnen Farben, die im Spektrum des weißen Lichtes entdeckt wurden, haben verschiedene Wellenlängen. Die Physiker können ihre Länge und Frequenz mit besonderen hochempfindlichen Instrumenten messen. Die Lichtwellenlängen sind sehr klein, etwa 2000 Wellenlängen hintereinander sind 1 mm lang.

Als die Physiker das Spektrum erforschten, fanden sie heraus, daß die im weißen Licht enthaltenen Farben unterschiedliche Wellenlängen haben. Die Wellenlänge des roten Lichtes ist beträchtlich größer als die des violetten Lichtes. Sie beträgt für Rot etwa 0,0008 mm; Violett dagegen hat eine nur halb so große Wellenlänge: 0,0004 mm. Die Wellenlängen der anderen Farben des Spektrums liegen zwischen diesen Werten; sie werden von Rot über Orange, Gelb, Grün, Blau und Indigo bis Violett immer kürzer.

Wenden wir unser Wissen von der Beziehung zwischen Wellenlänge und Frequenz an, werden wir feststellen, daß

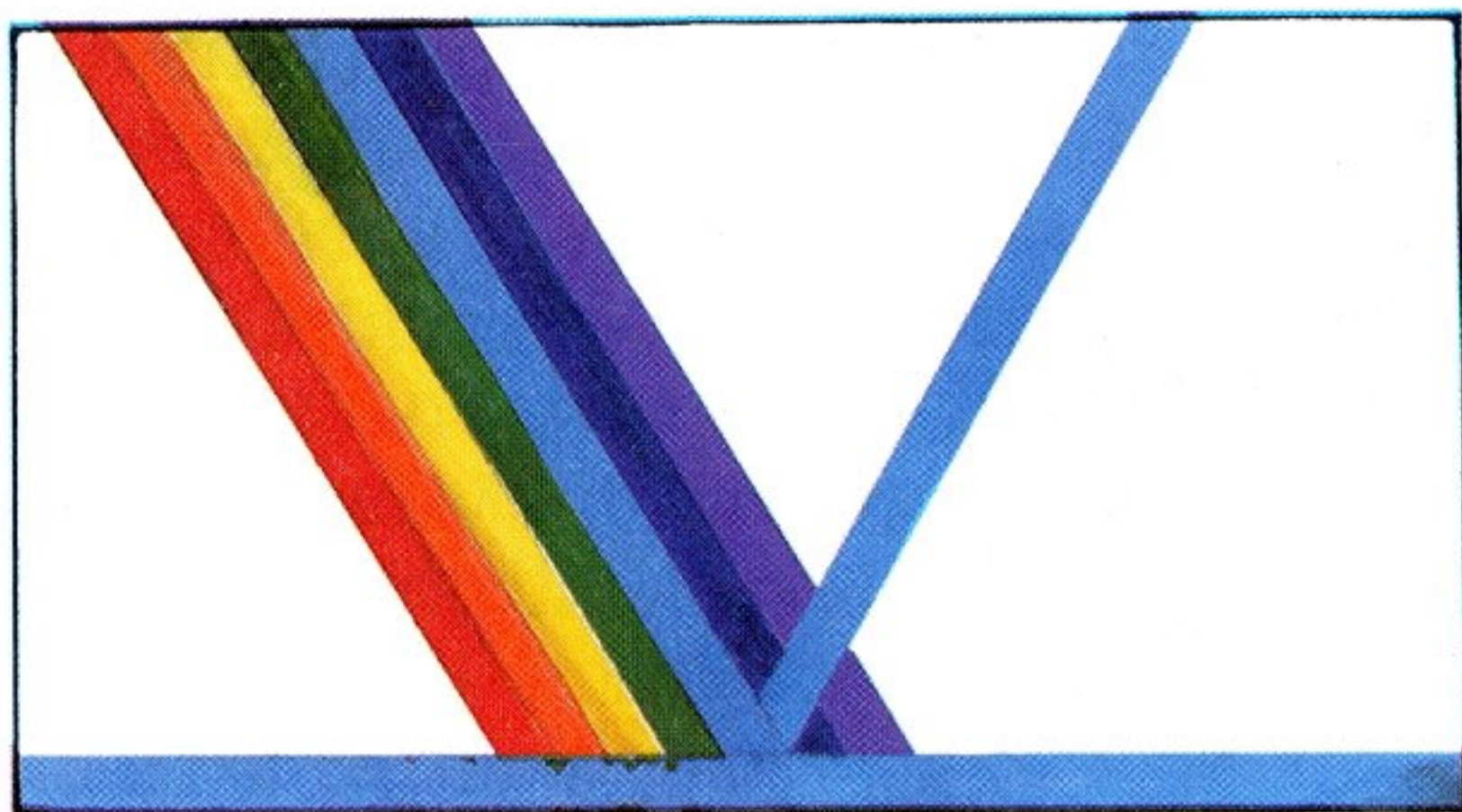
die Wellen mit den größten Wellenlängen geringere Schwingungszahlen haben als die kürzeren. So hat violettes Licht die größte Schwingungszahl, rotes Licht die kleinste.

Betrachtet man an einem Sommertag einen Baum, sehen die Blätter grün aus. Betrachtet man den selben Baum dagegen abends oder

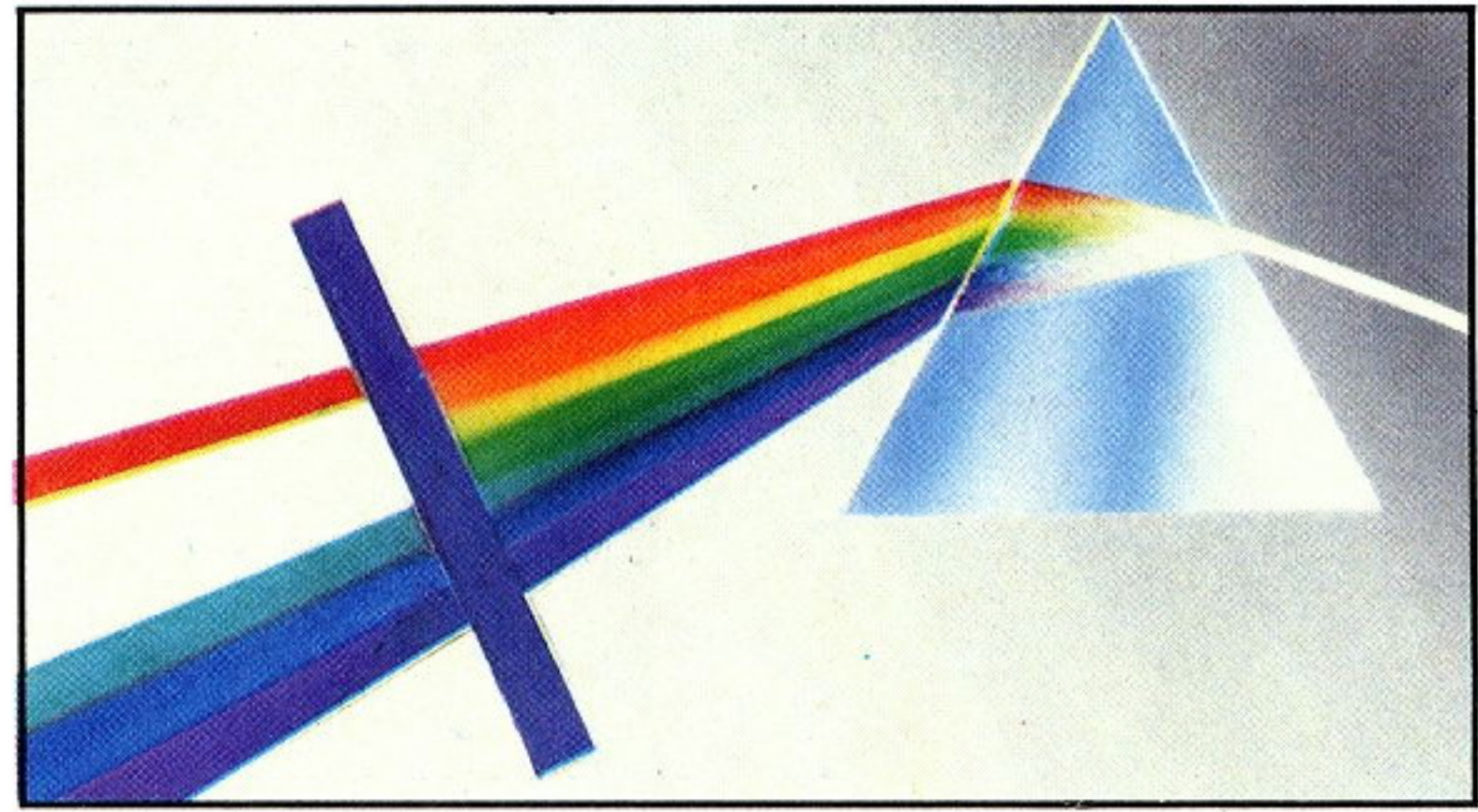
Wie kommt es, daß ein Körper farbig ist?

nachts, wenn nur die Sterne am Himmel stehen und kein anderes Licht vorhanden ist, sehen die Blätter schwarz aus. Die Farbe eines Körpers hängt von zwei Dingen ab: davon, ob der Körper durchsichtig oder undurchsichtig ist und von der Farbe des Lichtes, das auf ihn fällt. Weiß und Schwarz sind keine wirklichen Farben. Weiß bedeutet, daß alle Farben des Sonnenlichts reflektiert werden, Schwarz dagegen, daß diese Farben fehlen.

Undurchsichtige Körper werfen bestimmte Farben zurück und verschlucken oder *absorbieren* die übrigen. Die Blätter des Baumes, die wir im Sommer am Tage betrachten, erscheinen grün, weil sie nur die grünen Lichtwellen zurückwerfen und die anderen verschlucken. Nachts erscheinen die Blätter schwarz, weil kein Licht vorhanden ist, das von ihnen zurückgeworfen werden kann.



