

# PHILIPS



# D

# Physik Experimentierkasten PE 1502



© Philips GmbH, Abt. Technische Spielwaren, Hamburg – 1975/3

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck und fotomechanische Wiedergabe – auch auszugsweise – nicht gestattet.

Wir übernehmen keine Gewähr, daß die in diesem Buch enthaltenen Angaben frei von Schutzrechten sind.

Technische Änderungen vorbehalten.

**Anleitungsbuch**  
**zum Physik-Experimentierkasten**  
**PE 1502**

Herausgegeben von der Philips GmbH

Abt. Technische Spielwaren, 2 Hamburg 1, Mönckebergstraße 7

**INHALTSVERZEICHNIS**

Seite

Seite

<b>Vorwort</b>	4
<b>Inhaltsübersicht</b>	5

<b>1. Wärme und Kälte</b>	6
1.1. Der Temperatursinn trägt	6
1.2. Wie das Thermometer die Temperatur anzeigt	7
1.3. Ein ganz einfacher Temperaturanzeiger	8
1.4. Temperaturmessungen	8
1.5. Ausdehnung auch bei festen Körpern?	8
1.6. Ein entspannter Draht	9
1.7. Ein Luftballon wird gemessen	9
1.8. Eine zweite Messung	9
1.9. Die springende Münze	10
1.10. Entweichende Luft wird sichtbar	10
1.11. Nun umgekehrt	10
1.12. Heißluft	10
1.13. Zusammengepreßte Luft	11
1.14. Unsichtbar angehoben	11
1.15. Erwärmte Luft kann Arbeit verrichten	11
1.16. Die Ausnahme	12
1.17. Gefrorenes Wasser schwimmt	12
1.18. Ein Eisberg schmilzt	12
1.19. Eis verhindert Erwärmung	12
1.20. Kaltes Wasser auf der Heizplatte	12
1.21. Eis taut auch bei Kälte	13
1.22. Eis schmilzt unter Druck	13
1.23. Eine sonderbare Abkühlung	14
1.24. Eine angenehme Erfrischung	14
1.25. Eingeschlossene Flüssigkeit	14
1.26. Wärme wandert	14
1.27. Unterschiedliche Wärmeleitung	14
1.28. Immer der Reihe nach	15
1.29. Ein Trick mit der Wärmeleitung	15
1.30. „Gekochtes“ Eis	15
1.31. Unterschiedliche Temperaturen	15
1.32. Wasser kocht über Papier	15
1.33. Ein Tropfen tanzt	16
1.34. Vorsicht, heißes Fett	16
1.35. Noch einmal Wärmeströmung	16
1.36. Auch seitlich Wärme?	16
1.37. Kontrolle mit dem Thermometer	16
1.38. Auf die Oberfläche kommt es an	16
1.39. Wärme durch elektrischen Strom	17

<b>2. Akustik – die Lehre vom Schall</b>	18
2.1. Der schwingende Stab	18
2.2. Wasser spritzt im Takt	19
2.3. Wie der Schall übertragen wird	19
2.4. Schallausbreitung	19
2.5. Auf Wellen schwingen	19
2.6. Eine Tonstörung	20
2.7. Schwingungen sichtbar gemacht	20
2.8. Geräusch und Knall	20
2.9. Nicht nur Luft überträgt den Schall	21
2.10. Der singende Faden	21
2.11. Ein Fadentelefon	21
2.12. Blitz und Donner	21
2.13. Der Schall wird verstärkt	22
2.14. Hohe und tiefe Töne	22
2.15. Gummiband erzeugt Töne	22
2.16. Laute und leise Töne	22
2.17. Weite Schwingungen	23
2.18. Schwingende Luft	23
2.19. Eine einfache Flöte	23
2.20. Ein gläsernes Musikinstrument	23
2.21. Wie die Stimmbänder	23
2.22. „Da wackeln die Wände“	24
2.23. Schreck in der Morgenstunde	24
2.24. Die Uhr tickt unter Wasser	24
2.25. Ein Schalldämpfer	24
2.26. So schläft es sich gut	25
2.27. Der Schall wird zurückgeworfen	25
2.28. Ein Plattenspielerverstärker	25

<b>3. Optik – Die Lehre vom Licht</b>	26
3.1. Schwarz und weiß	26
3.2. Unsichtbares Licht	27
3.3. Licht sichtbar gemacht	27
3.4. Ein Lichtigel	27
3.5. Schattenbildung	27
3.6. Wandernde Schatten	27
3.7. Schattenraum	28
3.8. Kern- und Halbschatten	28
3.9. Weiß, hellgrau, dunkelgrau, schwarz	28
3.10. Die Erde im Schatten	29
3.11. Stärke des Lichts	29
3.12. Beleuchtungsstärke	29

	Seite		Seite		
3.13.	Senkrecht geht es leichter	30	3.35.	Ein unscharfes Bild	39
3.14.	Wasser bricht den Stab?	30	3.36.	Hell und klar	39
3.15.	Über den Rand gucken	30	3.37.	Ein Linsenfehler wird behoben	40
3.16.	Ein Glas zum Brennen	31	3.38.	Wir zaubern Tiefenschärfe	40
3.17.	Ein Bildschirm auf Papier	31			
3.18.	Die Linse erzeugt ein Bild	32	<b>4. Fliegen und Gleiten</b>		41
3.19.	Die Bildweite verändert sich	32	4.1.	Eine Kraft wirkt nach oben	42
3.20.	Die Kerze wird vergrößert	33	4.2.	Der Winkel ist richtig	42
3.21.	Ein Vergrößerungsglas	33	4.3.	Eben oder gewölbt?	43
3.22.	Ferne Gegenstände rücken näher	34	4.4.	Doppelsog	43
3.23.	Kleiner Gegenstand ganz groß	34	4.5.	Der Sturm deckt Dächer ab	44
3.24.	Ist unser Auge zuverlässig?	35	4.6.	Windschatten	44
3.25.	Auch eine Täuschung	35	4.7.	Luftwirbel	44
3.26.	Dein Auge – blind?	36	4.8.	Steuern durch Strömung	44
3.27.	Die Linse hilft	36	4.9.	Ein einfaches Flugmodell	45
3.28.	Eine Schlitzblende für Versuche	37	4.10.	Propellerantrieb	45
3.29.	Abprallende Lichtstrahlen	37	4.11.	Verstellpropeller	45
3.30.	Weißes Papier als Spiegel?	38	4.12.	Rückstoßantrieb	45
3.31.	Merkwürdiges zur Spiegelschrift	38	4.13.	Ein einfacher Düsenjäger	46
3.32.	Sehen wir uns selbst?	38	4.14.	Steigflug	46
3.33.	Um die Ecke sehen	38	4.15.	Hubschrauberantrieb	46
3.34.	Fotografieren ohne Linse?	39	4.16.	Autorotation	46

# Vorwort

*Lieber Jung-Physiker, mit der Physik hast Du Dir ein Hobby gewählt, das nicht nur hochinteressant und abwechslungsreich ist – ja es ist so, daß die Physik oft als die Königin der Naturwissenschaften bezeichnet worden ist. Bestimmt wird Dir die Beschäftigung mit diesem Experimentierkasten viel Freude machen. Auch kannst Du Dich bestimmt Deinen staunenden Freunden als Zauberer präsentieren. Die schönsten Spielzeuge sind immer diejenigen, die man selber baut. Dieser Physik-Experimentierkasten führt Dich Schritt für Schritt in eine Welt voller Wunder und Abenteuer.*

*Weit in die Vergangenheit reichen die uns überlieferten Anfänge der physikalischen Forschung, bis ins 3. Jahrhundert vor Christi Geburt, als der Dir gewiß bekannte Archimedes die Gesetze des Schwerpunktes, des Hebels und des Auftriebs fand. Diese neugewonnenen theoretischen Kenntnisse setzte dieser in die Praxis um und baute Wurfmaschinen, eine mechanische Bewässerungsanlage und Flaschenzüge. Und so ging es fort im Laufe der Jahrhunderte: Wissenschaftler forschten und experimentierten, um dann die gefundenen Ergebnisse auf nutzbringende Weise anzuwenden. Einer baute auf den Erkenntnissen des anderen auf – die Geschichte berichtet von Galilei, der die Fallgesetze erforschte, über Newton, über die grundlegenden Entdeckungen der Elektrizität im 18. und 19. Jahrhundert, bis zu Einsteins Relativitäts-Theorie, die den Abschluß der klassischen Physik bedeutet. Heute hat die Physik neue faszinierende Zweige dazubekommen: die Atom- und die Kern-Physik. In den interessantesten Branchen findest Du den kühlen Forscher, den Physiker: in der Atomtechnik, dem Flugzeugbau, der Weltraumtechnik, der Datenverarbeitung, der Elektronik.*

*Ja, die Physik ist kein Thema für weltfremde Träumer. Nichts ist hier dem Zufall überlassen – alles unterliegt bestimmten Regeln und Gesetzen. Sie zu finden und zu nutzen, dazu verhilft Dir dieser Physik-Experimentierkasten. Genau wie einem richtigen Physiker wird es Dir ergehen: Du findest ein physikalisches Gesetz und kannst es sofort nutzbringend verwenden: ob Du nun Deine Freunde mit Versuchen verblüffst oder funktionsfertige Geräte baust – Du wirst sehen, daß die Physik in der Tat ein faszinierendes Hobby ist, das einem aufgeweckten Jungen alle Chancen für die Zukunft bietet.*

*Vielleicht hast Du im Fernsehen schon ein paar Sendungen von mir gesehen, die ich eigens für junge Menschen in jedem Jahr produziere. Viele Briefe junger Leute zu diesen Sendungen haben mir gezeigt, daß Ihr die Welt kennenlernen wollt, in der wir leben und die unsere Zukunft gestalten wird. Und das hat sich mir bei den großen Jugend-Wettbewerben immer wieder gezeigt. Als Jury-Mitglied des PHILIPS-Europa-Wettbewerbes für junge Forscher und Erfinder habe ich immer wieder darüber gestaunt, mit welchem Eifer und mit welcher Phantasie junge Leute heute schon sehr reife Forschungen betreiben.*

*Dieser Experimentierkasten soll Dir helfen, die ersten Schritte zum Verständnis unserer Zeit selbst zu gehen. Nur wenn man die Natur und ihre Gesetze begreift, kann man ein moderner Mensch sein und aufgeschlossen für das spannendste intellektuelle Abenteuer unseres Jahrhunderts.*



PROFESSOR DR. HEINZ HABER

Inhalt des Physik-Experimentierkastens PE 1502

Bestell-Nr.	Gegenstand	Inhalt
349.4005	Reagenzglas	1
4008	Glasrohr	1
4030	Gummistopfen, einfach durchbohrt	1
5018	Stahldraht	1
5039	Thermometer	1
5040	Lupe 50 mm	1
5051	Lupe 200 mm mit Griff	1
5041	Stimmgabel	1
5047	Lineal	1
5048	Teelicht	1
5050	Luftballon	1
5052	Spiegel	1
5070	Luftschraube mit Griff	1
5071	Pappe Chromolux (schwarz-weiß)	1
5072	Pappe schwarz	1
5789	Anleitungsbuch	1

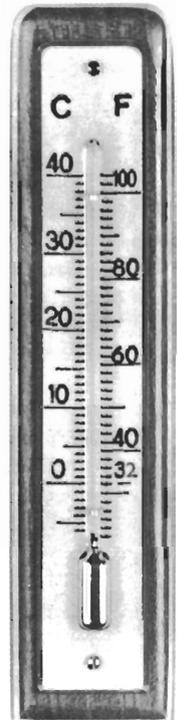
# 1. Wärme und Kälte

Warm und kalt sind sehr allgemeine Bezeichnungen für den Wärmezustand, die **Temperatur** eines Körpers.

Mit Hilfe unseres Temperatursinns können wir aber diesen Wärmezustand nur sehr ungenau angeben und sind sogar Täuschungen unterworfen. Bei der Beurteilung der Lufttemperatur eines Raumes spielt z. B. die Außentemperatur eine entscheidende Rolle.

Gehen wir im Winter aus einem geheizten Zimmer in einen unbeheizten Raum, so lautet unser Urteil: kalt. Haben wir uns jedoch längere Zeit bei Kälte im Freien aufgehalten und betreten nun den gleichen Raum, so empfinden wir die dort herrschende Temperatur schon als angenehm warm. Obwohl beide Male die gleiche Temperatur herrschte, sind wir auf Grund unseres persönlichen Empfindens zu unterschiedlichen Urteilen gelangt. Für genaue Temperaturbestimmungen benötigen wir deshalb einen unbestechlichen Temperaturmesser, das **Thermometer**.

In den folgenden Versuchen sollst du nun etwas über die Wärme und ihre Auswirkungen auf andere Stoffe erfahren.



Zimmerthermometer

Abb. 1

## 1.1. Der Temperatursinn trügt

Stelle drei Schüsseln nebeneinander. Fülle in die erste Wasser von etwa 40 Grad, in die mittlere von 25 Grad und in die dritte von 10 Grad (Wasser von 10 Grad kannst du dir bereiten, indem du Eiswürfel in Leitungswasser schmelzen läßt). Überprüfe die Wassertemperatur jeweils mit dem Thermometer. Tauche nun die rechte Hand in die Schüssel mit 40 Grad warmem Wasser, die linke Hand in die mit 10 Grad warmem Wasser. Nach kurzer Zeit tauche dann beide Hände gleichzeitig in die mittlere Schüssel. Was stellst du fest?

*Zu deinem Erstaunen erkennst du, daß die rechte Hand das Wasser in der mittleren Schüssel als kalt, die linke es aber als warm empfindet. Unser Temperatursinn hat uns bei der Beurteilung der Wassertemperatur in der mittleren Schüssel einen Streich gespielt, weil die Ausgangssituation für jede Hand eine andere war. Nur die Temperaturmessung mit dem Thermometer ist unabhängig von äußeren Umständen.*

Die Abb. 2 zeigt dir die Teile eines Thermometers.



Abb. 2

Glasrohr

Gradeinteilung

Flüssigkeit

Flüssigkeitsgefäß

### 1.2. Wie das Thermometer die Temperatur anzeigt

Halte das Thermometer aus deinem Physik-Experimentierkasten etwa 15 cm über die Kerzenflamme. Anschließend tauche es in kaltes Wasser.