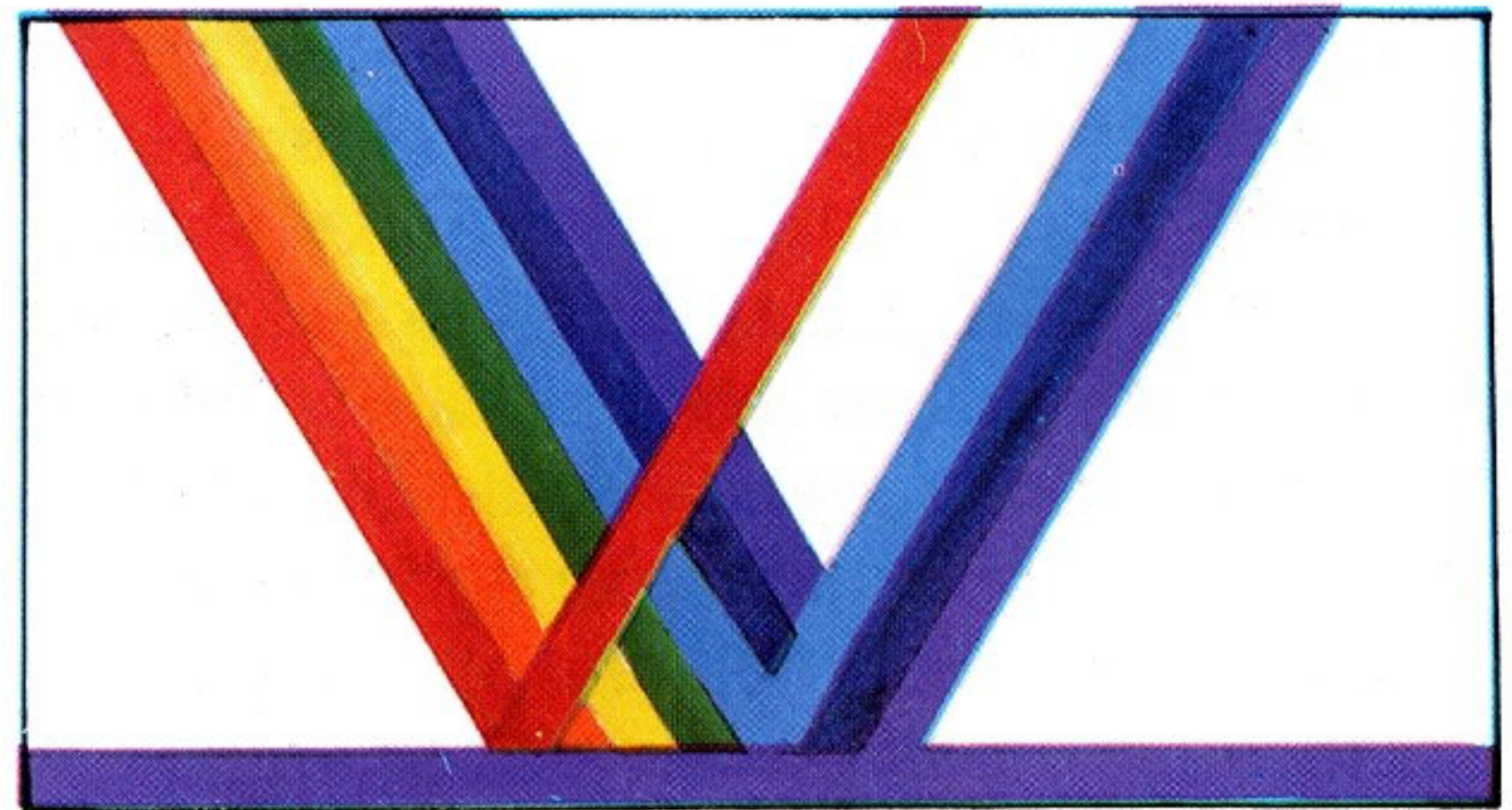
Farben durch Reflexion: Eine blaue Oberfläche verschluckt alle Farben und reflektiert nur Blau.



Purpur wird aus den Farben Rot, Blau, Indigo und Violett gemischt. Deshalb muß ein purpurfarbenes Glas alle Farben außer diesen verschlucken.

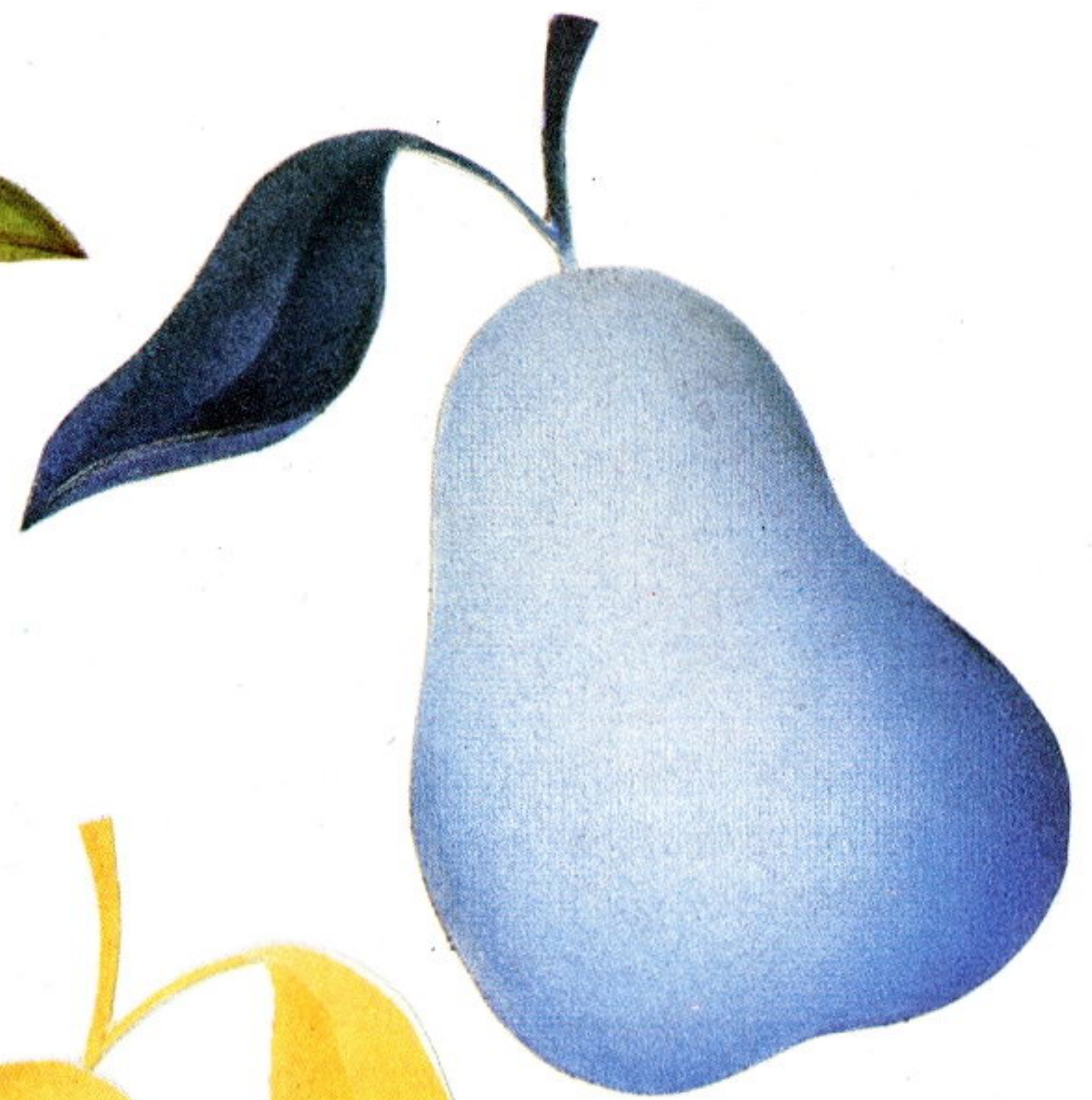
Die Farbe eines Körpers hängt davon ab, welche Lichtwellen er durchläßt und welche er absorbiert. Ein durchsichtiger Körper erscheint farblos wie zum Beispiel Fensterglas, wenn er keine bestimmten Farben verschluckt und auch keine zurückwirft. Verschluckt er jedoch einige Farben, so erscheint er farbig, wie zum Beispiel Buntglas. Durchscheinende Körper sind nicht ganz lichtdurchlässig; sie zerstreuen das weiße Licht, das durch sie hindurchgeht. So können durchscheinende Körper matt und farblos wie Glas, aber auch mattfarbig aussehen.

Ähnlich beeinflusst die Farbe des Lichtes, das den Körper beleuchtet, die Farbe, in der wir den Körper sehen. Betrachten wir einen reifen, roten Apfel, so reflektiert dieser Apfel die roten Lichtwellen und absorbiert die anderen. Wir sagen dann: Der Apfel ist rot. Betrachten wir jedoch denselben Apfel nur in



Eine purpurne Oberfläche reflektiert Rot, Blau, Indigo und Violett und absorbiert die anderen Farben.

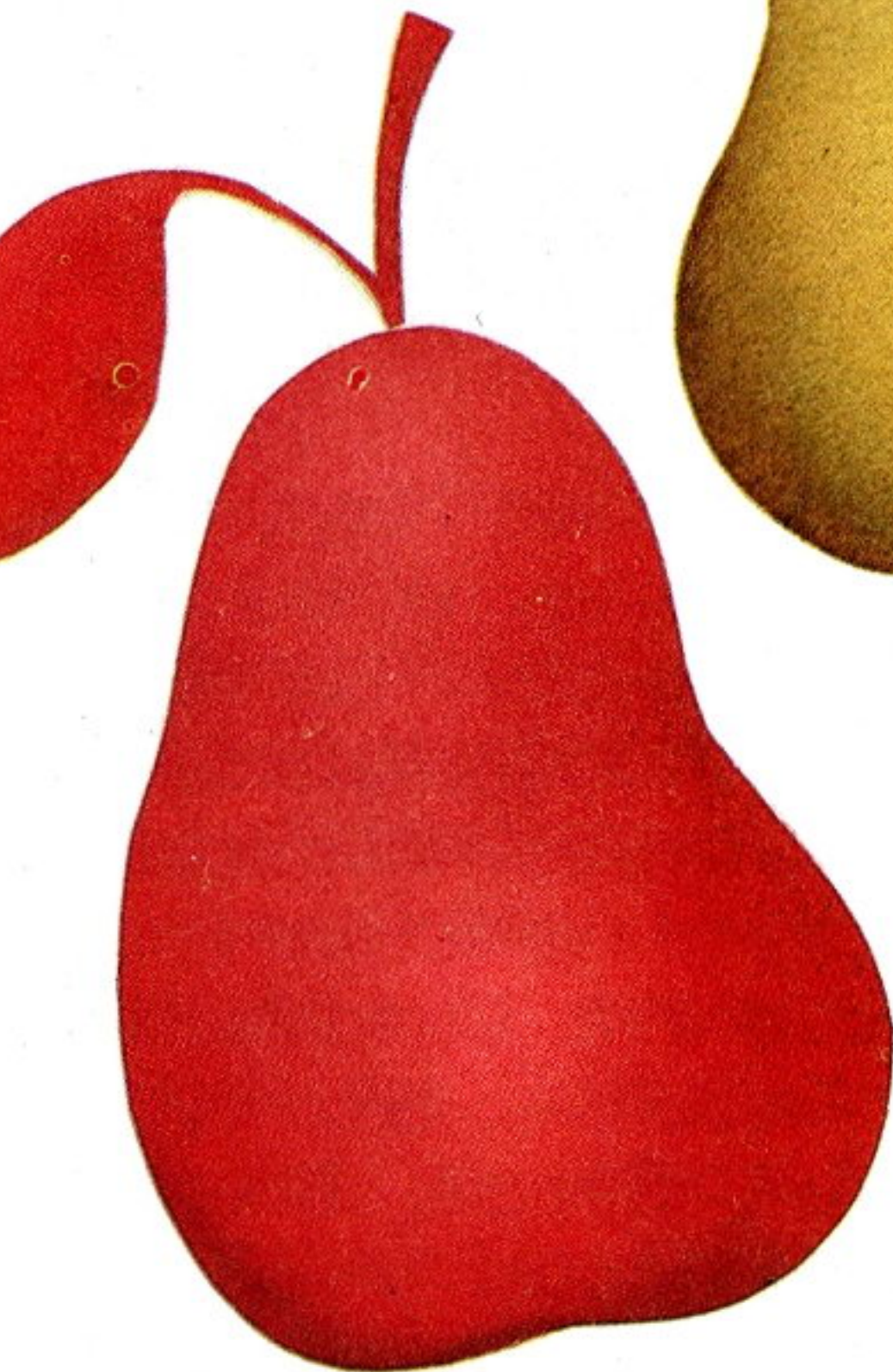
*Eine Birne in
weißem Licht.*



*Dieselbe Birne
in blauem Licht.*



*Dieselbe Birne
in gelbem Licht.*



*Dieselbe Birne
in rotem Licht.*

Ein Körper sieht in weißem Licht anders aus als in rotem, blauen, grünen oder irgendeinem andersfarbigen Licht.

blauem Licht, dann erscheint er schwarz, da keine roten Lichtwellen da sind, die der Apfel reflektieren könnte und die blauen Lichtwellen völlig absorbiert und nicht reflektiert werden.

Die meisten Farben, die wir sehen, wer-

**Können Körper
mehr als eine
Farbe reflek-
tieren?**

den durch Farbstoffe hervorgerufen. Diese Farben sind keine reinen Spektralfarben.

Eine Krawatte ist rot, weil ein besonderer Farbstoff verwendet wurde, der die roten Lichtwellen von der Sonne oder einer anderen Lichtquelle zurückwirft.

Diese Farbstoffe rufen jedoch keine reinen, natürlichen Farben hervor, wie sie im weißen Licht oder im Spektrum des

Sonnenlichts enthalten sind. Eine gelb gemalte Wand in weißem Licht reflektiert grüne oder gelbe Lichtwellen. Sind die meisten reflektierten Lichtwellen gelb, sehen wir eine gelbe Wand. Ist eine große Anzahl grüner Lichtwellen mit gelben gemischt, sehen wir eine gelbgrüne Wand.

Der Malermeister stellt eine grüne Farbe aus einer Mischung von gelber und blauer Farbe her. Was geschieht, wenn das Sonnenlicht auf diese grüne Farbe trifft? Die blaue Farbe verschluckt die gelben, orangefarbenen und roten Lichtwellen, die gelbe Farbe verschluckt die blauen, violetten und indigofarbenen Lichtwellen, aber da nichts die grünen Lichtwellen verschluckt, werden sie zurückgeworfen, und man sieht eine grüne Wand.

Früher glaubte man, die Luft sei ein

Warum ist der Himmel blau?

blaues Gas, und der Himmel sähe deshalb blau aus. Es wurden noch viele Theorien über die Farbe des

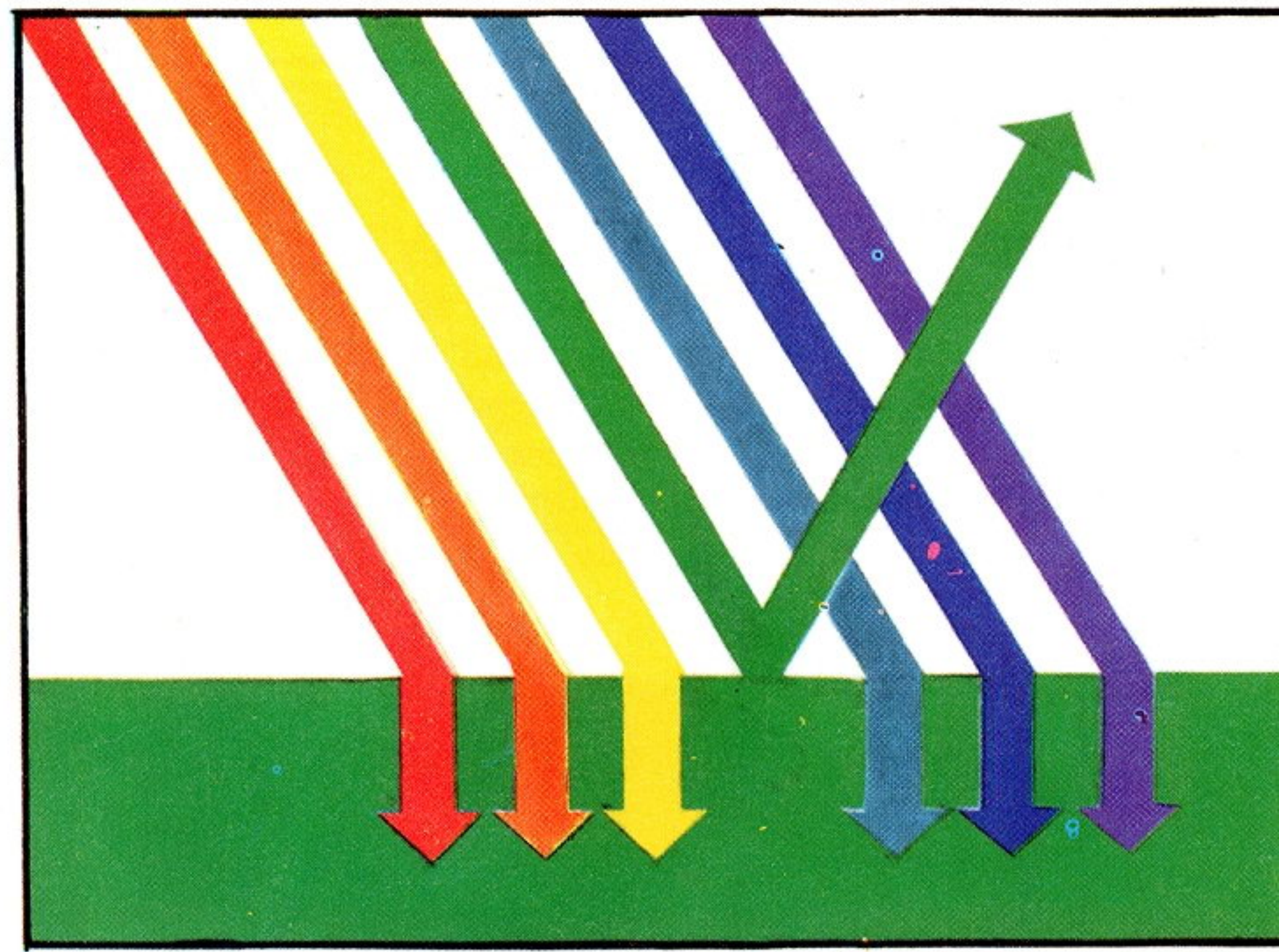
Himmels aufgestellt, aber keine überzeugte. Die Naturforscher fanden die Antwort, als sie sich mit dem Rauch beschäftigten, der aus einem Schornstein aufsteigt.

Dünnere Rauch, der an einem wolkenigen Tag in die Luft steigt, sieht vor einem dunklen Hintergrund grau aus. Das kann man nur erkennen, wenn der Rauch wirklich fein und dünn ist und vor einem sehr dunklen Hintergrund steht.

Man wußte, daß die Luft farblos ist und die Sonne nur weißes Licht zur Erde strahlt. Im Rauch sind viele Staub- und Rußteilchen enthalten. Die Naturforscher kamen nun darauf, daß diese Teilchen etwas mit der grauen Farbe des Rauchs zu tun haben: Das von der Sonne kommende Licht wird von ihnen nach allen Seiten gestreut.

Die Luft über der Erde besteht aus vielen unsichtbar kleinen Teilchen, die man Moleküle nennt. Auch Wasserdampf, Staubteilchen und ganz feine Wassertropfchen findet man in der Luft. Geht ein Strahl Sonnenlicht durch die Lufthülle der Erde, so wird das Licht gestreut. Das blaue Licht wird bereits durch die unsichtbar kleinen Luftmoleküle gestreut. Sind auch größere Teilchen in der Luft enthalten, werden auch die anderen Farben genauso stark gestreut. Eine Wolke aus Wassertropfen sieht im gestreuten Sonnenlicht weiß aus.

Geht ein Lichtstrahl von der Sonne durch die Lufthülle an der Erde vorbei, so wird das blaue Licht in Richtung Erde gestreut. Deshalb sehen wir am Himmel das blaue Licht. Wenn das Licht morgens und abends von der Sonne am Horizont in unsere Augen kommt, hat es ei-



Grüne Wasserfarben, die aus Blau und Gelb gemischt sind, reflektieren nur grünes Licht, weil die blauen, indigofarbenen und violetten Lichtstrahlen von der gelben Farbe verschluckt werden und die gelben, orangefarbenen und roten von der blauen.

nen langen Weg durch die Luft zurückgelegt, das blaue Licht ist aus dem Strahl herausgestreut, und die Sonne sieht ganz rot aus.

Man kann einen einfachen Versuch machen, um zu beweisen, daß winzige Teilchen die blauen Lichtwellen streuen.