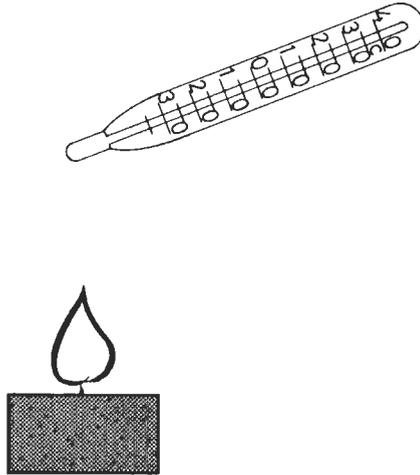


Abb. 3

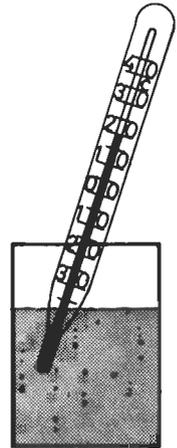


Abb. 4

Wenn das Thermometer erwärmt wird, steigt die Flüssigkeit im Glasrohr, wird es abgekühlt, fällt die Flüssigkeit. Auf der Skala mit Stricheinteilung können wir die Temperatur ablesen. Jeder Strich auf der Gradeinteilung des Thermometers bedeutet ein Grad. In der Abb. 5 siehst du, daß die Flüssigkeit im Glasrohr bis zur 18 auf der Gradeinteilung reicht. Die Temperatur beträgt also 18 Grad. Für Grad gibt es eine Abkürzung: 18 Grad oder  $18^{\circ}$ . Allgemein gebräuchlich ist heute das Thermometer, das der schwedische Naturforscher Celsius entworfen hat. Der Abstand zwischen zwei Teilstrichen heißt Celsiusgrad oder  $1^{\circ}$  Celsius, abgekürzt  $1^{\circ}\text{C}$ .

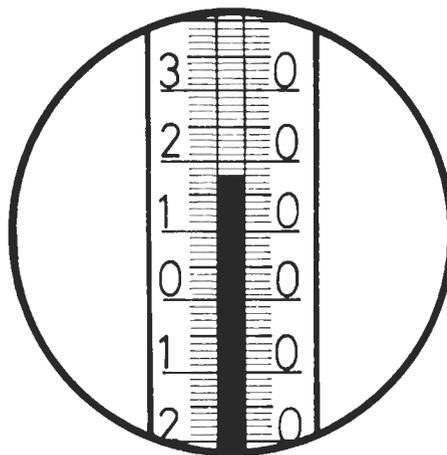


Abb. 5

Im Sprachgebrauch bezeichnen wir Temperaturen über  $0^{\circ}\text{C}$  als Wärme, Temperaturen unter  $0^{\circ}\text{C}$  als Kälte.

### 1.3. Ein ganz einfacher Temperaturanzeiger

Unter welchen Bedingungen bei einem Thermometer die Flüssigkeit steigt oder fällt, kannst du selbst untersuchen.

Fülle dazu ein Reagenzglas bis zum Rand mit kaltem Wasser und gib ein paar Tropfen Tinte hinzu.

Schiebe jetzt das Glasrohr in die Bohrung des Stopfens (Glasrohr vorher anfeuchten!) und setze den Stopfen mit dem Glasrohr auf das Reagenzglas. Dabei steigt das Wasser in der Röhre empor. Markiere dir den Flüssigkeitsstand und erwärme das Reagenzglas vorsichtig über der Kerzenflamme (Abb. 6). Achte darauf, daß die Flüssigkeit nicht zu sieden beginnt.

Anschließend stelle das Reagenzglas in ganz kaltes Wasser (Abb. 7). Beim Erwärmen dehnt sich die Flüssigkeit im Reagenzglas aus, sie benötigt dann mehr Raum. Deshalb steigt sie im Glasrohr empor. Wird die Flüssigkeit abgekühlt, benötigt sie weniger Raum, zieht sich zusammen und sinkt im Glasrohr wieder. Das ist bei allen Flüssigkeiten so.

Diese Tatsache hat man sich bei der Konstruktion des Thermometers zunutze gemacht.

Allerdings verwendet man im Thermometer kein Wasser, da es schon bei  $0^{\circ}\text{C}$  gefriert. Die meisten Thermometer enthalten gefärbten Alkohol oder Quecksilber. Damit können auch Temperaturen unter dem Gefrierpunkt des Wassers gemessen werden.

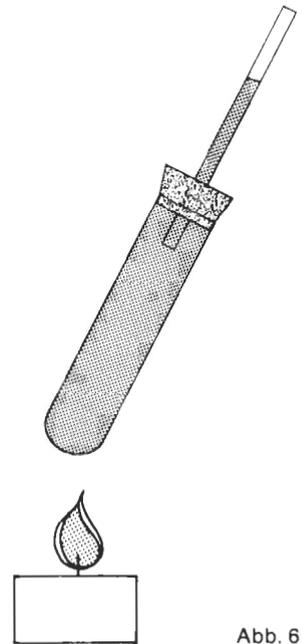


Abb. 6

### 1.4. Temperaturmessungen

Führe mit dem Thermometer aus deinem Experimentierkasten verschiedene Temperaturmessungen in deiner Umgebung durch (Leitungswasser, Badewasser, Zimmertemperatur, deine eigene Körpertemperatur usw.). Beobachte dabei die Flüssigkeit im Glasrohr! Die blaue Flüssigkeit steigt im Glasrohr auf und ab. Durch den unterschiedlichen Flüssigkeitsstand im Steigrohr läßt sich die Temperatur auf der Skala ablesen (vgl. Abb. 5).

Der Wärmezustand der jeweiligen Umgebung wirkt auf die Thermometerflüssigkeit. Sie dehnt sich bei Erwärmung aus und steigt deshalb im Glasrohr. Beim Erkalten zieht sie sich zusammen und sinkt entsprechend.

### 1.5. Ausdehnung auch bei festen Körpern?

Um zu untersuchen, ob sich auch feste Körper beim Erwärmen ausdehnen, nimm einen Schlüssel, durch dessen Öffnung am Griff sich eine Münze, z. B. ein Pfennigstück, gerade noch hindurchdrücken läßt (du mußt dazu evtl. mehrere Schlüssel durchprobieren). Halte die Münze mit der Zange oder einer Pinzette und erhitze sie über einer Kerzenflamme. Prüfe, ob sich die Münze jetzt auch noch durch die Öffnung schieben läßt (Abb. 8). Nach dem Erkalten des Geldstückes wiederhole die Probe.

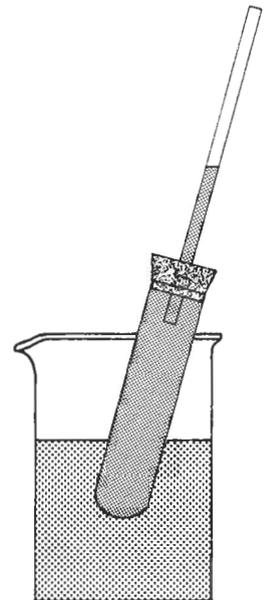


Abb. 7

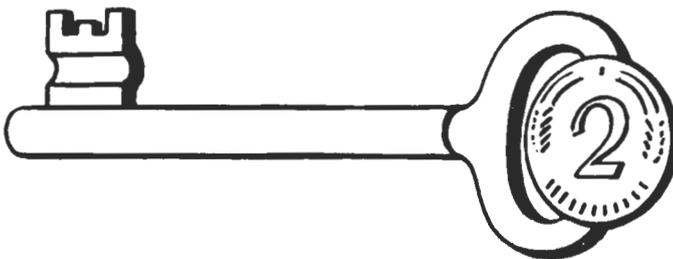


Abb. 8

Die stark erhitzte Münze läßt sich nicht mehr durch die Öffnung am Schlüsselgriff schieben, nach dem Erkalten paßt sie jedoch wieder hindurch. Beim Erhitzen hat sich die Münze ausgedehnt, sie ist größer geworden. Während des Abkühlens zieht sie sich zusammen und nimmt schließlich ihre ursprüngliche Form wieder an.

Die Tatsache, daß sich auch feste Stoffe bei Erwärmung ausdehnen, muß beim Bau langer Brücken oder beim Verlegen von Eisenbahnschienen berücksichtigt werden. Betonstraßen (Autobahnen) haben aus diesem Grunde in gewissen Abständen mit Teer ausgefüllte Zwischenräume (Dehnungsfugen), um das Brechen der Oberfläche durch Ausdehnung bei starkem Erwärmen zu verhindern.

#### 1.6. Ein entspannter Draht

Stelle zwei Stühle etwa im Abstand von 2 m auf und spanne zwischen den Lehnen einen dünnen Draht. Günstig ist es, wenn du die Sitzflächen der Stühle noch mit Büchern oder ähnlich schweren Gegenständen belastest, damit die Stühle nicht verrutschen können. In der Mitte des Drahtes befestige eine größere Schraube oder einen entsprechenden Gegenstand. Erwärme nun den Draht an einer Stelle mit der Kerzenflamme (Abb. 9). Was kannst du beobachten, und was geschieht nach dem Erkalten des Drahtes?

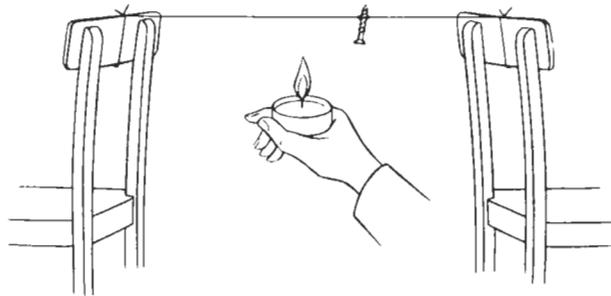


Abb. 9

Nach kurzer Zeit schon hängt der Draht durch. Durch die Erwärmung dehnt sich das Metall aus, dabei „entspannt“ sich der Draht. Nach dem Erkalten kehrt er in die Ausgangsstellung zurück.

#### 1.7. Ein Luftballon wird gemessen

Blase einen Kinderluftballon mäßig stark auf und verschließe ihn gut. Es darf auf keinen Fall Luft entweichen. Markiere mit einem Filzstift eine Linie rund um den Ballon und miß an dieser Linie den Umfang mit einem Schneiderbandmaß. Anschließend lege den Ballon eine Stunde in den Kühlschrank oder kühle ihn einige Minuten unter fließendem kaltem Wasser ab. Miß dann erneut den Umfang und vergleiche die Ergebnisse!

Die Messung nach dem Abkühlen zeigt einen kleineren Wert. In der Kälte ziehen sich auch Gase, in unserem Falle die Luft im Ballon, zusammen. Dadurch verringert sich der Rauminhalt, der Umfang des Ballons wird kleiner.

#### 1.8. Eine zweite Messung

Gib den aufgeblasenen Luftballon aus Vers. 1.7. nun in einen zur Hälfte mit heißem Wasser gefüllten Eimer und decke ihn ab. Nach einiger Zeit miß wieder den Umfang des Ballons und vergleiche mit den Ergebnissen aus Vers. 1.7.!

Die Luft im Ballon wird durch das heiße Wasser erwärmt und dehnt sich aus. Die Messung ergibt: der Umfang des Luftballons hat sich vergrößert.

Alle Stoffe, ob fest, flüssig oder gasförmig, dehnen sich beim Erwärmen aus und ziehen sich beim Abkühlen zusammen.

### 1.9. Die springende Münze

Kühle eine leere Wein- oder Bierflasche unter kaltem Leitungswasser gut ab. Dann lege ein angefeuchtetes 10-Pfennig-Stück so auf die Öffnung, daß diese gut verschlossen ist. Anschließend nimm die Flasche fest in beide Hände (Abb. 10) und beobachte das 10-Pfennig-Stück!

*Nach kurzer Zeit hebt sich die Münze leicht an und fällt wieder auf die Öffnung zurück. Dieser Vorgang wiederholt sich zwei- bis dreimal.*

*Das Leitungswasser kühlt die Luft innerhalb der Flasche ab. Die Luft zieht sich zusammen. Durch das Auflegen der Hände (Körperwärme) wird die Luft erwärmt, dehnt sich aus und hebt die Münze an, um zu entweichen.*

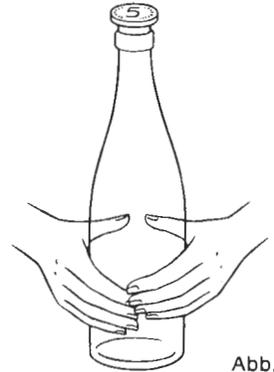


Abb. 10

### 1.10. Entweichende Luft wird sichtbar

Setze den durchbohrten Stopfen mit dem Glasrohr auf das leere Reagenzglas und kühle das Glas unter Leitungswasser ab. Nun halte die Mündung des Glasrohres in ein Gefäß mit Wasser und umspanne das Reagenzglas mit der Hand (Abb. 11). Du kannst es anschließend auch noch leicht mit der Kerzenflamme erwärmen. Was beobachtest du?

*Aus dem Glasrohr entweichen unter Wasser kleine Bläschen. Das Umspannen mit der Hand bewirkt eine Erwärmung des Glases. Die Luft im Glas dehnt sich aus und entweicht durch das Rohr. Beim Erwärmen mit der Kerzenflamme verlassen mehr Gasbläschen das Röhrchen, denn bei stärkerer Erwärmung nimmt die Ausdehnung der Luft zu.*

### 1.11. Nun umgekehrt

Benutze für diesen Versuch wieder das Reagenzglas mit dem aufgesetzten Glasrohr. Erwärme das leere Glas leicht über der Kerzenflamme. Tauche dann die Öffnung des Glasrohres in ein Gefäß mit Wasser, blase Luft gegen das Reagenzglas und beobachte! Wasser dringt in das Reagenzglas ein. Bei der Erwärmung hat sich die Luft ausgedehnt und ist entwichen. Beim Abkühlen zieht sie sich wieder zusammen. Da jetzt die Mündung des Glasrohres ins Wasser ragt, steigt für die bei der Erwärmung entwichene Luft Wasser ins Reagenzglas.

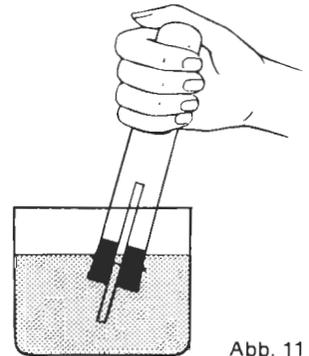


Abb. 11

### 1.12. Heißluft

Stecke in den Hals einer leeren Flasche ein Stück Papier, entzünde es und stoße es in die Flasche. Warte ab, bis das Papier verbrannt ist und die Flamme erlischt. Spanne dann sofort ein Stückchen Gummihaut von einem Luftballon fest über die Flaschenöffnung.