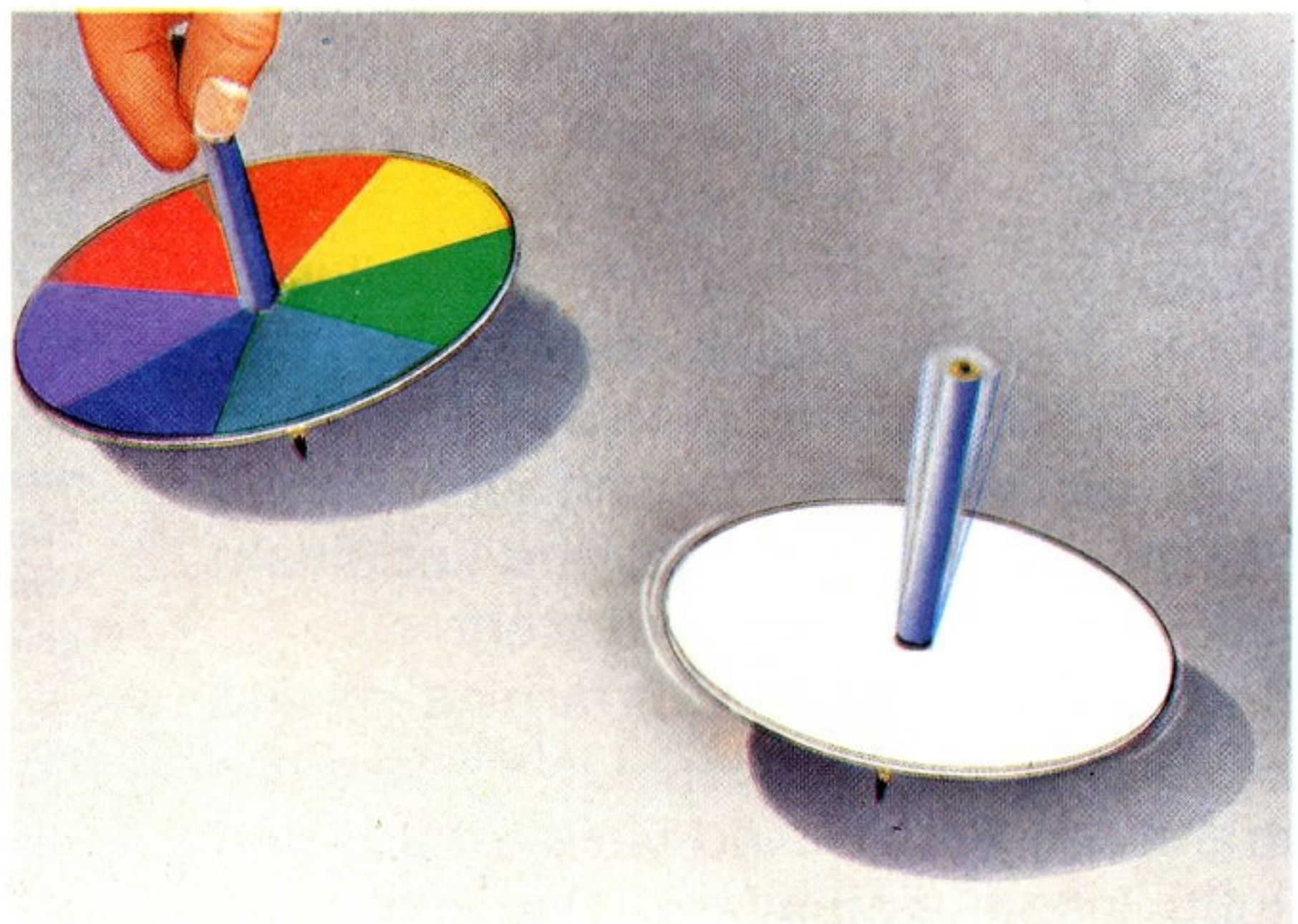
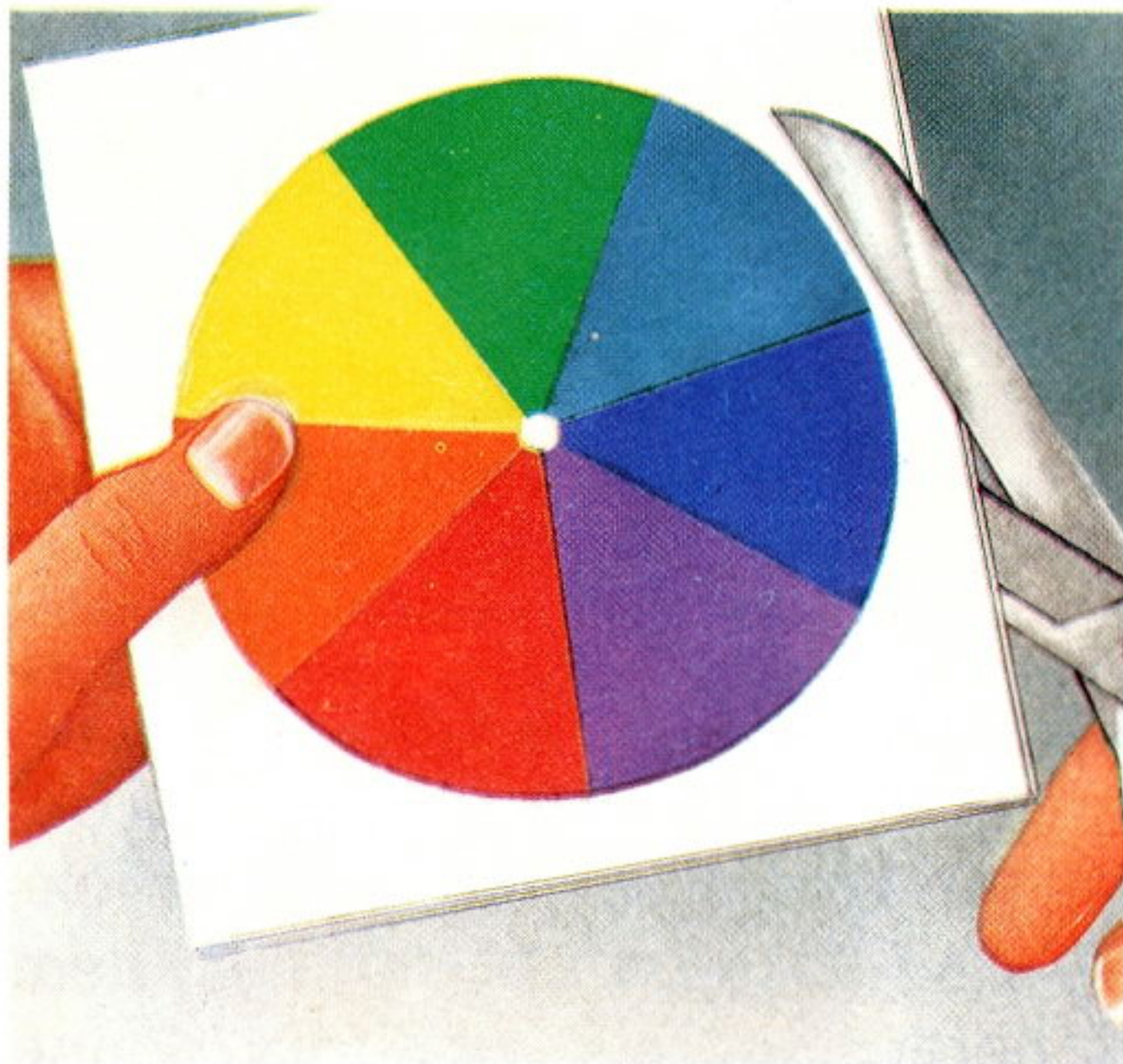
Alles, was man für diesen Versuch braucht, sind ein durchsichtiges Wasserglas, Wasser, einige Tropfen Milch und eine Taschenlampe. Man gießt zunächst einige Tropfen Milch in das Glas Wasser. Will man ganz genau sein, läßt man mit Hilfe eines Löffels oder einer Pipette 10 bis 15 Tropfen Milch in das Wasser fallen. Dieses milchige Wasser ähnelt der verschmutzten Luft über der Erde mit ihrem Wasserdampf und Staub. In einem verdunkelten Raum hält man die Taschenlampe 2 bis 5 cm vom Glas entfernt und läßt ihr Licht seitlich aufs Glas fallen. Das Wasser sieht blau aus! Die Teilchen der Milch im Wasser haben die blauen Lichtstrahlen im weißen Licht der Taschenlampe genauso gestreut wie die Luftmoleküle, Staubteilchen und Wassertropfchen die von der Sonne kommenden blauen Lichtstrahlen streut.

Versuch 11

Wie baut man eine Farbscheibe?

Mit einer Farbscheibe, wie sie schon Newton benutzte, können wir beweisen, daß weißes Licht eine Mischung von Farben ist, und daß alle Farben zusammen wieder weißes Licht ergeben. Schneide aus Pappe eine Scheibe mit einem Durchmesser von etwa 10 cm. Teile sie in sieben Abschnitte und bemale jeden mit

einer Farbe des Spektrums: Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett. Stich ein Loch durch den Mittelpunkt der Scheibe und befestige sie auf einem Bleistift. Wenn du nun die Scheibe schnell genug drehst, erscheint sie nahezu weiß, weil die Augen dem schnellen Wechsel der Farben nicht folgen können.



Polarisiertes Licht

Was sind polarisierte Lichtwellen?

Licht kann nicht nur reflektiert, gebrochen und gestreut, sondern auch polarisiert werden. Was ist darunter zu verstehen? Eine Eigenschaft des Lichtes ist seine wellenförmige Ausbreitung. Es breitet sich geradlinig von einer Lichtquelle nach allen Seiten aus, vergleichbar mit einer Wasserwelle. Man kann Wellen solcher Art mit einer Schnur veranschaulichen, die man an einer Türklinke befestigt. Bewegt man das freie Ende mit der Hand auf und ab, schwingen die einzelnen Teilchen der Schnur hin und her. Man erzeugt eine Welle, die nicht in der Ausbreitungsrichtung erfolgt, sondern senkrecht zu dieser. Man bezeichnet solche Wellen als

vertikal oder senkrecht schwingende Transversalwellen, im Gegensatz zu Longitudinalwellen (wie z. B. Schallwellen), deren schwingende Teilchen in der Ausbreitungsrichtung schwingen.

Bewegt man die Hand von links nach rechts, entsteht eine gleiche Welle. Die einzelnen Teilchen schwingen jedoch in einer waagerechten Ebene; man nennt sie eine waagrecht oder horizontal schwingende Transversalwelle. Man kann die Hand aber auch so bewegen, daß eine Welle entsteht, die in einer schrägen Ebene schwingt; man nennt sie diagonal schwingende Welle.

Wenn man einen Lichtstrahl untersucht, kann man feststellen, daß er ähnlich wie ein Wollfaden aus lauter Einzelfäden aus Einzelwellen zusammengesetzt ist, und jede schwingt in einer anderen Ebene

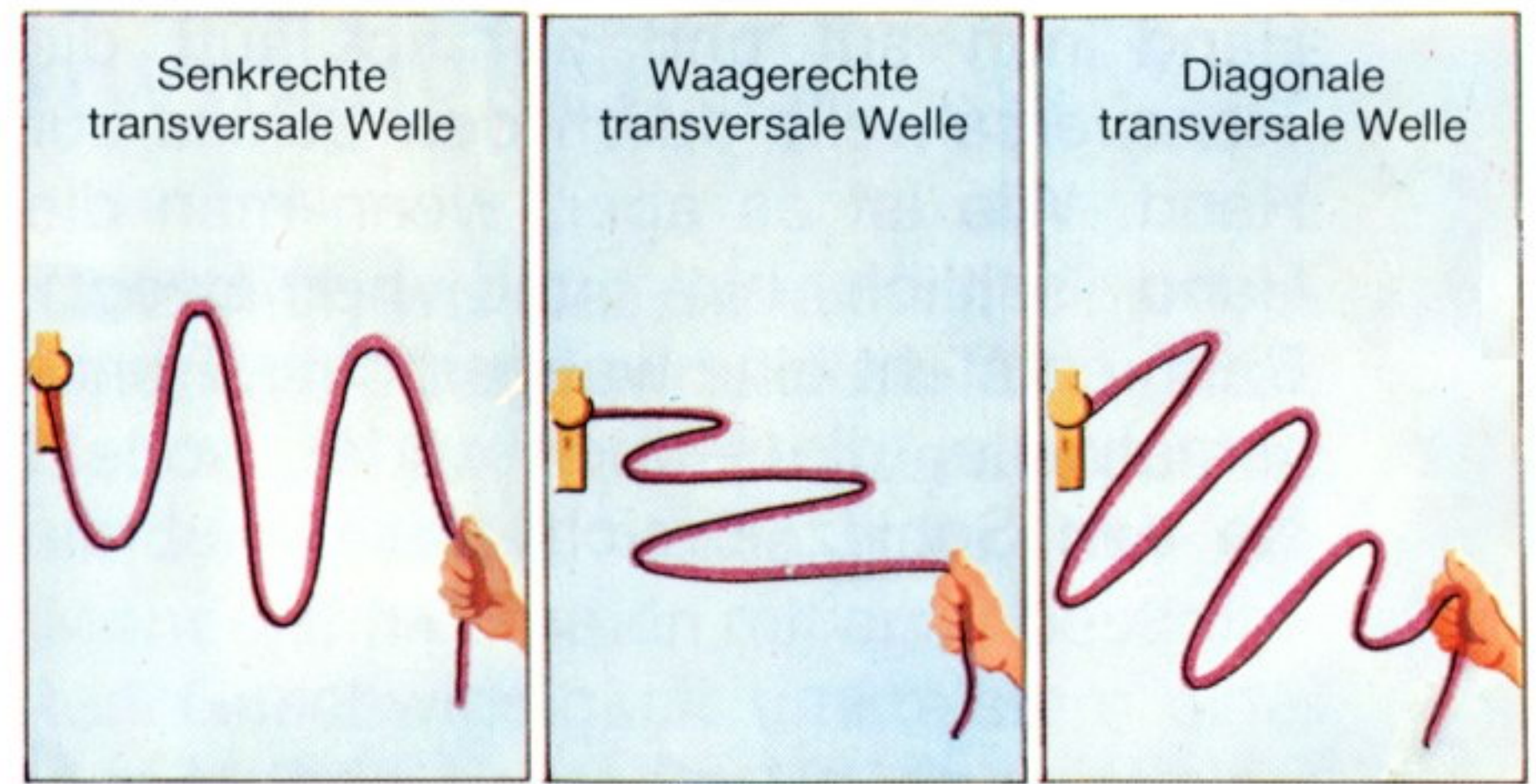
senkrecht zur Ausbreitungsrichtung. Nimmt man jetzt aus diesem Licht, das in den vielen Schwingungsebenen schwingt, das Licht einer einzigen Schwingungsrichtung heraus und absorbiert das restliche Licht, dann erhält man polarisiertes Licht.

Um die Polarisierung von Lichtwellen

Wie läßt sich eine Welle polarisieren?

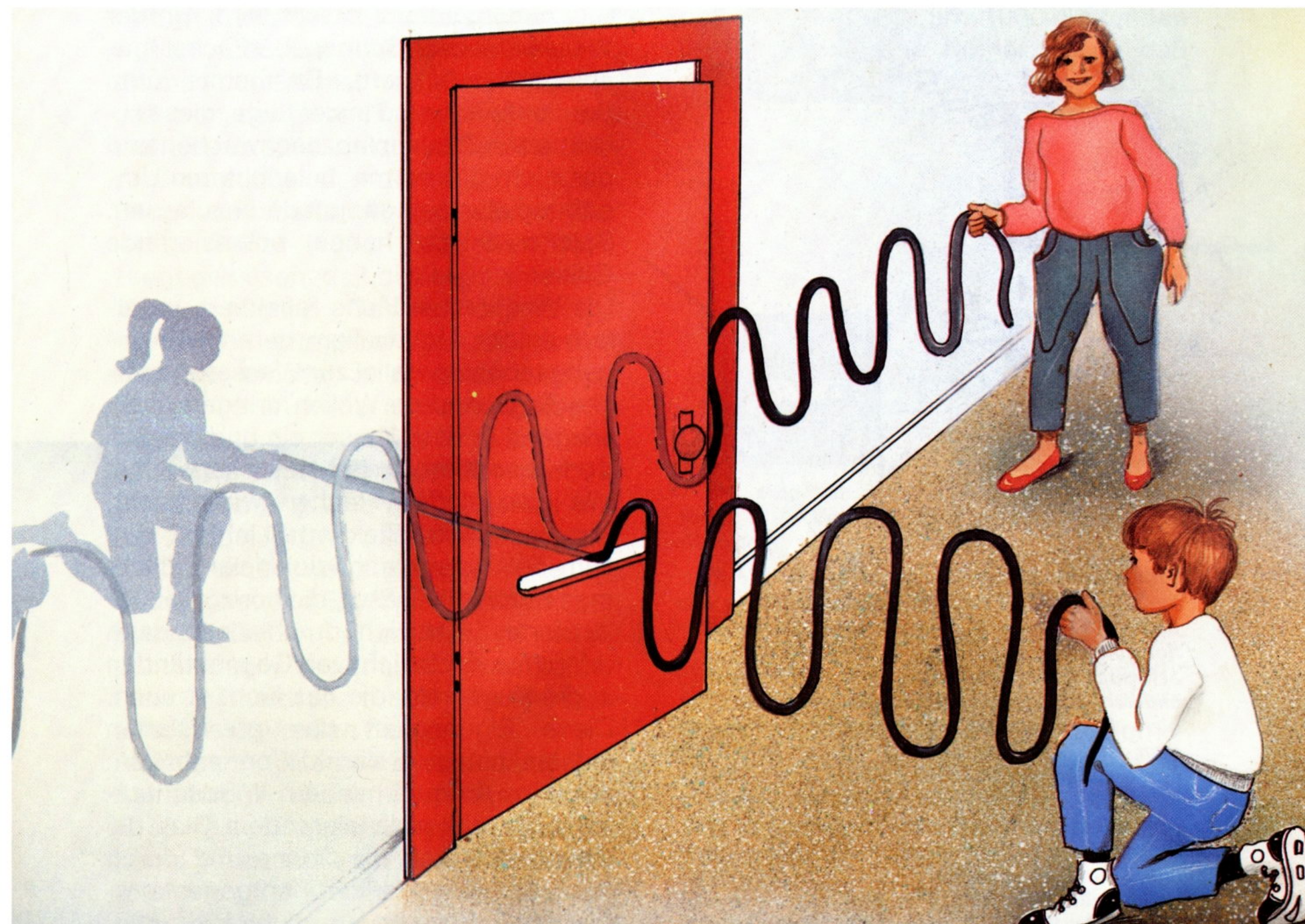
leichter zu verstehen, kehren wir noch einmal zu dem Versuch mit der Schnur zurück. Nehmen wir ein-

mal an, man hält die Schnur in der Hand und läßt sie durch den senkrechten Türschlitz laufen (siehe Abbildung auf der nächsten Seite), und bewegt die

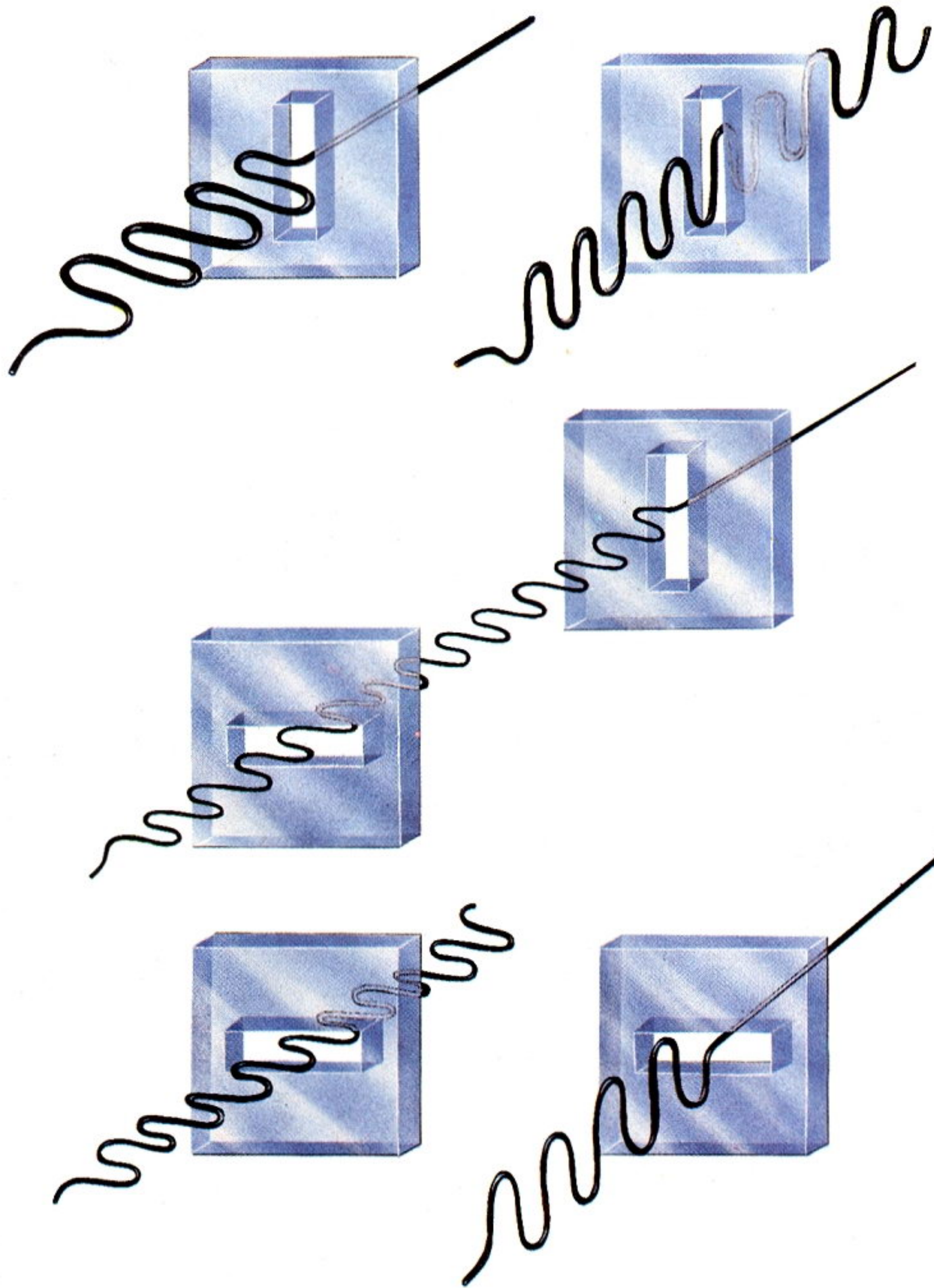


Wie die mechanischen Wellen, die man in einem Seil durch Hin- und Herbewegen der Hand in alle möglichen Richtungen erzeugt, schwingen auch Lichtwellen in verschiedenen Ebenen.