*Nach kurzer Zeit wölbt sich die Ballonhaut immer weiter in die Flasche hinein. Beim Verbrennen des Papiers wird die Luft in der Flasche erwärmt, dehnt sich aus und entweicht zum Teil durch die Öffnung. Ist die Flamme erloschen, kühlt die Luft ab und zieht sich wieder zusammen. Da jetzt die Ballonhaut über die Öffnung gespannt ist, kann keine Luft von außen einströmen. Der Luftdruck auf die Ballonhaut bewirkt die Wölbung nach innen.*

*Wenn du die Gummihaut aufstichst, zerplatzt sie mit einem Knall.*

### 1.13. Zusammengepreßte Luft

Sicher ist es dir schon aufgefallen, daß sich beim Aufpumpen des Fahrrades das untere Ende der Luftpumpe erwärmt. Halte das Flüssigkeitsgefäß des Thermometers an die Öffnung einer Fahrradpumpe und führe einige Pumpenstöße aus (Abb. 13).

*Auf dem Thermometer kannst du ein Ansteigen der Temperatur ablesen. Wenn Luft zusammengedrückt wird, erwärmt sie sich. Das gilt auch für andere Gase.*

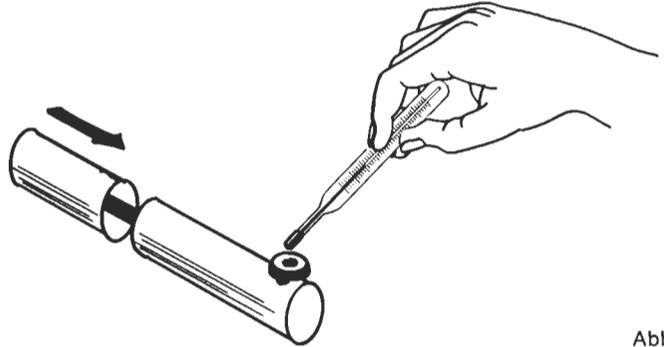


Abb. 13



Abb. 14

### 1.14. Unsichtbar angehoben

Lege auf die Öffnung einer Pappröhre, wie sie zum Aufwickeln von Toilettenpapier benutzt wird, ein Blättchen dünnes Papier (Seidenpapier). Halte die untere Öffnung der Röhre in einem solchen Abstand über eine Kerzenflamme, daß sich die Pappe nicht entzündet (Abb. 14). Beobachte das Papierstückchen!

*Das Papierblättchen hebt sich. Wenn es nicht zu schwer ist, fällt es seitlich herunter. Durch die Kerzenflamme wird die Luft in der Pappröhre erwärmt. Sie dehnt sich aus, steigt auf und drückt das aufliegende Papier weg. Mit strömender Luft kann Wärmeenergie transportiert werden. Diesen Vorgang nennt man W ä r m e s t r ö m u n g .*

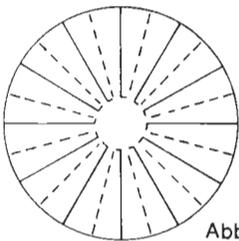


Abb. 15

### 1.15. Erwärmte Luft kann Arbeit verrichten

Fertige dir wie in Abb. 15 ein Flügelrad aus festem Papier. Setze dieses Rad auf die Spitze einer Stricknadel und stecke die untere Spitze der Nadel so in einen Korken, daß sie senkrecht steht. Stelle dann ein oder zwei kleine Kerzen (Kerzenstummel) unter das Flügelrad (Abb. 16). Entzünde die Kerzen und beobachte das Rad!

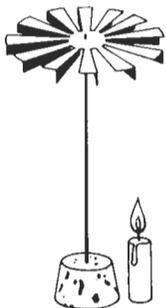


Abb. 16

*Schon nach kurzer Zeit setzt sich das Flügelrad in Bewegung. Evtl. mußt du beim ersten Mal durch einen kleinen Anstoß etwas nachhelfen, weil das Rad zu fest auf der Nadel sitzt.*

*Wie in Vers. 1.14. dehnt sich die erwärmte Luft aus, steigt auf, und die Wärmeströmung versetzt das Flügelrad in Bewegung. Nach diesem Prinzip werden auch die „Weihnachtsmühlen“ angetrieben.*

**1.16. Die Ausnahme**

Fülle ein verschraubbares Tablettenröhrchen oder Medizinfläschchen vollständig mit Wasser. Verschließe das Röhrchen und gib es in einen kleinen Plastikbeutel. Dann lege es für die Nacht in das Eisfach des Kühlschranks. Welche Beobachtung kannst du am nächsten Morgen machen?

*Durch die Eisbildung sind die Wände des Gefäßes gesprengt worden. In den vorigen Versuchen hast du erfahren, daß sich alle Körper beim Erwärmen ausdehnen und bei Abkühlung zusammenziehen. Wasser dehnt sich bei Erwärmung wie alle anderen Körper ebenfalls aus. Außerdem findet eine sprunghafte Ausdehnung beim Übergang vom flüssigen in den festen Zustand statt, d. h., wenn Wasser gefriert. Die bei dieser Ausdehnung frei werdenden Kräfte sind so stark, daß selbst eiserne Gefäße (Wasserrohre) platzen. wenn es darin zur Eisbildung kommt.*

**1.17. Gefrorenes Wasser schwimmt**

Bereite dir im Eisfach des Kühlschranks Eiswürfel. Fülle dann ein Einweckglas mit Wasser, gib die Eiswürfel hinein und beobachte, wo sie sich sammeln!

*Die Eisstückchen schwimmen auf der Oberfläche. Eis ist leichter als Wasser. Diese Erscheinung ist dir sicher bei Eisschollen schon aufgefallen. In polaren Gewässern schwimmen auf Grund dieser Tatsache Eisberge, die die Schifffahrt gefährden.*

**1.18. Ein Eisberg schmilzt**

Gib einen großen Eiswürfel in ein Glas und fülle es dann bis zum Rand mit Wasser. Wie du aus Versuch 1.17. schon weißt, schwimmt der Eiswürfel. Ein Teil ragt jetzt über den Glasrand hinaus. Was glaubst du: Wird das Wasser überlaufen, wenn der Eiswürfel geschmolzen ist?

*Nach dem Schmelzen läuft kein Wasser über den Rand des Glases. Da Wasser sich beim Gefrieren um  $\frac{1}{11}$  seines Volumens ausdehnt, wird es leichter als Wasser. Beim Schmelzen geht die größere Ausdehnung wieder verloren, und der Eiswürfel füllt genau den Raum aus, den er im Wasser eingenommen hat.*

**1.19. Eis verhindert Erwärmung**

Bereite dir wie in Vers. 1.17. Eiswürfel und gib sie in ein Weckglas, das zur Hälfte mit Leitungswasser gefüllt ist. Rühre die Flüssigkeit immer wieder vorsichtig mit dem Thermometer um und achte auf die Temperatur!

*Nach einiger Zeit sinkt die Temperatur auf 0° C ab und bleibt auf diesem Stand, bis alle Eiswürfel geschmolzen sind. Das Eis entzieht dem Wasser laufend Wärme, die es zum Schmelzen benötigt. Die so verbrauchte Wärme bezeichnet man als Schmelzwärme.*

**1.20. Kaltes Wasser auf der Heizplatte**

Fülle einen kleinen Topf zur Hälfte mit Wasser und gib wieder Eiswürfel hinein. Ist die Temperatur auf 0° C abgesunken, erhitze das Wasser mit den Eisstückchen auf der Herdplatte. Rühre ständig mit dem Thermometer um und achte auf die Temperatur!

*Das Eis schmilzt jetzt schneller. Aber auch bei verstärkter Wärmezufuhr steigt die Temperatur erst dann über 0° C, wenn die Eisstückchen geschmolzen sind. Solange wird die gesamte Wärme zum Schmelzen des Eises verbraucht (vgl. Vers. 1.19.).*

### 1.21. Eis taut auch bei Kälte

Gib in ein Marmeladenglas etwa vier Löffel zerkleinerte Eisstückchen und drei Eßlöffel Kochsalz. Miß die Temperatur und beobachte die Eisstückchen!

*Die Eisstückchen schmelzen („tauen“), die Temperatur sinkt trotzdem ab, und zwar bis auf  $-10^{\circ}\text{C}$  und darunter. Die Lösung von Salz und Eiswasser wird kälter, obwohl man auf Grund des schmelzenden Eises das Gegenteil vermutet. Eine solche Mischung bezeichnet man auch als *Kältemischung*. Durch die Zugabe von Kochsalz wird der Gefrierpunkt wesentlich herabgesetzt, denn das Salz benötigt zum Auflösen ebenfalls Wärme, die sogenannte *Lösungswärme*. Selbst bei  $-10^{\circ}\text{C}$  sind solche Salzlösungen noch flüssig.*

*In einer Kältemischung wird die Temperatur durch zwei Vorgänge gesenkt: *Schmelzwärme* ist notwendig zum Schmelzen des Eises, *Lösungswärme* wird für das Auflösen des Salzes verbraucht.*

*Diese physikalischen Erkenntnisse verwendet man schon seit langem, um z. B. vereiste Fahrbahnen mit Salz „aufzutauen“.*

### 1.22. Eis schmilzt unter Druck

Bereite dir im Kühlschrank eine Eisplatte. Dazu kannst du die Schale für Eiswürfel benutzen, muß jedoch das Plastikgitter herausnehmen. Stelle in einem kühlen Raum oder auf dem Balkon zwei Stühle eng nebeneinander und lege die Eisplatte dazwischen. Über das Eisstück führe ein Stück dünnen Draht, an dessen Enden du je ein Gewicht (Ziegelsteine, schweres Werkzeug) befestigst (Abb. 17). Welche Veränderung kannst du nach 1–2 Stunden feststellen?

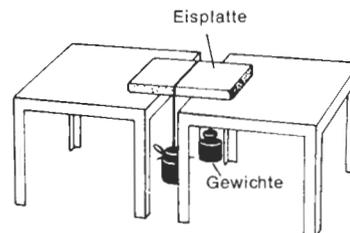


Abb. 17

*Unter dem Druck, den der Draht durch die anhängenden Gewichte ausübt, schmilzt das Eis. Über der Einschnittstelle friert es jedoch gleich wieder zusammen, so daß der Eisblock als Stück erhalten bleibt, obwohl der Draht hindurchgewandert ist.*

*Der gleiche Vorgang ermöglicht das Schlittschuhlaufen: Unter dem Druck der Kufen schmilzt das Eis, und es bildet sich an dieser Stelle ganz wenig Schmelzwasser, wodurch das Gleiten auf der Eisfläche möglich wird. Auf einer Glasplatte könnten wir mit Schlittschuhen überhaupt nicht vorwärts kommen, obwohl sie ebenso glatt ist wie eine Eisfläche.*

**Anmerkung:** Im Winter läßt sich dieser Versuch besser durchführen, weil das Eis durch die niedrige Außentemperatur am Schmelzen gehindert wird.

1.23. **Eine sonderbare Abkühlung**

Tränke einen Wattebausch mit Brennspritus oder Feuerzeugbenzin (Vorsicht: Im Raum darf keine offene Flamme brennen!)

Halte das Thermometer in den Wattebausch und beobachte die Temperatur!

*Das Thermometer zeigt ein Absinken der Temperatur an. Die Flüssigkeit verdunstet und verbraucht dabei Wärme. Sie wird der Umgebung entzogen. Diesen Wärmeverbrauch bezeichnet man als Verdunstungskälte. Auch auf der Haut ist dieser Wärmeverbrauch durch eine „kühle Empfindung“ zu spüren. Wenn du dich im Sommer nach dem Baden nicht abtrocknest, kannst du trotz großer Hitze frieren, weil zur Verdunstung des Wassers auch dem Körper Wärme entzogen wird.*

1.24. **Eine angenehme Erfrischung**

Reibe dein Handgelenk mit Kölnisch Wasser ein und puste darüber. Wie schon in Versuch 1.23. wirst du eine angenehme Frische durch Abkühlung empfinden. Auch Kölnisch Wasser – es enthält zum größten Teil Alkohol – verdunstet auf der Haut und entzieht dem Körper dabei Wärme.

1.25. **Eingeschlossene Flüssigkeit**

Nimm eine Dose mit Körper- oder Haarspray. Halte die Dose so, daß das Ventil nach unten zeigt. Öffne durch Druck auf den Knopf ganz kurz das Ventil und sprühe gegen deine Hand.

*Aus der Öffnung spritzt eine Flüssigkeit. Ein Teil verdampft sofort an der Luft. Diese Flüssigkeit ist Frigen, die in fast allen Spraydosen verwendet wird. Ihr Siedepunkt liegt sehr niedrig, nämlich bei  $-30^{\circ}\text{C}$ . Bei Zimmertemperatur verdampft sie deshalb an der Luft sofort.*

1.26. **Wärme wandert**

Fasse eine Stricknadel am äußersten Ende mit Zeigefinger und Daumen und halte das andere Ende in die Flamme einer Kerze (Abb. 18). Was beobachtest du?

*Nach kurzer Zeit wird die Nadel auch an dem von der Flamme entfernten Ende heiß, so daß du sie nicht mehr festhalten kannst. Die Wärme breitet sich durch den Draht aus und erreicht das entgegengesetzte Ende. Diese Erscheinung nennt man Wärmeleitung.*

1.27. **Unterschiedliche Wärmeleitung**

Stelle in einen Topf mit siedendem Wasser die Stahlnadel, das Glasrohr und einen etwa gleichlangen Holzstab. Berühre die Gegenstände am herausragenden Ende und vergleiche die Temperatur! Während du beim Holzstab und beim Glasrohr kaum eine Temperaturveränderung wahrnehmen kannst, ist die Stahlnadel deutlich wärmer geworden.

*In den verschiedenen Stoffen wird die Wärme unterschiedlich weitergeleitet. Man unterscheidet gute und schlechte Wärmeleiter.*

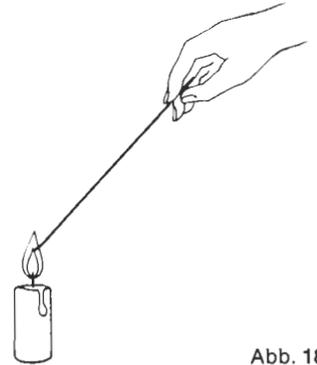


Abb. 18

Wärmeleitfähigkeit	
Kupfer	gut
Aluminium	
Blei	
Glas	
Wasser	
Kunststoffe	
Luft	schlecht

*Holz und Glas sind schlechte Wärmeleiter.  
Metalle sind gute Wärmeleiter.*

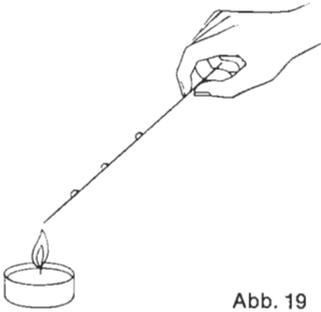


Abb. 19

### 1.28. Immer der Reihe nach

Forme aus erwärmtem Kerzenwachs kleine Kügelchen und befestige sie so an der Stahlnadel, daß die erste Kugel 3 cm von der Spitze entfernt haftet. Die beiden anderen sollen jeweils einen Abstand von 2 cm zur vorherigen haben. Halte nun die Stahlnadel mit der Spitze in die Kerzenflamme (Abb. 19) und beobachte!