Die geöffnete Tür läßt senkrechte Wellen durch. Der waagerechte Türschlitz läßt die senkrechten Wellen nicht durch. Vereinfacht ist dies das Prinzip der Polarisation des Lichts.



Hand nun auf und ab, so läuft die Transversalwelle durch den Schlitz zur Hand. Wie ist es aber, wenn man die Hand seitlich hin- und herbewegt? Dann entsteht eine waagerechte Transversalwelle, die jedoch endet, sobald sie den Schlitz erreicht. Damit ist die



Transversale Lichtwellen schwingen in alle Richtungen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung des Lichtes. Geht ein Lichtstrahl durch ein Polarisationsfilter, den Polarisator, so werden Wellen einer Schwingungsrichtung ausgefiltert. Die Wellen der anderen Schwingungsrichtungen werden absorbiert. Deshalb ist die Lichtmenge verringert. Läßt man jetzt das durchgelassene, polarisierte Licht durch ein zweites Polarisationsfilter gehen, den sogenannten Analysator, dessen Durchlaßrichtung im rechten Winkel zum Polarisator steht, geht überhaupt kein Licht mehr durch. Nur wenn die Durchlaßrichtung des Analysators parallel zur Durchlaßrichtung des Polarisators ist, kann das Licht ungehindert durch das Polarisationsfilter hindurchgehen.

waagerechte Welle ausgelöscht und nur noch die senkrechte Welle wird durchgelassen.

In ähnlicher Weise kann man mit Lichtwellen verfahren, wenn man sie durch bestimmte Stoffe schickt. Diese bestehen aus Millionen kleiner nadelförmiger Kristalle, die nur Lichtwellen durchlassen, die in einer bestimmten Ebene schwingen. Man benutzt für diesen Zweck Polarisationsfilter, das sind Kristallplatten, oder Spiegelflächen.

Im Schnee und am Strand herrscht eine

Wie wirkt eine gute Sonnenbrille?

große Helligkeit, die den Augen schadet. Das von der Sonne kommende natürliche Licht wird von der

Wasser- oder Schneeoberfläche gespiegelt (reflektiert). Bestimmte gute Sonnenbrillen sind in der Lage, diese reflektierten Strahlen abzuschwächen und das Licht der normal beleuchteten Umgebung etwas gedämpft durchzulassen. Solche Brillen haben polarisierende Gläser.

Die Wasseroberfläche reflektiert vor allem solche Lichtwellen, deren Schwingungsebene parallel zur Wasseroberfläche liegt. Andere Wellen dringen überwiegend in das Wasser ein und werden dort absorbiert. In der Natur liegen fast alle spiegelnden Flächen waagrecht, das von ihnen reflektierte Licht ist also zum Teil waagrecht polarisiert. Blickt man durch die Gläser, die horizontal polarisiertes Licht nicht durchlassen, dann dringt nur noch Licht von Gegenständen in die Augen ein, die das Licht streuen. Diese Eigenschaft des polarisierten Lichtes nutzen Polaroid-Sonnenbrillen. Auch im Auto vermindern Windschutzscheiben aus polarisierendem Glas die Blendung durch die Sonne und durch das Scheinwerferlicht entgegenkommender Fahrzeuge.

Die Lichtgeschwindigkeit

Erst als zu Beginn des 17. Jahrhunderts

**Wie maß man
anfangs die
Lichtgeschwin-
digkeit?**

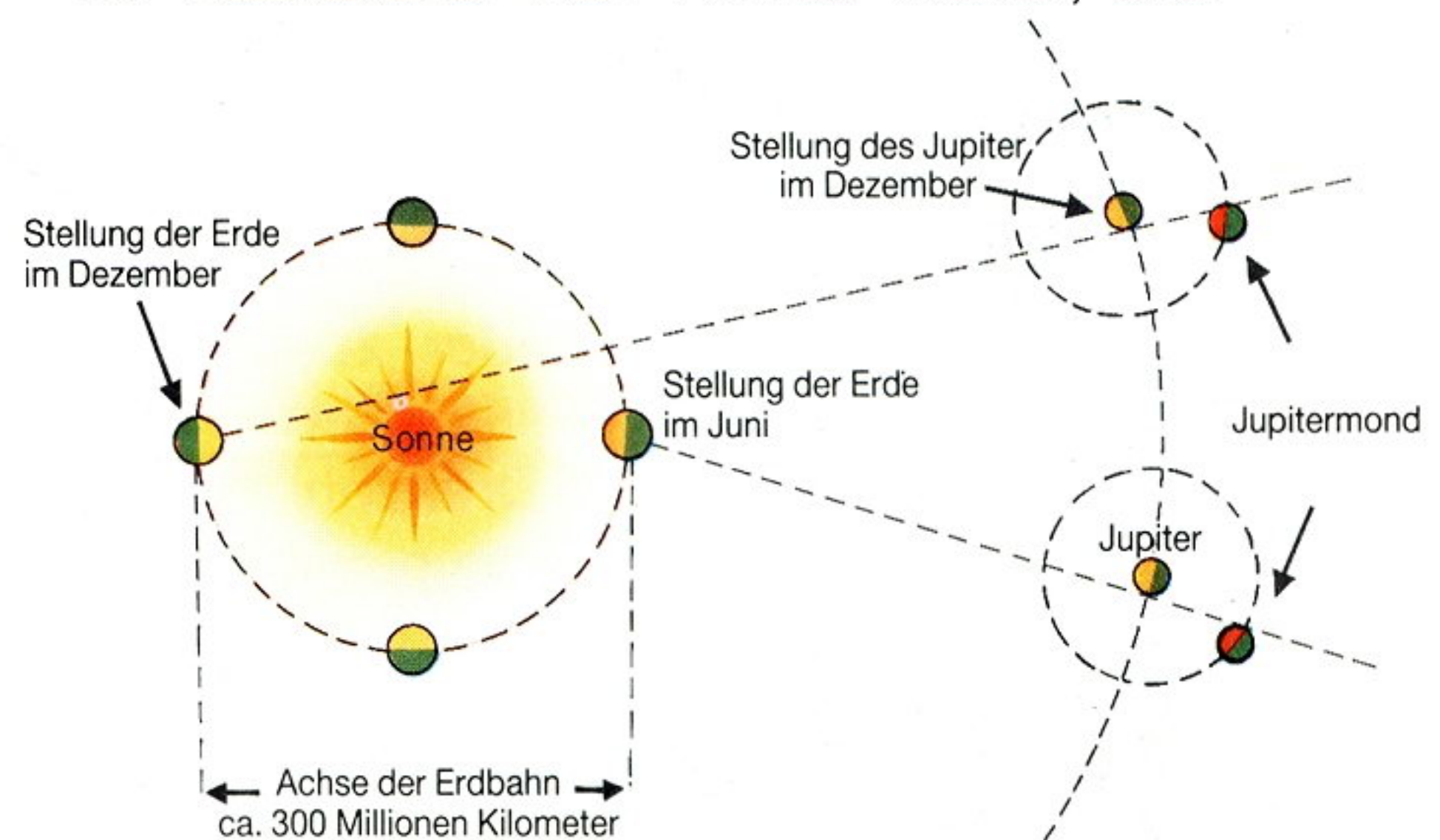
das Fernrohr er-
funden und dann
immer weiter ver-
bessert wurde,
hatten die Wissen-
schaftler ein In-

strument in der Hand, mit dem sie ver-
suchen konnten, die Geschwindigkeit
des Lichtes zu messen.

Im späten 16. Jahrhundert war nach
dem „dunklen Mittelalter“ das Interesse
für die Wissenschaft wieder erwacht
und ließ die Menschen nach Antworten
auf das „Wie und Warum“ suchen. Die
Gelehrten begannen, die Geschwindig-
keit des Lichtes zu untersuchen. Sie
wußten, daß man den Blitz eher sieht,
als man den Donner hört. Sie erkannten,
daß sich der Schall langsamer als das
Licht ausbreitet. Jetzt wollten sie wis-
sen, wie schnell das Licht eigentlich ist.
Schon der berühmte italienische Ge-
lehrte Galilei (1564–1642) war über-
zeugt gewesen, daß das Licht eine end-
liche – meßbare – Geschwindigkeit hat.
Allerdings hatte sein Versuch, den er
anstellte, um das zu beweisen, keinen
Erfolg. Galilei hatte mit zwei Spiegeln
gearbeitet, die in Sichtweite auf zwei
benachbarten Hügeln gehalten wurden.
Die Entfernung war viel zu gering und
das Pendel, das er zur Zeitmessung be-
nutzte, ergab viel zu grobe Werte, als
daß er zu einem Ergebnis hätte kommen
können. Erst im 19. Jahrhundert konnte
man mit sehr verfeinerten Instrumenten
und Meßmethoden auch hunderttau-
sendstel Sekunden messen.