*Beim Erhitzen fallen die Wackskügelchen der Reihe nach ab. Die Wärme wird in der Stahlnadel weitergeleitet. Wird in der Stahlnadel die Schmelztemperatur des Kerzenwachses ( $54^{\circ}\text{C}$ ) erreicht, lösen sich die Kugeln von der Nadel.*

### 1.29. Ein Trick mit der Wärmeleitung

Nimm ein Stück Leinentuch und lege es über eine größere Münze (2- oder 5-Mark-Stück). Dann bitte deinen Vater oder einen anderen Raucher, eine brennende Zigarette auf dem Tuch genau über der Münze auszudrücken! Du kannst ruhig vorhersagen, daß das Tuch nicht beschädigt wird.

*Das Tuch wird durch die Glut der Zigarette tatsächlich nicht beschädigt. Die Wärmeleitung der Metallmünze ist so stark, daß die Temperatur am Tuch rasch absinkt und das Gewebe nicht angeengt wird. Mit diesem Trick kannst du auch deine Freunde verblüffen.*



Abb. 20

### 1.30. „Gekochtes“ Eis

Bereite dir zunächst im Kühlschrank Eiswürfel. Zerkleinere sie und gib einige Eisstückchen in das Reagenzglas. Beschwere sie mit einem Stein, so daß sie am Boden gehalten werden. Fülle das Reagenzglas bis fast zum Rand mit Wasser. Erwärme nur den oberen Teil des Glases über der Kerzenflamme (Abb. 20)!

*Bald siedet das Wasser im oberen Teil des Glases, die Eisstückchen schmelzen aber nicht. Da Wasser die Wärme schlecht leitet, bleibt der untere Teil des Reagenzglases kalt. Deswegen schmelzen auch die Eisstückchen nicht.*

### 1.31. Unterschiedliche Temperaturen

Fülle das Reagenzglas zu  $\frac{3}{4}$  mit kaltem Wasser und erwärme wie in Vers. 1.30. nur den oberen Teil des Glases über der Kerzenflamme. Nun miß mit dem Thermometer die Temperatur zuerst im oberen, dann im unteren Teil des Reagenzglases.

*Du erhältst sehr unterschiedliche Meßergebnisse. Während die Temperatur im oberen, erwärmten Teil auf etwa  $90^{\circ}\text{C}$  ansteigt, erreicht sie im unteren Teil des Glases nur ca.  $25\text{--}30^{\circ}\text{C}$ . Wie schon in Vers. 1.30. erkennbar, verhindert die schlechte Wärmeleitfähigkeit des Wassers eine gleichmäßige Erwärmung.*

### 1.32. Wasser kocht über Papier

Entferne aus einer kleinen leeren Konservendose den Boden und ersetze ihn durch einen Bogen Pergamentpapier, den du mit einem Stück Bindfaden wasserdicht an der Dose befestigst. Dann fülle diesen „Topf“ vorsichtig etwa zur Hälfte mit Wasser und stelle ihn auf zwei Ziegelsteine. Zwischen die Ziegelsteine stelle eine brennende Kerze und erhitze das Wasser. Die Flamme darf jedoch nicht direkt den Papierboden berühren (Abb. 21).

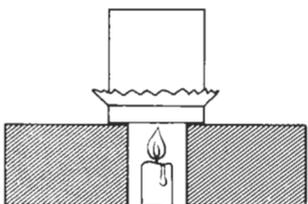


Abb. 21

*Das Wasser kocht nach einiger Zeit, ohne daß der Papierboden verbrennt. Weil das Wasser ständig Wärme ableitet, kann das Papier nicht warm genug werden, um sich entzünden zu können. Die Siedetemperatur des Wassers liegt unterhalb der Entzündungstemperatur des Papiers.*

1.33. **Ein Tropfen tanzt**

Gib einen Wassertropfen auf die kalte Herdplatte und beobachte! Anschließend trockne die Platte ab und erhitze sie durch Einschalten des elektrischen Stroms. Dann laß wieder einen Wassertropfen auf die Herdplatte fallen und vergleiche. \*)

*Auf der kalten Herdplatte liegt der Wassertropfen ruhig und zerfließt. Wird die Herdplatte stark erhitzt, bildet sich eine kleine Wasserkugel, die einige Zeit tanzt. Auf der heißen Platte verdampft etwas vom Wassertropfen. Es bildet sich zwischen Herdplatte und Tropfen etwas Wasserdampf, der für einige Zeit verhindert, daß der ganze Tropfen die Platte berührt und sofort in Wasserdampf übergeht.*

\*) Ist keine elektrische Heizplatte vorhanden, kann der Versuch auch in einem Topf über einer Gasflamme ausgeführt werden.

1.34. **Vorsicht, heißes Fett**

Wenn deine Mutter einmal Fett zum Braten in der Pfanne ausgelassen hat, bitte sie um die Erlaubnis, daß du **einen** Wassertropfen in das siedende Fett fallen lassen darfst. Was beobachtest du?

*Wenn der Wassertropfen in das heiße Fett fällt, prasselt es, und kleine Tröpfchen von heißem Fett spritzen hoch. Fett hat eine Siedetemperatur von ca. 180° C, Wasser dagegen von nur 100° C. Kommt Wasser in das siedende Fett, wird es sofort zu Wasserdampf. Im Fett eingeschlossen bilden sich Dampfblasen, die dann herausgeschleudert werden und dabei Fetttropfen mitreißen.*

1.35. **Noch einmal Wärmeströmung**

Entzünde eine Kerze und halte deine Hand in angemessener Höhe über die Flamme! Du spürst die Wärme, weil die erwärmte Luft aufsteigt und an deiner Handfläche vorbei s t r ö m t (vgl. Vers. 1.14. und 1.15.).

1.36. **Auch seitlich Wärme?**

Halte beide Hände seitlich in einem Abstand von ca. 10 cm neben die brennende Kerze (Abb. 22). Kannst du auch jetzt eine Erwärmung an deinen Handflächen wahrnehmen?

*Wie du schon aus vorangegangenen Versuchen weißt, steigt die erwärmte Luft auf. Trotzdem spürst du auch jetzt neben der Kerze eine Erwärmung an deinen Handflächen.*

1.37. **Kontrolle mit dem Thermometer**

Halte statt deiner Hände (Vers. 1.36.) das Thermometer im Abstand von ca. 10 cm seitlich neben die Kerzenflamme und kontrolliere, ob du einen Temperaturanstieg feststellen kannst.

*Das Thermometer zeigt deutlich einen Anstieg der Temperatur an. Ebenso wie in Vers. 1.36. kann es sich hier n i c h t um Wärmeströmung handeln. Diese Art der Wärmeausbreitung wird W ä r m e s t r a h l u n g genannt.*

*Auf diese Weise erreicht uns auch die Wärme der Sonne. Im luftleeren Weltenraum bleiben die Wärmestrahlen ohne Wirkung. Erst wenn sie auf die Erde treffen, werden sie wirksam, und wir empfinden die Sonnenwärme.*

1.38. **Auf die Oberfläche kommt es an**

Fertige dir aus schwarzem Papier und aus Stanniol, wie es für Zigarettenverpackung verwendet wird, je eine kleine Tasche (ca. 4×4 Zentimeter). Stecke nun das Thermometer zunächst in die Tasche aus schwarzem Papier und halte sie im Abstand von ca. 10 cm 4 Minuten neben die Kerzenflamme (Abb. 25). Dann lies die Temperatur ab!



Abb. 22

Wenn die Flüssigkeitssäule im Thermometer wieder auf den Ausgangspunkt abgesunken ist, wiederhole den Versuch mit der Tasche aus Stanniolpapier (Abb. 26). Vergleiche die Ergebnisse!

*In der schwarzen Tasche zeigt das Thermometer einen höheren Temperaturanstieg als in der aus Stanniolpapier. Das schwarze Papier hat sich unter dem Einfluß der Wärmestrahlen stärker erwärmt als das helle Stanniol.*

*Schwarze Körper nehmen die Wärmestrahlen gut auf, während helle oder glänzende Körper sie zum größten Teil wieder zurückwerfen*



Abb. 25



Abb. 26

*wie ein Spiegel das Licht. Wenn Wärmestrahlen von hellen, glänzenden Oberflächen zurückgeworfen werden, spricht man von Reflexion. Solche Körper erwärmen sich deshalb auch nur wenig.*

*Diese Tatsache findet auch praktische Verwendung. So tragen z. B. die Kühlwagen der Bundesbahn einen hellen Farbanstrich, um eine Erwärmung von außen möglichst gering zu halten.*

### 1.39. Wärme durch elektrischen Strom

Für diesen Versuch benötigst du eine 4,5-V-Flachbatterie. Forme aus einem Stück Leitungsdraht ein Knäuel, stecke das Thermometer hinein und schließe die beiden Drahtenden an die Pole einer Batterie (Abb. 27). Beobachte die Thermometersäule!

*Die Temperatur steigt leicht an. Durch den Widerstand, der dem elektrischen Strom im Leitungsdraht entgegengesetzt wird, entsteht Wärme.*

*Für elektrische Geräte, mit denen man Wärme erzeugen will (Tauchsieder, Heizofen usw.), benutzt man Drähte aus solchen Metallen, die dem Strom besonders hohen Widerstand entgegensetzen. Ihre Wärmeentwicklung ist dann entsprechend höher. Solche Drähte werden Heizdrähte genannt.*

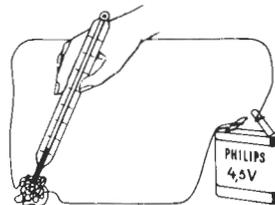


Abb. 27

## 2. Akustik – Die Lehre vom Schall

Auf einer belebten Straße nimmt unser Ohr sehr viele Töne und Geräusche auf. Autos hupen, Mopeds knattern, Straßenbahnen klingeln, Motoren brummen und Menschen unterhalten sich. Manchmal fliegt noch ein Flugzeug darüber und verursacht besonders großen Lärm. Es kann auch vorkommen, daß ein Geräusch schmerzhaft laut ist.

Alle Sinneseindrücke, die wir mit den Ohren wahrnehmen, bezeichnen wir als **Schall**. Der Gegenstand, der den Schall erzeugt, wird **Schallquelle** genannt.

In diesem Kapitel über die Lehre vom Schall sollst du einiges über Schallquellen, die Schallerzeugung und die Schallausbreitung erfahren.



Abb. 28

Schallquellen

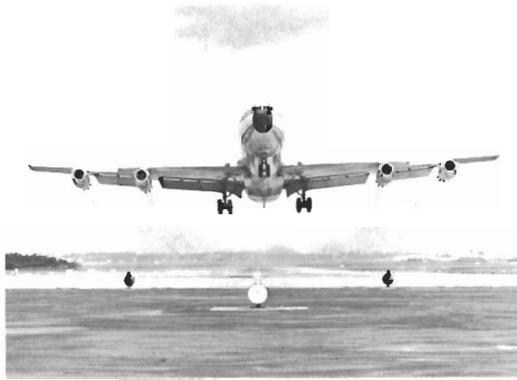


Abb. 29

### 2.1. Der schwingende Stahl

Schlage die Zinken der Stimmgabel leicht an einer Tischplatte an und nähere sie deinem Ohr. Schlage die Gabel dann erneut an und halte sie gegen ein Blatt Papier. Was stellst du fest (Abb. 30, 31)?

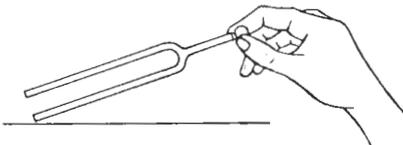


Abb. 30



Abb. 31

*Wenn die Stimmgabel angeschlagen wird, so erzeugt sie einen Ton, den wir mit dem Ohr wahrnehmen. Wird sie gegen einen Bogen Papier gehalten, so erzeugt der zusammen mit der Stimmgabel einen viel lautereren, singenden Ton.*

*Beim Anschlagen werden die Zinken der Stimmgabel aus ihrer Ruhelage zu einer Seite gedrückt. Durch die Elastizität des Stahls pendeln sie aber wieder zurück und gelangen dadurch in eine schwingende Bewegung. Treffen diese hin- und herschwingenden Teile auf einen Bogen Papier, so wird er ebenfalls in Schwingungen versetzt. Dadurch entsteht ein lauterer Ton.*

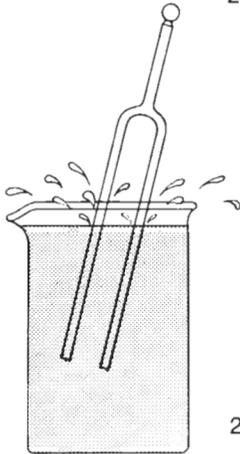


Abb. 32

**2.2. Wasser spritzt im Takt**

Schlage die Stimmgabel erneut kräftig an und tauche die Zinken dann schnell in ein Glas mit Wasser. Was beobachtest du?  
*Beim Eintauchen in das Wasser werden die Schwingungen der Gabel darauf übertragen, so daß das Wasser spritzt. Kleine Wassertropfen werden sogar aus dem Glas herausgeschleudert.*

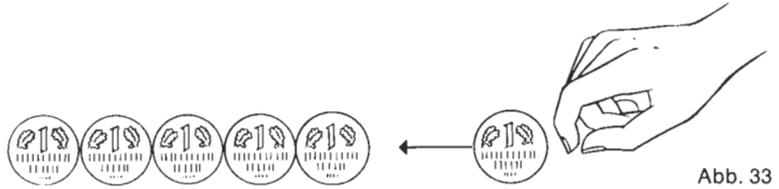


Abb. 33

**2.3. Wie der Schall übertragen wird**

Wie gelangt der Schall an unser Ohr?  
 Lege eine Reihe von vier oder fünf gleichen Geldstücken nebeneinander auf den Tisch. Schnippe dann ein weiteres Geldstück kräftig gegen das erste der Reihe, wiederhole mehrfach und achte auf die übrigen Münzen (Abb. 33).  
*Wenn das Geldstück gegen die Reihe prallt, so pflanzt sich der Stoß fort, und das letzte Stück fliegt etwas davon. Ähnlich breitet sich der Schall von der Stimmgabel aus. Durch das Schwingen der Zinken werden die benachbarten Luftteilchen in Bewegung versetzt, diese wiederum stoßen die nächsten an usw. Die letzten Teilchen gelangen dann in unser Ohr, und wir vernehmen einen Ton.*

Der Schall wird durch die Luft übertragen.

*Auf dem Mond, wo keine Luft vorhanden ist, kann ein Schall also auch nicht übertragen werden, und man muß sich auf andere Weise verständigen.*



**2.4. Schallausbreitung**

Tauche in die Mitte einer wassergefüllten Schüssel mit einem Bleistift mehrfach hintereinander ein. Achte darauf, daß die Zeitabstände möglichst gleich sind.  
*Von dem Bleistift gehen kreisförmige Wellen aus, die immer den gleichen Abstand besitzen, wenn der Bleistift ganz gleichmäßig eintaucht.*  
*Wie hier auf der ebenen Wasseroberfläche werden die Luftteilchen von der Schallquelle ganz regelmäßig angestoßen. Sie erzeugen allerdings keine ebenen Wellen, sondern der Schall breitet sich kugelförmig um die Quelle herum aus.*



Abb. 34

**2.5. Auf Wellen schwingen**

Lege auf die Oberfläche einer wassergefüllten Schüssel einige kleine Korkstückchen. Tauche nun einmal einen Bleistift in der Mitte der Schüssel ein. Achte auf die Standorte der Korkteilchen.  
*Die Korkstücke verändern ihren Standort nicht, sondern sie tanzen nur einmal auf und nieder. Auf den Schall übertragen, kann man erkennen, daß sich nicht etwa die einzelnen Luftteilchen von der Schallquelle bis zum Hörer bewegen. Sie vollführen nur eine Schwingung an ihrem Ort, bewegen sich aber nicht weiter.*

2.6. **Eine Tonstörung**

Stelle dir aus starkem Karton ein Rohr von etwa 5 cm Durchmesser und 10 cm Länge her. Lege über ein Ende ein Blatt Butterbrotpapier und binde es fest.

Stelle vor die Öffnung die Kerze und klopfe mit dem Finger gegen das Pergamentpapier. Achte auf die Kerzenflamme.

*Nach dem Klopfen flackert die Kerze einmal hin und her und brennt dann ruhig weiter. Durch die Erschütterung des Papiers werden die Luftteilchen davor einmal angestoßen. Diese Bewegung pflanzt sich fort, bis sie die Kerze erreicht hat, die dann dadurch einmal flackert.*

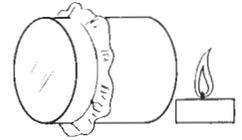


Abb. 35

2.7. **Schwingungen sichtbar gemacht**

Klebe oder binde an einen Zinken der Stimmgabel eine Stecknadel. Beruße dann eine Glasplatte mit einer Kerzenflamme. Schläge nun die Stimmgabel kräftig an und ziehe dann die Nadel über die berußte Platte. Was siehst du?

*Die Stecknadel erzeugt auf der Platte eine regelmäßige Wellenlinie, die in den Ruß eingeritzt wird. (Mit Tesafilm kannst du übrigens diese Linie ablösen!)*

*Immer dann, wenn eine Schallquelle eine solche regelmäßige Schwingung ausführt, erzeugt sie einen T o n.*

2.8. **Geräusch und Knall**

Nimm einen großen Bogen Papier (eine alte Zeitung) und knülle ihn mit den Händen zusammen. Achte auf den Schall, der dabei ausgesendet wird. Blase dann eine Papiertüte auf und schlage mit einer Hand kräftig dagegen. Vergleiche diesen Schall mit dem, der durch die Zeitung, und jenem, der durch die Stimmgabel erzeugt wird.



Oszillogramm bei Knall

Abb. 36



Oszillogramm bei Geräusch

Abb. 37

*Beim Zusammendrücken der Zeitung entsteht ein sehr unregelmäßiger Schall, den wir als G e r ä u s c h bezeichnen. Beim Zerschlagen der aufgeblasenen Papiertüte entsteht nur ein K n a l l. Diese beiden Schallarten unterscheiden sich wesentlich von dem T o n. Mit einem besonderen Gerät, Oszillograph genannt, kann man auch die Schwingungen sichtbar machen, die bei einem Geräusch und bei einem Knall entstehen.*



Abb. 38

**2.9. Nicht nur Luft überträgt den Schall**

Schlage wieder die Stimmgabel kräftig an und achte auf den Ton. Stelle dann den Fuß der Gabel auf einen Tisch und lege ein Ohr auf die Tischplatte. Bemerkest du etwas?

*Das Ohr auf der Tischplatte nimmt den Ton der Stimmgabel ebenfalls wahr. Der Schall wird also nicht nur durch die Luft übertragen, sondern ebenfalls durch das Holz der Tischplatte.*

**2.10. Der singende Faden**

Binde an den Fuß der Stimmgabel einen etwa 1,5 m langen Zwirnsfaden. Wickle das andere Ende des Fadens um einen Zeigefinger und stecke ihn in ein Ohr. Schlage dann die Stimmgabel kräftig an und laß sie frei hängen (Abb. 38).

*Der Ton der Stimmgabel ist sehr gut zu hören. Durch den Faden wird er direkt an unser Ohr geleitet, so daß wir den Ton lauter hören als bei der Übertragung durch die Luft.*

**2.11. Ein Fadentelefon**

Die Erkenntnis, daß ein Faden den Schall leitet, sollst du ausnutzen, um dir ein einfaches Telefon zu bauen (Abb. 39).

Bohre in den Boden von zwei Konservenmilchdosen, deren Deckel du herausgeschnitten hast, je ein Loch. Ziehe den Faden jeweils vom Boden her durch das Loch und binde ein Streichholz an jedem Ende des Fadens fest. Bitte dann deinen Freund, in eine Dose zu sprechen. Der Faden muß aber straff gespannt sein. Kannst du ihn verstehen?



Abb. 39

*Du kannst deinen Gesprächspartner verstehen. Der Schall versetzt den Boden der Dose in Schwingungen, die dann auf den Faden übertragen werden. An deiner Dose wird dadurch der Boden ebenfalls zum Schwingen gebracht, und durch die Luft darin gelangen die Worte an dein Ohr.*

**2.12. Blitz und Donner**

Sicherlich ist dir bei einem Gewitter schon aufgefallen, daß der Donner immer später zu hören als der Blitz zu sehen ist. Kannst du eine Erklärung dafür geben?

*Das Licht, das vom Blitz ausgeht, breitet sich mit unvorstellbarer Geschwindigkeit aus, nämlich mit 300 000 km/sec. Da bei einem Schall aber ein Luftteilchen das nächste anstoßen muß, ist seine Geschwindigkeit viel langsamer. Sie beträgt nur 333 m/sec.*

*Die Geschwindigkeit des Schalls beträgt in der Luft 333 m pro sec.*

*Du kannst also leicht ausrechnen, wie weit ein Gewitter von deinem Standort entfernt ist. Vom Aufleuchten des Blitzes bis zum Beginn des Donnerröllens zählst du die Sekunden. Die Zeit multiplizierst du mit 333, und schon weißt du, wie weit das Gewitter entfernt ist.*

Geschwindigkeit des Schalls in verschiedenen Materialien			
Luft bei 0° C	333 m/sec	Hartholz	3500 m/sec
Luft bei 20° C	340 m/sec	Ziegelstein	3650 m/sec
Süßwasser	1440 m/sec	Glas	5000 m/sec
Salzwasser	1500 m/sec	Stahl	5100 m/sec

### 2.13. Der Schall wird verstärkt

Schlage erneut die Stimmgabel kräftig an und achte auf den Ton. Stelle dann den Fuß der Stimmgabel auf eine Tischplatte oder besser auf eine leere Zigarrenkiste. Bemerkest du einen Unterschied?

*Auf der Tischplatte oder auf der Zigarrenkiste erscheint der Ton der Stimmgabel viel lauter. Ihre Schwingungen werden dann nicht nur auf die Luft übertragen, sondern ebenfalls auf das Holz. Dadurch, daß mehrere Teile schwingen, wird der Ton verstärkt.*

*Neben anderen Musikinstrumenten haben Gitarren und Geigen einen Klangkörper, der die Schwingungen der Saiten dadurch verstärkt, daß er selbst mitschwingt. Elektrische Gitarren benötigen den Klangkörper nicht, da bei ihnen die Töne elektronisch verstärkt werden.*

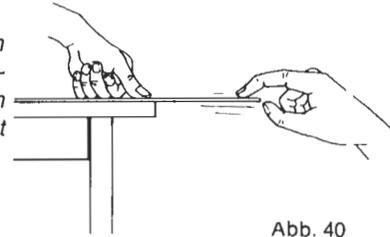


Abb. 40

### 2.14. Hohe und tiefe Töne

Halte die Stahlnadel so an der Tischkante fest, daß etwa die Hälfte darüber hinausragt. Schlage gegen die Nadel. Achte auf den Ton und das Schwingen. Verkürze dann das freie Stück und schlage an. Achte wieder auf den Ton und die Schwingung. Wiederhole den Versuch mit dem Lineal (Abb. 40, 41).

*Wenn ein langes Stück der Nadel schwingt, so entsteht ein tiefer Ton. Die Nadel schwingt dabei langsam hin und her. Je kürzer aber das freie Ende ist, desto schneller ist die Bewegung, und es entsteht dabei ein höherer Ton.*

Je schneller eine Schallquelle schwingt, desto höher ist der erzeugte Ton.

*Die Stimmgabel erzeugt immer denselben Ton, da bei ihr durch die Größe und das Material die Tonhöhe festgelegt ist.*

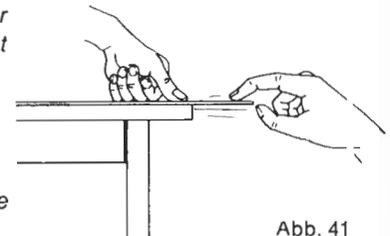


Abb. 41

### 2.15. Gummiband erzeugt Töne

Befestige ein Gummiband an einem Fenster- oder Türgriff. Zupfe das Band an und spanne es dabei. Achte auf die Tonhöhe (Abb. 42).

Beim Spannen wird der Ton, den das Gummiband erzeugt, immer höher, weil es immer schneller hin- und herschwingt.

*Die Tonhöhe kann physikalisch genau angegeben werden. Dazu wird die Schwingungszahl (Frequenz) der Schallquelle gemessen. Sie gibt an, wie oft die Schallquelle in einer Sekunde hin- und zurückschwingt.*

*Wenn eine Schallquelle in einer Sekunde 100mal hin- und herschwingt, so hat sie eine Frequenz von 100 Hertz. (Nach dem deutschen Physiker Heinrich Hertz wurde das Maß für die Frequenz benannt.) Menschen können Töne zwischen 16 und 18 000 Hertz hören.*

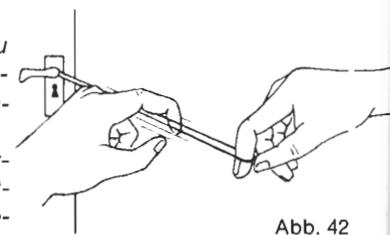


Abb. 42

### 2.16. Laute und leise Töne

Schlage die Stimmgabel leicht mit einem Fingernagel an und danach wieder kräftig an der Tischkante. Halte jedesmal einen Bogen Papier gegen die Zinken. Welchen Unterschied bemerkst du?

*Wenn die Gabel nur leicht angeschlagen wird, so erzeugt sie nur einen leisen Ton. Das Papier schwingt nur wenig mit. Beim kräftigen Anschlagen dagegen wird ein lauter Ton erzeugt, und das Papier schwingt kräftig mit. Du kannst daraus also ableiten:*

Je stärker eine Schallquelle schwingt, desto lauter ist der erzeugte Ton.

### 2.17. Weite Schwingungen

Prüfe mit dem Gummiband nach, ob tatsächlich leichte Schwingungen leise Töne und starke Schwingungen laute Töne hervorrufen. Spanne es dazu wieder am Fenster- oder Türgriff fest. Zupfe es dann zunächst ganz leicht und danach sehr kräftig an (Abb. 42).

*Auch mit dem Gummiband läßt sich beweisen, daß leise Töne durch eine wenig schwingende, laute Töne durch eine kräftig schwingende Schallquelle erzeugt werden.*

*Die Lautstärke einer Schallquelle wird in Phon gemessen.*

Lautstärken in Phon			
Taschenuhrticken	10	Motorrad ohne Schall-	
Gespräch	50	dämpfer	100
Straßenlärm	70	Preßlufthammer	110
Lauter Fabrikraum	90	Flugzeugmotor	120
		Schmerzschwelle	130

### 2.18. Schwingende Luft

Halte das Reagenzglas an die Unterlippe und blase dann kräftig über die Öffnung. Was hörst du (Abb. 43)?

*Es entsteht ein tiefer Ton. Durch das Blasen werden die Luftteilchen im Glas in Schwingungen versetzt, so daß ein Ton entsteht.*

*Nach diesem Prinzip werden in vielen Blasinstrumenten Töne erzeugt. Dort schwingt auch immer Luft.*

### 2.19. Eine einfache Flöte

Fülle in das Reagenzglas wenig Wasser und blase dann wieder wie im vorigen Versuch über die Öffnung. Achte auf die Tonhöhe. Gib dann etwas mehr Wasser hinzu und blase erneut. Was fällt dir auf? *Wenn wenig Wasser im Reagenzglas ist, entsteht ein tiefer Ton. Je mehr Wasser zugegeben wird, desto höher ist der Ton.*

*Die Tonhöhe bei diesem einfachen Versuch ist von der Höhe der Luftsäule abhängig. Je länger sie ist, desto tiefer wird der entstehende Ton.*

### 2.20. Ein gläsernes Musikinstrument

Auf mehreren Trinkgläsern, die verschieden hoch mit Wasser gefüllt sind, kannst du Melodien spielen.

Fülle in ein Glas etwas Wasser und erzeuge durch Anschlagen mit einem Bleistift einen Ton. Prüfe, ob der Ton deinen Vorstellungen entspricht. Fülle evtl. etwas Wasser hinzu oder gieße etwas ab. Verfahre dann mit den anderen Gläsern ebenso, bis du eine Tonleiter spielen kannst. Wenn du nun ein bißchen übst, gelingt es dir sicherlich bald, ein Lied zu spielen.

### 2.21. Wie die Stimmbänder

An einem einfachen Versuch kannst du dir klarmachen, wie die Stimmbänder im menschlichen Kehlkopf Töne erzeugen. Blase den Luftballon kräftig auf. Ziehe die Öffnung verschieden stark auseinander und laß die Luft ausströmen. Bemerkst du einen Unterschied? *Wenn die Luft durch den engen Spalt aus dem Luftballon herausströmt, so entsteht ein quietschendes Geräusch, dessen Ton höher wird, wenn du kräftiger ziehst. Die vorbeiströmende Luft versetzt das Gummi in Schwingungen, die du als Ton wahrnimmst. Wenn das Gummi stramm gespannt ist, so muß es schneller schwingen, und deshalb entsteht ein höherer Ton.*

*Ähnlich werden auch im Kehlkopf des Menschen durch die Stimmbänder Töne erzeugt, die allerdings noch durch die Zunge und die Lippen besonders geformt werden.*

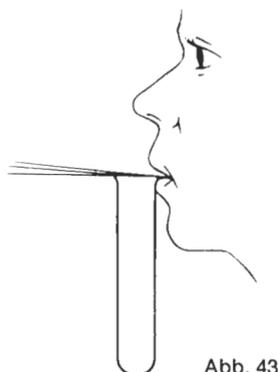


Abb. 43

## 2.22. „Da wackeln die Wände“

Du kennst sicher diesen Satz, den man anwendet, wenn besonders großer Lärm herrscht.

Halte einen großen Bogen Papier an einer Ecke vor den Lautsprecher eines Radios. Drehe dann die Lautstärke größer. Was fällt dir auf? Gehe dann etwas weiter vom Radio fort (Abb. 44).

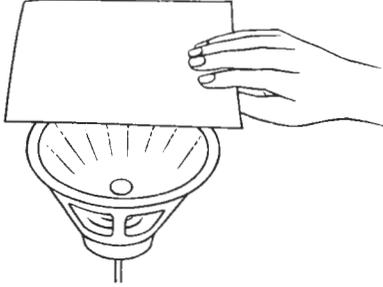


Abb. 44

*Das Blatt Papier vibriert im Rhythmus der Sprache oder der Musik, die aus dem Radio ertönt. Selbst wenn du weiter fortgehst, sind die Schwingungen noch zu spüren, wenn auch nicht mehr so stark. Im Versuch 2.3. hast du gelernt, daß die Luft den Schall überträgt. Die Luftteilchen können, wie beim Radio, so stark schwingen, daß selbst ein Blatt Papier vibriert. Damit auch Wände wackeln, muß allerdings die Luft noch viel stärker schwingen.*

## 2.23. Schreck in der Morgenstunde

Vielleicht ärgert dich morgens auch immer der Wecker, der so laut klingelt, und sicherlich hast du dir schon überlegt, wie du das Geräusch dämpfen kannst. Ob es hilft, wenn du den Wecker in die Nachttischschublade legst? Probiere es doch aus: Laß den Wecker einmal auf der Platte und dann in der Schublade läuten.

*In der Schublade ist das Läuten viel lauter zu hören als auf der Platte. Denn jetzt schwingt nicht nur die Luft, sondern es vibrieren auch noch die Holzteile, so daß dadurch das Rasseln verstärkt wird.*

## 2.24. Die Uhr tickt unter Wasser

Daß nicht nur Holz den Schall gut leitet, wie du im vorigen Versuch erfahren hast, sondern auch andere Stoffe, sollst du nun kennenlernen.

Besorge dir zunächst eine völlig wasserdichte Plastiktüte. Merke dir nun, wie laut deine Armbanduhr aus einer Entfernung von etwa 20–30 cm zu hören ist. Stecke sie dann in den Plastikbeutel und tauche ihn in eine wassergefüllte Schüssel. Horche nun aus derselben Entfernung wie vorher. Fällt dir etwas auf (Abb. 44 A)?

*Unter Wasser ist das Ticken der Uhr lauter zu hören als in der Luft. Das Wasser leitet den Schall auch viel besser als die Luft.*

*Diese Erfahrung hast du sicherlich auch schon beim Tauchen in einer Badeanstalt gemacht. Unter Wasser kannst du viele Geräusche besser hören als in der Luft.*

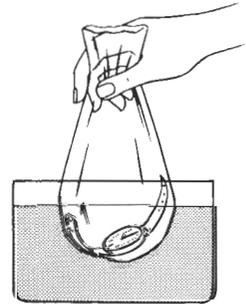


Abb. 44 A

## 2.25. Ein Schalldämpfer

Neben den Stoffen, die den Schall besser leiten als die Luft, gibt es auch solche, die ihn schlechter leiten. Das kannst du nachprüfen.

Laß Wasser mit einem kräftigen Strahl in einen Eimer fließen. Achte auf die Lautstärke. Gib dann etwas Spülmittel in den Eimer und warte, bis sich Schaum bildet. Achte wieder auf die Lautstärke. *Sowie sich Schaum auf dem Wasser bildet, wird das Geräusch des einlaufenden Wassers stark gedämpft. Die vielen kleinen Bläschen, aus denen der Schaum besteht, dämpfen den Lärm dadurch, daß jede von ihnen etwas „verschluckt“.*

**2.26. So schläft es sich gut**

Auch Federkissen können Geräusche dämpfen. Prüfe das nach, indem du eine Uhr auf den Tisch legst und aus 20–30 cm Entfernung horchst. Lege dann ein Federkissen darauf und lausche!

*Die Uhr unter dem Kissen ist nicht mehr zu hören. Das Kissen mit den vielen Federn verschluckt auch Geräusche, so daß das Ticken nicht mehr durchdringt.*

*Wenn du schlafen willst, ziehst du dir sicherlich auch manchmal das Federbett über den Kopf, damit du durch Geräusche nicht gestört wirst.*

**2.27. Der Schall wird zurückgeworfen**

Lege eine Armbanduhr auf einen Schwamm in ein hohes Weckglas. Achte darauf, ob du das Ticken hörst, wenn du einen Schritt beiseite gehst. Bitte nun einen Freund, schräge über das Glas ein Stück Karton zu halten. Hörst du die Uhr (Abb. 45)?

*Wenn du von dem Weckglas fortgehst, ist das Ticken der Uhr nicht mehr zu vernehmen. Der Schall tritt nämlich nach oben aus dem Glas und gelangt deshalb nicht an dein Ohr. Du hörst es aber wieder, wenn der Karton über das Glas gehalten wird, weil das Ticken von dort zurückgeworfen wird.*

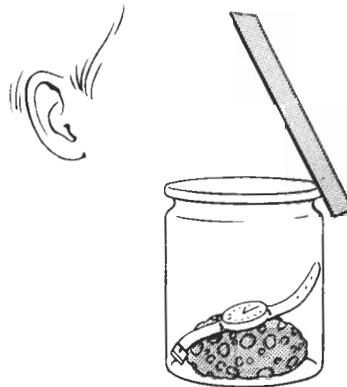


Abb. 45

**2.28. Ein Plattenspieler-Verstärker**

Stecke in eine Postkarte eine Stecknadel, so daß die Spitze über den Kartenrand hinausragt. Bitte nun deine Eltern um eine alte Schallplatte, die du auf den Teller eines Plattenspielers legst. Fasse die Postkarte an einer Ecke an und laß die Nadel langsam auf die sich drehende Platte hinunter (Abb. 46).

*Die Musik der Schallplatte ist zu hören, obwohl der Tonarm nicht aufliegt. Bei der Schallplatte sind die Schallschwingungen in die Rillen eingepreßt. Die Nadel führt diese Bewegungen mit aus und wird deshalb im Rhythmus der aufgezeichneten Musik in Schwingungen versetzt. Die Postkarte gerät ebenfalls in Schwingungen und verstärkt den Ton.*

*Mit der Lupe kannst du übrigens die Wellen in der Rille der Schallplatte gut erkennen.*



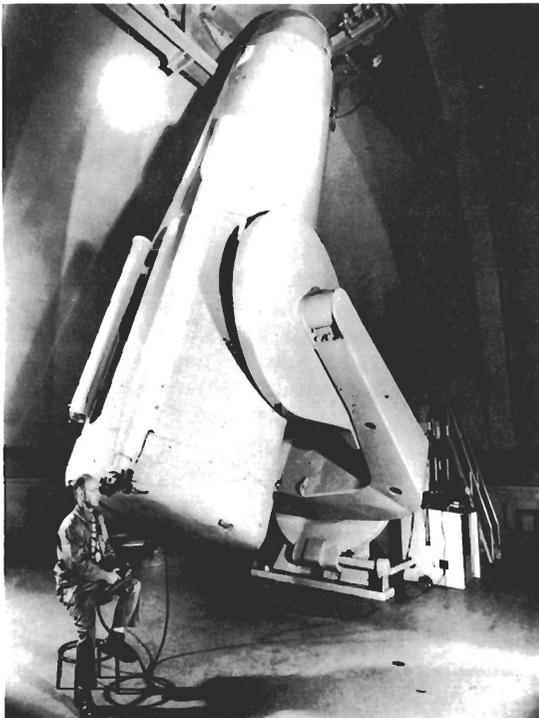
Abb. 46

### 3. Optik – die Lehre vom Licht

Ein Teilgebiet der Physik ist die Optik, was übersetzt die „Lehre vom Licht“ bedeutet. Viele Erscheinungen aus dem Bereich der Optik sind dir so selbstverständlich, daß du niemals darüber nachgedacht hast. So weißt du z. B., daß der Himmel am Tag hell, in der Nacht aber dunkel ist, obwohl auch dann Licht von der Sonne ausgesandt wird. Warum das so ist, läßt sich mit den Gesetzen der Optik leicht erklären. Auch eine Sonnenfinsternis, die früher vielen Menschen ungeheure Angst einflößte, ist für denjenigen ein ganz natürlicher Vorgang, der mit der Lehre vom Licht ein wenig vertraut ist. Fotoapparate, Fernrohre und Mikroskope lassen sich auch nur dann herstellen, wenn die Gesetze der Optik dabei berücksichtigt werden.

Einige Erscheinungen aus diesem Teil der Physik sollst du durch die folgenden Versuche ergründen.

Einige Experimente müssen in einem dunklen Raum durchgeführt werden.



Spiegelteleskop

Abb. 47

#### 3.1. Schwarz und weiß

Stelle die Kerze in einem dunklen Raum auf den Tisch. Entzünde sie dann und betrachte die Gegenstände im Zimmer. Suche dir einen aus, den du gerade noch erkennen kannst. Halte nun nacheinander die schwarze und anschließend die weiße Seite der Chromolux-Pappe so hinter die Lampe, daß das Licht nur zu einer Seite fallen kann. Achte jeweils auf den Gegenstand!

*Wird das weiße Papier hinter die Kerze gehalten, so erscheinen die Gegenstände im Zimmer heller als bei dem schwarzen Heftdeckel. Durch weiße Flächen wird Licht reflektiert (zurückgeworfen), so daß es nur zu einer Seite fällt. Schwarze Flächen dagegen verschlucken fast das gesamte Licht.*

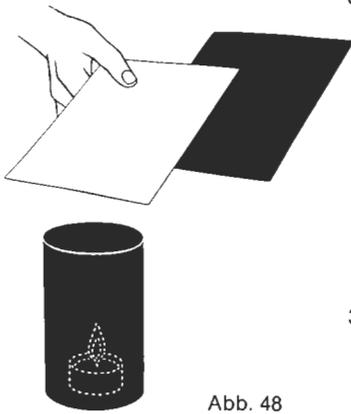


Abb. 48

### 3.2. Unsichtbares Licht

Klebe aus einem schwarzen Heftdeckel (Querformat) eine Röhre. Schiebe sie über die Kerze aus dem vorigen Versuch. Halte nun über die Röhre im Abstand von 20 cm nacheinander die schwarze und anschließend die weiße Seite der Chromolux-Pappe (Abb. 48). Achte darauf, ob du das Licht zwischen der Röhre und dem Papier erkennen kannst!

*Das Zimmer bleibt fast völlig dunkel, wenn das Licht auf den schwarzen Karton fällt, es wird aber sehr viel heller bei dem weißen Papier. Zwischen der Röhre und dem Papier ist das Licht nicht zu sehen.*

### 3.3. Licht sichtbar gemacht

Bitte deinen Vater oder deine Mutter, Zigarren- oder Zigarettenrauch in den Raum zwischen der Röhre und dem schwarzen Karton zu blasen. (Wenn sie Nichtraucher sind, kannst du auch Kreidestaub von der Handfläche blasen.) Achte auf das Licht!

*Obwohl die Kerze dauernd Licht aussendet, ist es erst dann zu sehen, wenn es auf Gegenstände fällt, in diesem Falle auf die winzigen Rauch- oder Kreideteilchen. Sie reflektieren dann einen Teil des Lichtes.*

*Das Licht ist nur dann sichtbar, wenn es direkt in unsere Augen fällt oder wenn es auf Gegenstände trifft, die einen Teil des Lichtes reflektieren.*

### 3.4. Ein Lichtigel

Wenn du einen alten Gummiball hast, kannst du mit dem folgenden Versuch deine Freunde beeindrucken. Brenne mit einer glühenden Stricknadel viele Löcher in den Ball. Schneide dann zusätzlich ein so großes Loch hinein, daß die Kerze gut eingeführt werden kann. Laß nun Rauch über den Ball blasen!

*Über dem Ball werden die vielen Lichtstrahlen erst dann sichtbar, wenn die Rauchteilchen angestrahlt werden. Der Raum zwischen den einzelnen Strahlen bleibt dunkel, so daß viele „Lichtfinger“ von dem Ball ausgehen.*

*Inzwischen kannst du sicher schon die Erklärung dafür geben, warum nachts der Himmel dunkel ist, obwohl die Sonne auch dann Licht aussendet: Im Weltraum sind nur sehr wenige Gegenstände, die das Sonnenlicht reflektieren können. Am deutlichsten ist das zu beobachten, wenn der Mond am Himmel steht. Der Mond strahlt das Sonnenlicht zurück, daneben ist der Himmel aber schwarz, obwohl dort natürlich auch das Licht der Sonne vorbeiflutet.*

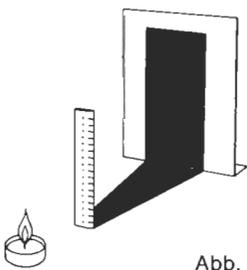


Abb. 49

### 3.5. Schattenbildung

Stelle die Kerze etwa 1 m vor einer hellen Wand auf. Bewege nun die Hand zwischen der Kerze und der Wand hin und her. Nähere die Hand der Kerze und dann der Wand.