Als erstem gelang es dem dänischen
Astronomen Olaus Römer im Jahre
1676, die Lichtgeschwindigkeit annä-
hernd genau zu berechnen. Er beobach-
tete einen der Monde des Planeten Ju-
piter und setzte dabei voraus, daß das

Licht sich wie der Schall mit einer be-
stimmten Geschwindigkeit ausbreitet.
Schon seit Galilei die Monde des Jupiter
entdeckt hatte, wußte man, daß die
Monde den Planeten mit einer bestimm-
ten Geschwindigkeit umkreisen; einer
der Monde brauchte für einen Umlauf
 $42\frac{1}{2}$ Stunden. Das bedeutete, daß der
Mond alle $42\frac{1}{2}$ Stunden hinter dem
Planeten verschwand. Römer stellte ei-
ne Liste der Verfinsterungen für ein gan-
zes Jahr auf. Seine ersten Beobachtun-
gen hatte er im Juni gemacht, wenn der
Jupiter der Erde am nächsten ist. Im De-
zember, wenn der Planet am weitesten
von der Erde entfernt ist, fand er heraus,
daß seine Tabelle um 1000 Sekunden
im Rückstand war. Römer wußte, daß



Der dänische Astronom Olaus Römer (1644 – 1710) maß die Geschwindigkeit des Lichtes, indem er die Verfinsterung eines Jupitermondes beobachtete.

der Durchmesser der Erdbahn ungefähr
300 Millionen Kilometer beträgt. Er er-
klärte die Abweichung um 1000 Sekun-
den damit, daß das Licht 1000 Sekun-
den brauche, um 300 Millionen Kilome-
ter zu durchlaufen. Er erhielt damit für
die Lichtgeschwindigkeit einen Wert
von etwas über 300 000 Kilometer pro
Sekunde. Das Licht könnte also in einer
Sekunde $7\frac{1}{2}$ mal um die Erde eilen, wenn
es sich auf eine Kreisbahn bringen ließe.

Als die Astronomen das Weltall weiter erforschten und genauere Meßmethoden und Instrumente entwickelten, stellten sie viele Versuche an, um die Lichtgeschwindigkeit noch exakter zu bestimmen. Die genauesten Messungen wurden von dem amerikanischen Physiker Albert A. Michelson in den Jahren 1921–1926 durchgeführt. Er benutzte bei seinen Messungen einen Drehspiegel, der um seine senkrechte Achse rotierte. Von einer Lichtquelle aus fiel ein Strahl auf den rotierenden Spiegel und von dort auf einen zweiten Spiegel, der in etwa 35 km Entfernung auf einem hohen Berg aufgestellt war. Der Strahl wurde von diesem fernen Spiegel zurückgeworfen und von der Oberfläche des Drehspiegels in das Auge des Beobachters reflektiert. Ruht der Spiegel, so sieht man den Lichtstrahl, der vom Drehspiegel über den fernen Spiegel wieder zurück zu ihm gelangt, an einer bestimmten Stelle. Dreht er sich mit hoher Drehzahl, so ist seine Oberfläche ein wenig weitergedreht, wenn das Licht zurückkommt, und dann sieht man das Licht nicht mehr an der gleichen Stelle wie beim ru-

Wie groß ist die Lichtgeschwindigkeit?

henden Spiegel. Jetzt kann man aus der Abweichung berechnen, welche Geschwindigkeit das Licht hat.

Michelson bestimmte die Lichtgeschwindigkeit nach dieser Methode mit 299 726 Kilometer pro Sekunde. Es ist interessant, daß die von ihm errechnete Geschwindigkeit um weniger als ein Prozent von der Geschwindigkeit abwich, die Römer mehr als zwei Jahrhunderte zuvor mit wesentlich einfacheren Instrumenten berechnet hatte. Die Messungen mit modernen Methoden ergeben heute einen Wert von 299 792 Kilometer pro Sekunde. Die Meßungenauigkeit, d.h. Abweichungen von diesem Wert bei vielen Wiederholungen der Messung, ist ± 1 Meter pro Sekunde.

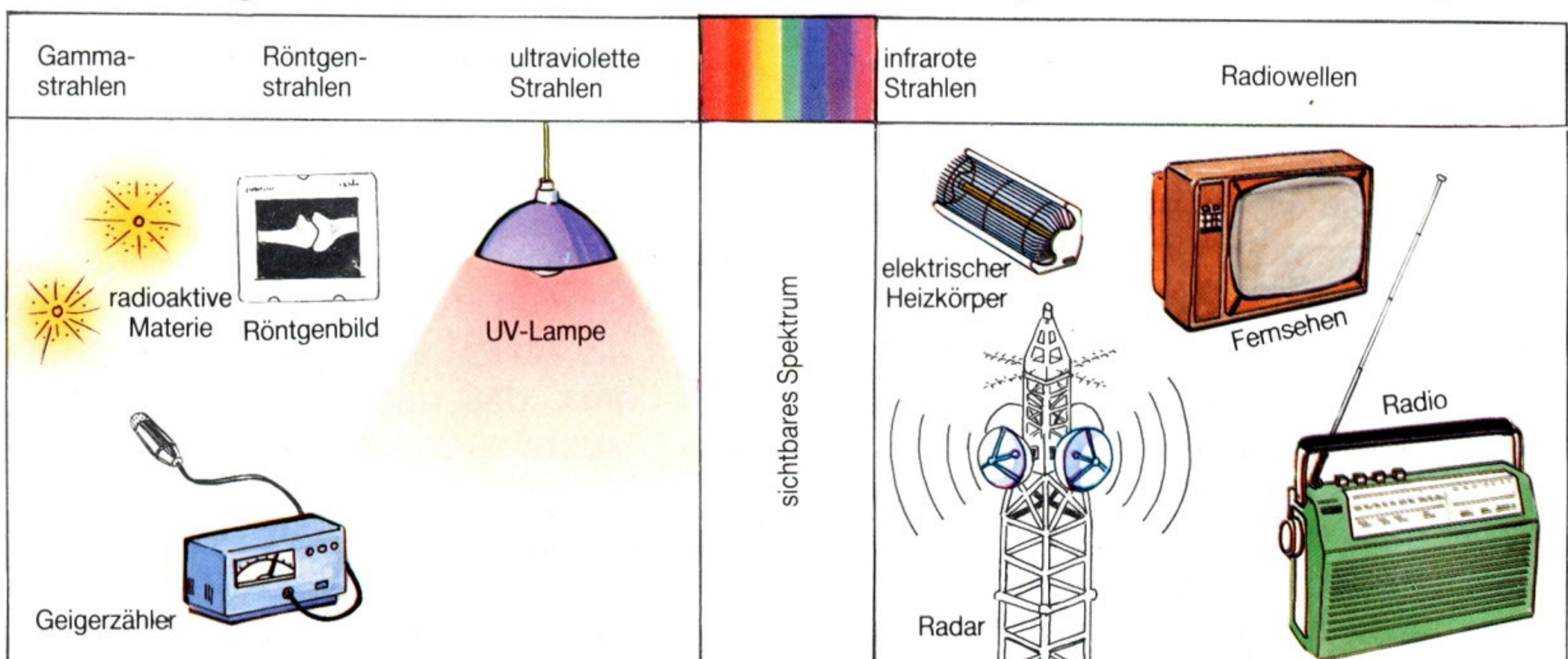
Man benutzt die Lichtgeschwindigkeit

Wie lang ist ein Lichtjahr?

als eine Längeneinheit bei der Erforschung des Weltraums. Einige Entfernungen von der Erde sind noch

klein genug, um sie in Kilometern anzugeben. Der Mond ist zum Beispiel 384 000 Kilometer von der Erde entfernt, die Sonne etwa 149 600 000 Kilometer.

Will man jedoch die Entfernungen zu



Die Lichtwellen sind nur ein sehr kleiner Ausschnitt des elektromagnetischen Spektrums, das von den kurzen Gammastrahlen bis zu den langen technischen Wellen reicht.

den Sternen messen, müßte man mit sehr großen Zahlen arbeiten. Die Wissenschaftler haben darum eine Längeneinheit gewählt, mit der man auch die Entfernungen im Weltraum messen kann: das Lichtjahr.

Ein Lichtjahr ist die Entfernung, die das Licht in einem Jahr zurücklegt. In Kilometern ausgedrückt, erhalten wir seine Länge, wenn wir die Lichtgeschwindigkeit von rund 300 000 km/sec mal 60

mal 60 mal 24 mal 365 nehmen. Das ergibt rund 9 461 000 000 000 Kilometer. Alpha Centauri, die nächste Sonne, ist mehr als 4 Lichtjahre von uns entfernt, das heißt, das Licht dieser Sonne braucht 4 Jahre, bis es unsere Erde erreicht. Die Sonne ist 8,3 Lichtminuten, der Mond 1,3 Lichtsekunden von uns entfernt. Schon daran lassen sich die gewaltigen Entfernungen im Weltall er-messen.

Andere Strahlen

Kehren wir noch einmal zur grundsätz-

**Was ist das
„elektro-
magnetische
Spektrum“?**

lichen Frage zu-
rück: Was ist
Licht? Wie wir wis-
sen, sind die Wis-
senschaftler heute
der Ansicht, Licht

sei eine Form von Energie, die als Welle nach allen Richtungen ausstrahlt.

Was bedeutet „ausstrahlen“? Wer sich einmal im kühlen Schatten aufhält und dann in den Sonnenschein tritt, merkt den Übergang selbst bei geschlossenen Augen. Er spürt den Sonnenschein, der den Körper erwärmt. Wer sich einem brennenden Feuer nähert, fühlt das Feuer, auch wenn er es nicht sieht. Das Feuer strahlt wie die Sonne Wärme aus, die eine Form von Energie ist.

Wir sind ständig von Strahlungen umge-
ben. Die Sonne bombardiert die Erde
ununterbrochen mit kosmischen Strah-
len – Strahlung aus dem Weltraum. Das
Feuer im Ofen, das elektrische Bügelei-
sen, die leuchtende Glühlampe senden
alle Wärme aus – Wärmestrahlung. Ra-
dio und Radar, mit denen wir Nachrich-
ten empfangen und senden, arbeiten
mit einer Strahlung.

Es gibt viele verschiedene Arten von
Strahlungen. Wissenschaftler fassen sie
unter einem Begriff zusammen, den sie

als elektromagnetische Strahlung be-
zeichnen.

Das Spektrum dieser elektromagneti-
schen Strahlung besteht aus Wellen
verschiedener Länge. Sie reichen von
den langen Wechselstrom-Wellen mit
Längen von 10 000 000 m oder 10 000
km bis zu den kosmischen Strahlen, de-
ren Wellenlänge unvorstellbar klein ist.

Innerhalb des außerordentlich breiten

**Was ist das
sichtbare
Spektrum?**

Spektrums rea-
giert unser Auge
aber nur auf einen
schmalen Fre-
quenzbereich. Die
Wellen haben hier

Längen zwischen 0,00036 und 0,00078
mm. Dieser Bereich ist das sichtbare
Spektrum. Es erstreckt sich von Rot mit
der größten Wellenlänge bis zu den vio-
letten Strahlen mit der kleinsten.