*Wie dir schon bekannt ist, entsteht an der Wand ein Schatten. Er verändert sich jedoch mit der Stellung der Hand.*

*Von der Kerze wird Licht nach allen Seiten ausgestrahlt. Trifft es auf einen Gegenstand, den es nicht durchdringen kann, wie z. B. Pappe oder deine Hand, entsteht dahinter ein Schattenbild.*

### 3.6. Wandernde Schatten

Halte zwischen die Kerze und die Wand ein Lineal. Merke dir die Größe des Schattenbildes. Schiebe dann das Lineal allmählich zur Wand hin und achte dabei immer auf den Schatten. Was fällt dir auf (Abb. 49, 50)?

*Je weiter das Lineal zur Wand geschoben wird, desto kleiner wird das Schattenbild. Es hat schließlich fast die Größe des Lineals.*

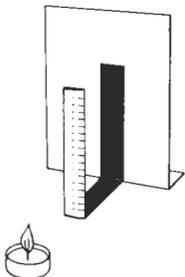


Abb. 50

### 3.7. Schattenraum

Verwende den Aufbau aus dem vorigen Versuch. Halte zwischen das Lineal und die Wand einen Bogen weißes Papier. Entsteht auch dort ein Schatten?

*Nicht nur an der Wand entsteht ein Schattenbild, sondern der gesamte Raum hinter dem Lineal ist dunkel. Man spricht deshalb vom *Schatt e n r a u m*. Befindet sich der Gegenstand dicht an einer Lichtquelle, so ist der Winkel groß, unter dem sich der Schattenraum ausbreitet. Je weiter der Gegenstand jedoch entfernt ist, desto mehr verkleinert sich der Winkel.*

### 3.8. Kern- und Halbschatten

Für diesen Versuch benötigst du eine zweite Kerze. Stelle beide Kerzen etwa 50 cm vor eine helle Wand und entzünde zunächst eine. Erzeuge an der Wand ein Schattenbild mit einem Pappstreifen von etwa 15 cm Breite. Entzünde nun die zweite Kerze und stelle sie etwa 5 cm neben die erste. Achte auf das Schattenbild! Verschiebe den Pappstreifen von den Kerzen in Richtung Wand und wieder zurück (Abb. 51)!

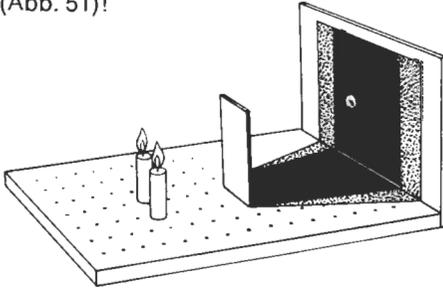


Abb. 51

*Beim Anzünden der zweiten Kerze entsteht an der Wand ein zweiter Schatten. Beide Schattenbilder sind jedoch nicht mehr so dunkel wie das einer einzelnen Kerze. Bei einer bestimmten Stellung des Pappstreifens zu den Lichtquellen überschneiden sich die Schattenbilder. In der Mitte entsteht nun ein dunkler *Kernschatten*, links und rechts davon jeweils ein hellerer *Halbschatten*. In den Kernschattenraum gelangt gar kein Licht, die Halbschattenräume werden noch von einer Kerze beleuchtet.*

### 3.9. Weiß, hellgrau, dunkelgrau, schwarz

Mit einigen weiteren Weihnachtskerzen kannst du viele Halbschatten erzeugen. Stelle sie in Abständen von etwa 1–2 cm voneinander auf, so daß alle in der gleichen Entfernung von der Wand stehen. Halte nun wieder die Pappe vor die Kerzen (Abb. 52)!

*An der Wand entstehen viele Schattenbilder, die von der Mitte nach außen hin immer heller werden. In den Kernschatten in der Mitte fällt wieder kein Licht. Links und rechts daneben trifft nur das Licht einer Kerze auf, dann beleuchten zwei das Schattenbild usw. Ganz außen ist schließlich kein Schatten mehr zu beobachten. Dort wird die Wand von allen Kerzen beleuchtet.*

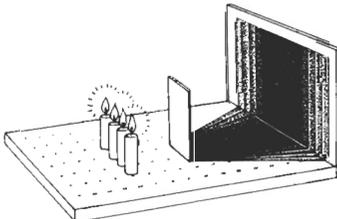


Abb. 52

### 3.10. Die Erde im Schatten

Manchmal erleben wir auf der Erde das seltene Ereignis, daß wir eine Sonnen- oder auch eine Mondfinsternis beobachten können. Wie z. B. eine Sonnenfinsternis entsteht, kannst du durch einen einfachen Versuch erklären.

Verwende als „Sonne“ einige Kerzen, die du eng zusammenstellst und anzündest. Als „Erde“ müßtest du dir einen großen Gummiball besorgen und als „Mond“ einen kleinen. Bewege nun den „Mond“ so um die „Erde“ herum, daß er sich einmal zwischen der „Sonne“ und der „Erde“ und das andere Mal auf der der „Sonne“ abgewandten Seite der Erde befindet. Achte auf das Schattenbild, das auf der „Erdoberfläche“ entsteht!

*Wenn sich der Mond auf seiner Umlaufbahn zwischen der Erde und der Sonne befindet, wirft er einen Schatten auf die Erdoberfläche. Für die Menschen, die in diesem Schattenraum leben, wird die Sonne verdunkelt. Das ist eine Sonnenfinsternis. Da die Sonne aber eine große Lichtquelle ist, entstehen auf der Erde ein Kern- und ein Halbschatten. Aus dem Kernschattenraum ist die Sonne gar nicht zu sehen; wir sprechen von einer totalen Sonnenfinsternis. Aus dem Halbschattenraum auf der Erde dagegen sieht man noch einen Teil der Sonne. Deshalb erleben diese Menschen eine partielle Sonnenfinsternis.*

*Eine Mondfinsternis entsteht, wenn sich der Mond in dem Schattenraum hinter der Erde befindet.*

### 3.11. Stärke des Lichts

Stelle in einem verdunkelten Raum eine brennende Kerze auf einen Tisch und versuche, in etwa 2–3 m Entfernung in einem Buch zu lesen. Entzünde dann eine zweite Kerze und betrachte wieder die Schrift!

Die Lichtstärke einer einzelnen Kerze reicht in den meisten Fällen nicht aus, um in größerer Entfernung lesen zu können.

*Will man die Lichtstärke einer beliebigen Lichtquelle (z. B. Glühlampe) angeben, so vergleicht man immer mit einer Kerze. Von ihr sagt man, sie habe die Lichtstärke 1 candela (1 cd). Candela kommt aus dem Lateinischen und bedeutet Kerze. Bei zwei Kerzen wäre die Lichtstärke doppelt, bei drei dreimal so groß usw. wie bei einer Kerze. Eine Glühlampe, deren Lichtstärke 60mal größer ist als die einer Kerze, hat die Lichtstärke 60 cd. Das entspricht etwa einer Glühlampe von 60 Watt.*

### 3.12. Beleuchtungsstärke

Lies noch einmal bei dem Licht einer Kerze in einem Buch. Gehe dann langsam näher an die Lichtquelle heran und achte immer auf das Geschriebene. Was fällt dir auf?

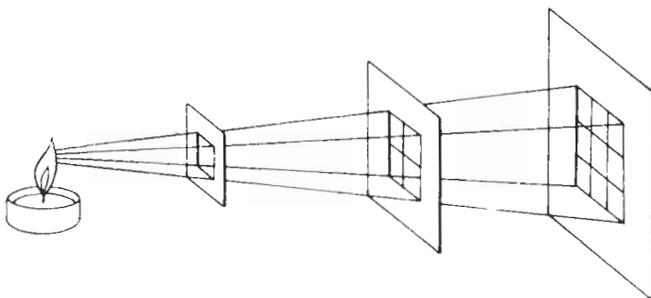


Abb. 53

*In der Nähe der Kerze kann man besser lesen, wie dir sicher schon bekannt ist. Die Lichtstärke der Kerze ändert sich bei diesem Versuch nicht, trotzdem kann man nicht überall gleich gut lesen.*

*Die Lichtstrahlen breiten sich von der Kerze nach allen Seiten aus. Hält man das Buch dicht an die Kerze, so treffen viele Lichtstrahlen darauf, in größerer Entfernung werden es aber immer weniger. Dieselbe Zahl von Lichtstrahlen muß also eine immer größere Fläche beleuchten. Dadurch nimmt die Beleuchtungsstärke ab. Wird der Abstand eines Buches von einer Lichtquelle verdoppelt, so sinkt die Beleuchtungsstärke auf ein Viertel ab.*

(Abb. 53).

### 3.13. Senkrecht geht es leichter

Lege in etwa 1 m Entfernung von einer brennenden Kerze ein Buch auf den Tisch und versuche zu lesen. Richte dann das Buch auf, so daß es senkrecht auf dem Tisch steht. Lies wieder!

*Wenn die Lichtstrahlen senkrecht auf das Buch treffen, kann man besser darin lesen.*

*Die Beleuchtungsstärke wird also größer, wenn die Lichtstrahlen senkrecht auftreffen.*

*Auch für die Beleuchtungsstärke gibt es ein genaues Maß: Auf einer Fläche herrscht die Beleuchtungsstärke 1 Lux, wenn sie aus 1 m Entfernung mit einer Lichtquelle von 1 cd angestrahlt wird. Die Strahlen müssen dabei natürlich senkrecht auftreffen.*

### 3.14. Wasser bricht den Stab?

Fülle für diesen Versuch ein Gefäß halbvoll mit Wasser. Am besten nimmst du einen kastenförmigen Behälter aus durchsichtigem Material (Aquarium, Plastikkasten, Glashafen).

Halte das Lineal schräg in das Wasser. Betrachte es dann von der Seite durch das Wasser. Blicke auch einmal schräg von oben hinein. Bei einer bestimmten Blickrichtung zeigt sich dir ein eigenartiges Bild (Abb. 54). Wie du richtig vermutest, ist natürlich nicht das Lineal gebrochen. Aber mit den Lichtstrahlen ist etwas geschehen. Sie verlaufen beim Eintreten in das Wasser nicht mehr geradlinig, sie werden gebrochen. Du siehst also das Lineal im Wasser an einer anderen Stelle, und es sieht nur so aus, als wäre es entzwei.

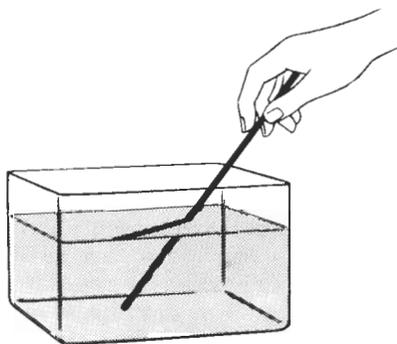


Abb. 54

### 3.15. Über den Rand gucken

Für diesen Versuch benötigst du ein Gefäß aus undurchsichtigem Material. Vielleicht leiht Mutter dir eine Porzellanschüssel.

Lege auf den Boden des Gefäßes eine Münze. Beuge dich nun seitwärts so von der Schüssel weg, daß du die Münze gerade nicht mehr siehst. Behalte die Blickrichtung bei und fülle die Schüssel mit Wasser!

Du beobachtest, daß die Münze plötzlich sichtbar wird. Natürlich hat sie sich nicht verschoben. Aber die Lichtstrahlen werden wieder beim Übertritt von der Luft in Wasser gebrochen. Dabei verläuft der Strahl im Wasser flacher (Abb. 55).

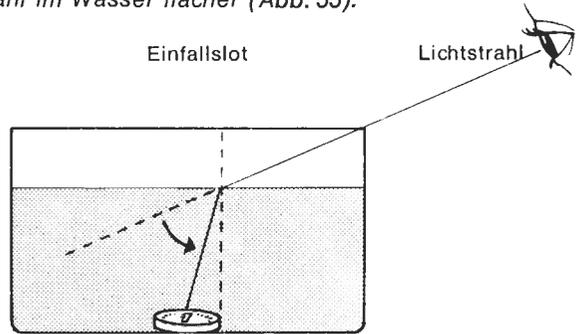


Abb. 55

Ein Lichtstrahl wird beim Übertritt von einem dünneren Medium (= Luft) in ein dichteres Medium (= Wasser) zum Einfallslot hin gebrochen.

### 3.16. Ein Glas zum Brennen

Nimm die beiden Linsen aus deinem Physik-Experimentierkasten. Du kannst die eine aus dem Halter herausdrücken und dafür die andere einsetzen. Betrachte die Linsen. Du siehst, daß ihre Oberflächen nach außen gewölbt sind. Solche Linsen nennt man **b i k o n v e x e** Linsen.

Halte die stärker gewölbte Linse bei Sonnenschein so über ein Blatt Papier, daß die Sonnenstrahlen durch sie hindurch auf das Papier fallen. Verändere den Abstand zwischen Linse und Papier, bis du einen sehr hellen, weißen Fleck erhältst. Warte in dieser Stellung einen Augenblick und beobachte (Abb. 56)!

Das Papier entzündet sich dort schnell. Die Linse bricht die Sonnenstrahlen so, daß sie sich in einem Punkt sammeln. Sie heißt darum auch **Sammellinse**. Der Punkt, in dem sich die Strahlen vereinigen und das Papier entzünden, heißt **B r e n n p u n k t**.

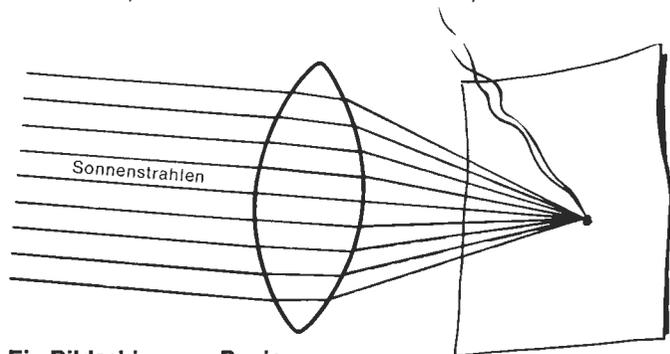


Abb. 56

### 3.17. Ein Bildschirm aus Papier

Für die folgenden Versuche benötigst du einen „Bildschirm“. Du kannst ihn aus dem Deckel eines Schuhkartons leicht herstellen. Schneide in den Deckel ein etwa  $10 \times 10$  cm großes Loch. Überklebe die Öffnung mit Pergamentpapier. Halte den Karton aufrecht, indem du mit den Fingerspitzen innen auf den Rand drückst. Du kannst auch ein Buch innen auf den Rand legen. Dann brauchst du den „Bildschirm“ nicht zu halten (Abb. 56).

Nun kannst du in den folgenden Versuchen mit den Linsen experimentieren und Bilder „auffangen“.

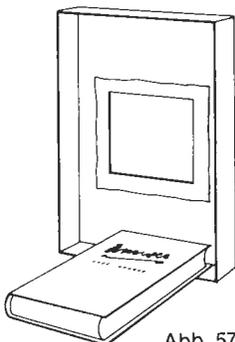


Abb. 57

**3.18. Die Linse erzeugt ein Bild**

Diesen Versuch mußt du im verdunkelten Raum ausführen. Baue dir eine Versuchsanordnung mit Kerze, der stark gewölbten Linse und dem Bildschirm auf. Stecke den Linsenhalter in die vorgesehene Führung im Schaumstoffblock deines Experimentierkastens (Abb. 58). Schiebe nun den Bildschirm auf die Linse zu (ca. 5–10 Zentimeter Abstand) und beachte dabei den Lichtfleck auf dem Bildschirm.

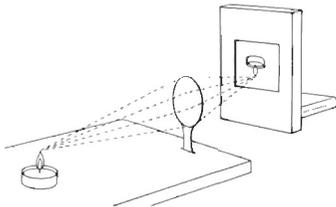


Abb. 58

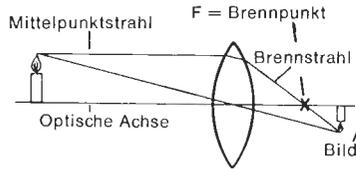


Abb. 59

Bei einem ganz bestimmten Abstand von der Linse erhältst du ein verkleinertes Bild der Kerze, das auf dem Kopf steht. Alle Strahlen, die von einem Punkt der Kerzenflamme ausgehen, sammeln sich auch wieder in einem Punkt. Die Linse bricht die Lichtstrahlen so, daß parallel zur optischen Achse einfallende Strahlen durch den Brennpunkt hindurchgehen. Diese Strahlen nennt man Brennstrahlen. Nur der Strahl, der durch den Mittelpunkt der Linse verläuft, wird nicht gebrochen. Mit dem Verlauf der Brenn- und Mittelpunktstrahlen erklärt sich die Bildentstehung (Abb. 59).

**3.19. Die Bildweite verändert sich**

Baue noch einmal den Versuch 3.18. auf. Miß mit einem Lineal den Abstand zwischen Kerze und Linse, dann zwischen Linse und Bildschirm. Merke dir die Entfernung. Ersetze nun die stark gewölbte Linse durch die flache aus deinem Experimentierkasten. Stelle den Schirm wieder an den gleichen Platz. Beobachte den Bildschirm! Verschiebe ihn, bis du wieder ein scharfes Bild erhältst. Miß erneut den Abstand zwischen Linse und Bild!

Du hast den Bildschirm weiter abrücken müssen. Da du nur die Linse in deiner Versuchsanordnung ersetzt hast, muß es an ihr liegen. Schwach gewölbte Linsen brechen die Strahlen nicht so stark wie Linsen mit sehr gekrümmter Oberfläche. Ihre Brennweite ist länger, d. h. der Brennpunkt befindet sich weiter von der Linse entfernt. Dadurch verändert sich auch die Bildweite, wie dir der Strahlengang in der Abb. 60 zeigt.

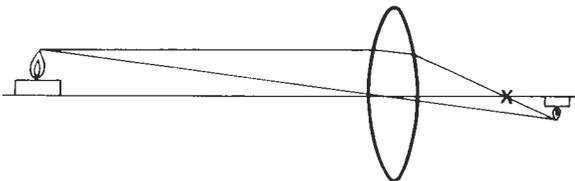


Abb. 60

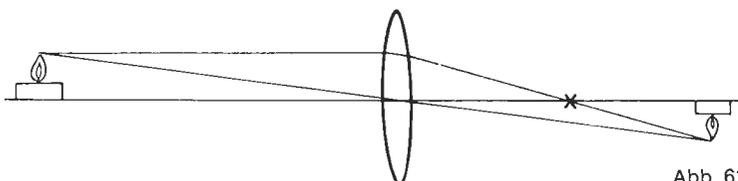


Abb. 61

### 3.20. Die Kerze wird vergrößert

Führe diesen Versuch wieder im verdunkelten Raum aus. Baue die Versuchsanordnung nach Abb. 62 auf. Nimm die stark gewölbte Linse. Du mußt die Kerze nahe an die Linse rücken (ca. 5–8 cm). Fange dann das Bild mit deinem Bildschirm auf.

*Du erhältst ein vergrößertes Bild der Kerze. Sie wird aber umgekehrt abgebildet.*

*Die Lichtstrahlen, die von der Kerzenflamme ausgehen, werden in der Linse gebrochen. Dabei werden parallel zur optischen Achse verlaufende Strahlen durch den Brennpunkt geführt. Der Mittelpunktstrahl verläuft ungebrochen durch den Mittelpunkt der Linse. Im Schnittpunkt von Brennstrahl und Mittelpunktstrahl entsteht das Bild. Es ist vergrößert und umgekehrt. Vergleiche hierzu Abb. 58.*

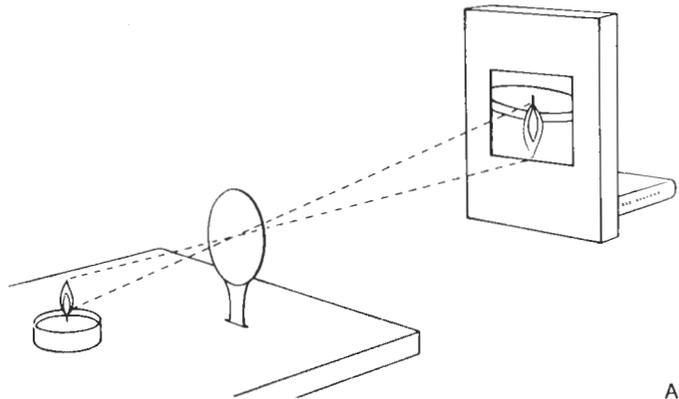


Abb. 62

### 3.21. Ein Vergrößerungsglas

Nimm die stark gewölbte Linse mit der Halterung in die Hand und nähere sie den Druckzeilen einer Tageszeitung! Wenn die Linse sehr nahe heran ist, erhältst du ein stark vergrößertes Bild der Buchstaben. Dabei mußt du wieder einen ganz bestimmten Abstand einhalten. Führe dann den Bildschirm einmal an die Linse heran (wo vorher dein Auge war) und versuche, das Bild aufzufangen. *Das Bild läßt sich nicht darstellen. Es ist indirekt oder scheinbar. Die von der Zeitung reflektierten Lichtstrahlen werden auf die Linse geworfen. Brenn- und Mittelpunktstrahl schneiden sich aber nicht, wie dir die Bildkonstruktion zeigt (Abb. 63). Erst die rückwärtige Verlängerung der Strahlen ergibt einen Schnittpunkt. Eine Linse, die auf diese Weise scheinbare Bilder erzeugt, nennt man Lupe.*

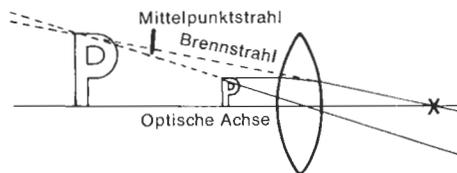


Abb. 63

### 3.22. Ferne Gegenstände rücken näher

Stelle die flache Linse mit der Halterung in die Führung im Schaumstoffblock. (Evtl. muß du unter den Block ein Buch legen.) Richte sie auf das helle Stubenfenster. Fange dann mit deinem Bildschirm das Bild des Fensters auf (Fensterrahmen, Fensterkreuz, Gardine, Blumen usw.). Du kannst es von der Rückseite des Bildschirms betrachten, denn das Pergamentpapier ist durchscheinend.

Betrachte jetzt durch die stark gewölbte Linse das Bild auf dem Pergamentpapier. Halte sie dazu sehr nahe an den Schirm. Entferne dann den Bildschirm!

Du siehst das Bild des Fensters vergrößert. Man kann sagen, es ist näher herangerückt. Physikalisch kannst du dir den Vorgang leicht mit Hilfe des Strahlenganges erklären. Das Bild der flachen Linse betrachtest du mit der Lupe (Vers. 3.21.). Da das Bild im Raum „steht“, benötigst du den Bildschirm nicht (Abb. 64).

Die Linse, die dem Gegenstand – Objekt – zugekehrt ist, nennt man *Objektiv*. Dem Auge zugewandt ist das *Okular* (lat. *oculus* = Auge).

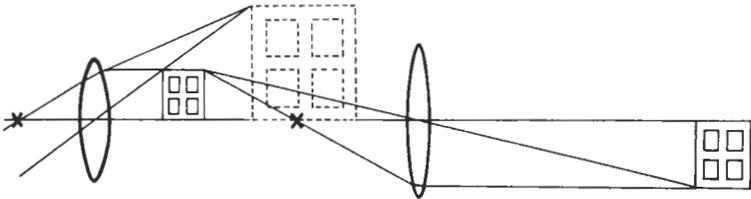


Abb. 64

Da das Bild umgekehrt ist, kann man eine solche Linsenkombination nicht als Erdfernrrohr einsetzen. Aber zur Sternbeobachtung ist es gut geeignet. Es heißt darum *Astronomisches Fernrohr*. Johannes Kepler hat es erfunden. Es wird auch nach ihm benannt.

### 3.23. Kleiner Gegenstand ganz groß

Baue den Versuch 3.20. mit der stark gewölbten Linse noch einmal auf. Stelle das vergrößerte Bild scharf auf dem Schirm ein. Betrachte mit der flachen Linse das Bild von der Rückseite des Schirmes. Dabei mußst du mit der Linse nahe heranrücken. Entferne dann den Bildschirm. Was beobachtest du?

Die Kerzenflamme wird stark vergrößert abgebildet. Du kannst den Docht mit seinen gedrehten Fäden gut erkennen. Das Bild ist vergrößert und umgekehrt (Abb. 65).

Eine Anordnung zweier Linsen, so wie du sie ausgeführt hast, benutzt man im *Mikroskop*. Die Vergrößerung durch das *Objektiv* (vgl. Vers. 3.22.) wird mit dem *Okular* als Lupe betrachtet. Kannst du den Strahlengang erklären?

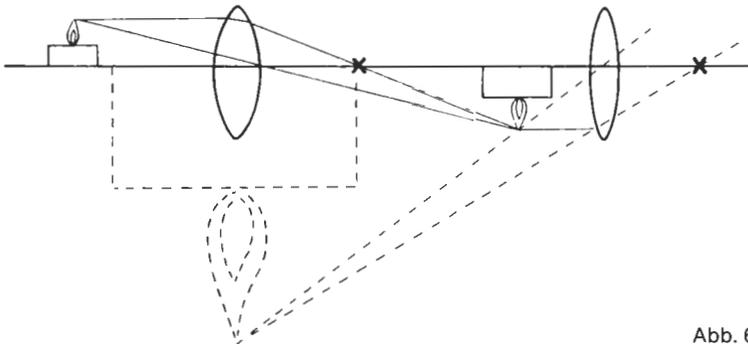


Abb. 65

3.24. **Ist unser Auge zuverlässig?**  
Betrachte die Abb. 66!

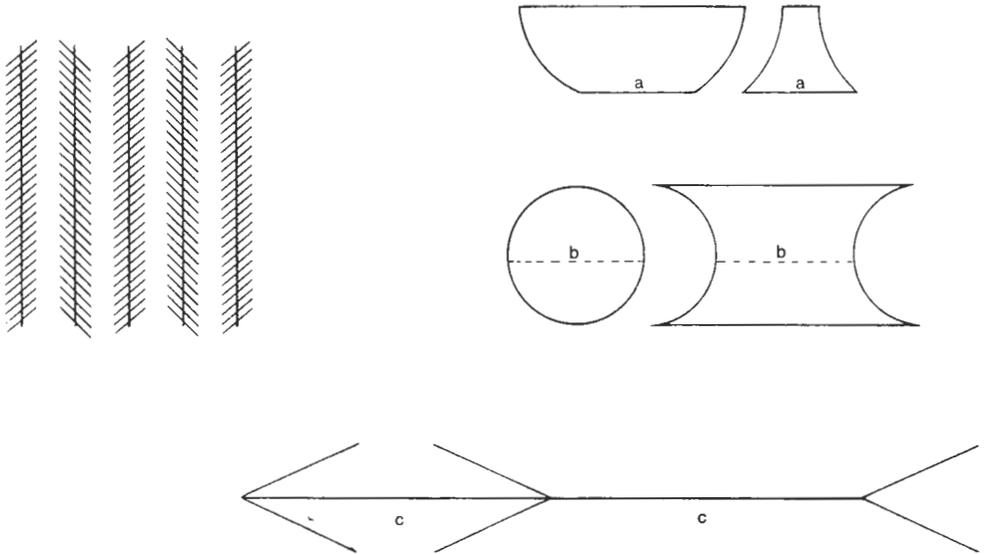


Abb. 66

Miß mit einem Lineal die Strecken a. Hättest du vermutet, daß beide Strecken gleich lang sind? Miß nun die Strecken b und c und die Größe der beiden Personen in Abb. 67. Was stellst du fest?

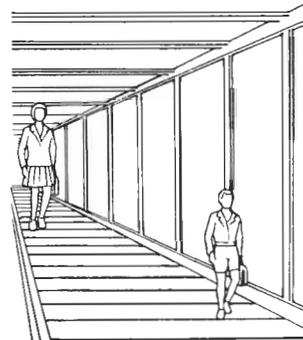


Abb. 67

*Das menschliche Auge ist nicht unbedingt zuverlässig. Es nimmt Eindrücke auf, die durch Nebenwirkungen verfälscht werden können. So erklären sich viele optische Täuschungen!*

3.25 **Auch eine Täuschung**

Nimm einen Bogen Schreibpapier und rolle ihn zu einer Röhre. Jetzt gucke mit dem rechten Auge durch die Papierröhre. Halte gleichzeitig deine linke Handfläche links daneben und blicke mit dem linken Auge auf deine Hand.

*Scheinbar hat jetzt deine linke Handfläche ein Loch, aber das ist natürlich auch eine optische Täuschung. Beim Sehen werden die Wahrnehmungen beider Augen im Gehirn zu einem Bild zusammengefügt. Da bei diesem