Die Wärmestrahlen, die wir von der

**Welche Strahlen
können wir
nicht sehen?**

Sonne oder einem
Feuer empfangen,
sind ein Teil des
elektromagneti-
schen Spektrums.
Diese Strahlen

wurden durch den englischen Gelehrten
Sir William Herschel um 1800 entdeckt.

Er führte einige Experimente mit Licht durch. Dabei interessierte er sich für die wärmende Kraft der verschiedenen Farben des sichtbaren Spektrums. Er erzeugte ein Spektrum des weißen Sonnenlichts und ließ die Farben einzeln auf das geschwärzte Ende eines Thermometers fallen. Wie er feststellte, erhöhte sich die Wärmewirkung zum roten Ende des Spektrums hin. Sie nahm sogar über das rote Licht hinaus zu, das er sehen konnte. Er hatte die *infraroten* Strahlen gefunden, die sich an die rote Grenze des Spektrums anschließen und nicht mehr sichtbar sind. („Infra“ bedeutet im lateinischen „unter“.) Sie haben eine größere Wellenlänge als das rote Licht. Dieses infrarote Licht ist ein wichtiger Bestandteil der Strahlen, die nach unserem heutigen Wissen von jedem Gegenstand ausgesendet werden.

Kurz nach Herschels Entdeckung der infraroten Strahlen fand der deutsche Chemiker Johann Wilhelm Ritter Strahlen, die das sichtbare Spektrum über sein violettes Ende hinaus fortsetzen und ebenfalls nicht für unser Auge sichtbar sind: Es sind die *ultravioletten* Strahlen – sie haben kürzere Wellenlängen und höhere Frequenzen als die violetten Lichtwellen. („Ultra“ ist lateinisch und bedeutet „über“.)

Die Quarzlampe einer Höhensonne erzeugt ein starkes ultraviolettes Licht zum Bräunen der Haut. Ultraviolette Strahlen sind für die Augen besonders gefährlich. Deshalb darf man auf keinen Fall in eine Höhensonne hineinschauen, man kann seine Augen schädigen.

Im hohen Gebirge und an der See ist der Anteil der UV-Strahlung (abgekürzt für ultraviolett) am Sonnenlicht besonders groß. Die Pupillen der Augen werden ganz klein, weil es dort auch recht hell ist. Setzt man eine verdunkelnde Sonnenbrille auf, wird Licht zurückgehalten und die Pupillen erweitern sich wieder. Da die UV-Strahlung die Augennerven

reizt, sie sogar schädigt, aber keinen Lichteindruck bewirkt, denn wir können sie ja nicht sehen, könnte der erweiterten Pupille wegen zu viel vom UV-Licht in das Auge gelangen. Das Glas der Sonnenbrille muß auch das UV-Licht vom Auge fernhalten, sonst taugt es nichts. Diese UV-Strahlung erzeugt auch das Ozon in der oberen Erdatmosphäre. Diese Ozonschicht wirkt wie ein Filter, der den größten Teil der UV-Strahlung von der Erde fernhält. Wegen der Schädigung lebender Zellen durch UV-Strahlung wäre ohne die Ozonschicht unser Leben auf der Erde unmöglich. Sonnenbrand entsteht zum Beispiel durch die kleine Menge UV-Strahlung, die uns auf der Erde erreicht.

Je höher die Temperatur eines Körpers

**Wie kann man
ohne Licht
fotografieren?**

ist, um so mehr Wärme strahlt er ab. Steigert man seine Temperatur immer weiter, strahlt der Körper

nicht nur Wärme aus, sondern auch Licht. Wir benutzen diese Erkenntnis im täglichen Leben. In der elektrischen Glühlampe wird die Temperatur eines dünnen Drahtes im Inneren des Glaskörpers gesteigert, indem man den elektrischen Strom hindurchschickt. Der Draht beginnt zu glühen und strahlt Licht und Wärme aus. Das gleiche gilt für ein Stück Eisen, wenn wir es im Feuer erhitzen. Zunächst wird es so heiß, daß wir es nicht mehr berühren können; führen wir weiterhin Wärme zu, glüht es schließlich und sendet rotes Licht aus. Die infrarote Strahlung hat also eine große Bedeutung. Wir verwenden sie in mannigfacher Weise. In der Autolackiererei trocknet der Lack mit Hilfe infraroter Strahlen sehr schnell. Es gibt auch fotografische Filme, die nur für infrarote Strahlen empfindlich sind. Mit diesen Spezialfilmen ist es möglich, mit einer

einfachen Kamera Aufnahmen in völliger Dunkelheit zu machen. Der Kontrast des auf dem Film entstehenden Bildes hängt von der Temperatur der verschiedenen aufgenommenen Gegenstände ab – je wärmer ein Gegenstand ist, desto heller erscheint er auf dem fertigen Foto. Mit der Infrarotfotografie kann man zum Beispiel Krebsgeschwüre aufspüren, weil Krebszellen mehr Wärme abgeben als gesunde Zellen.

Erhitzt man einen Stoff, zum Beispiel den dünnen Draht einer elektrischen Glühlampe, sendet er Licht aus. Es ist jedoch möglich, daß ein Körper Licht aussendet, ohne erhitzt zu werden. Bestimmte Stoffe beginnen zu

Was ist Fluoreszenz?



„Unsichtbares Licht“ kann auch Fingerabdrücke, die in gewöhnlichem Licht nicht zu sehen sind, sichtbar machen. Behandelt man die Abdrücke mit einem fluoreszierenden Pulver und setzt die Abdrücke dann unsichtbarem oder fluoreszierendem Licht aus, werden sie sichtbar.

leuchten, wenn sie den unsichtbaren ultravioletten Strahlen ausgesetzt werden. Man sagt, sie *fluoreszieren*. Der englische Gelehrte George Stokes entdeckte die Fluoreszenz bestimmter Stoffe um 1850. Seine Entdeckung führte schließlich zur Leuchtstofflampe, deren Lichtausbeute rund viermal so groß ist wie bei einer Glühlampe, weil sie nicht so viel Verlustwärme erzeugt wie die Glühlampe. Die Innenseite eines Glasrohres ist mit einer Leuchtstoffschicht bedeckt und das Rohr selbst mit einem bestimmten Gas gefüllt. Elektronen, die durch das Gas des Rohres „schießen“, erzeugen ultraviolettes Licht, das vom Gas ausgeht und bewirkt, daß die Leuchtstoffschicht an der Innenwand der Glasrohres aufleuchtet (fluoresziert).

Wir nutzen unsere Kenntnisse von der Fluoreszenz und den ultravioletten Strahlen, um ein besonderes Licht zu erzeugen. Füllt man eine Lampe für fluoreszierendes Licht mit einem bestimmten Gas, so bemerkt man, daß ihr Füllgas sowohl sichtbares als auch ultraviolettes Licht aussendet. Ist die Lampe aus einem Glas gefertigt, das nur ultraviolettes Licht durchläßt, das sichtbare Licht jedoch absorbiert, so hat man eine Schwarzlichtlampe, die nur ultraviolettes Licht aussendet, das Licht, das unser Auge nicht wahrnimmt. Die Lampe „leuchtet“, und doch ist es dunkel. Trifft das UV-Licht dieser Lampe auf fluoreszierende Farbstoffe, so leuchten diese Farbstoffe hell auf.

Unsere Briefmarken z. B. enthalten eine fluoreszierende Farbe. Wenn in einer automatischen Stempelanlage der Brief von der Schwarzlichtlampe bestrahlt wird, leuchtet die Briefmarke auf, und die Maschine wendet den Brief automatisch, bis die Briefmarke oben rechts erscheint – dort, wo die Maschine die Briefmarke mit dem Stempel entwerfen kann.



Mit dem Schwarzlicht kann man Fälschungen erkennen, z. B. Änderungen in Pässen und Ausweisen. Sogar „zaubern“ kann man. Auf der unbeleuchteten Bühne steht ganz in Schwarz gekleidet ein Mensch. Man kann ihn in der Dunkelheit nicht sehen. Auf seinem eng anliegenden Gymnastikanzug sind die Knochen eines Menschen in fluoreszierender Farbe gemalt. Beleuchtet man die Bühne mit Schwarzlicht, so leuchten nur die gezeichneten Knochen auf, und auf der Bühne bewegt sich ein Gerippe. Manchmal sendet ein Stoff minuten- oder stundenlang Licht aus, nachdem die Quelle des ultravioletten Lichts längst ausgeschaltet ist. Diese Erscheinung nennt man *Phosphoreszenz* oder Nachleuchten. Viele Lichtschalter haben einen phosphorisierenden Knopf, damit man ihn im Dunkeln schnell finden kann.

Der deutsche Physiker Wilhelm Conrad

Was sind Röntgenstrahlen?

Röntgen machte 1895 eine Entdeckung: Wenn in einer luftleeren Glasröhre sehr schnelle Elektronen auf eine Metallplatte treffen und ganz plötzlich gebremst werden, leuchtet ein mit einer bestimmten Chemikalie beschichteter Schirm im verdunkelten Raum auf, obwohl die Röhre mit

schwarzem Karton umhüllt war. Auch fotografische Platten wurden im dunklen Raum belichtet, und Röntgen schloß aus diesen Beobachtungen, daß die Röhre unsichtbare Strahlen aussenden mußte. Er nannte diese neuen Strahlen „X-Strahlen“, weil in der Mathematik x für eine unbekannte Größe steht. Sie wurden aber schon bald nach ihm „Röntgenstrahlen“ genannt. Dieser Name hat sich allerdings nur im deutschen Sprachgebiet durchgesetzt. Im Ausland spricht man meist auch heute von „X-Strahlen“.

Das Röntgenstrahlenspektrum besteht aus einer Gruppe von Wellen verschiedener Länge. Die längeren, die man „weiche Röntgenstrahlen“ nennt, können nur weiche Stoffe wie zum Beispiel Fleisch durchdringen. Man verwendet sie, um Knochen oder Organe im menschlichen Körper zu fotografieren. Die Röntgenstrahlen mit kürzerer Wellenlänge, die „harten Strahlen“, dringen durch dichte Substanzen wie Stahl und andere Metalle und werden in der Industrie benutzt, um in Metallteilen und in Schweißnähten nach verborgenen Rissen oder anderen Mängeln zu suchen. Neben diesen praktischen Anwendungen waren aber vor allem die wissenschaftlichen Folgen von Röntgens Entdeckung wichtig. Sie führte dazu, daß Physiker nach weiteren, bisher unbekannten Strahlungsarten zu suchen begannen.

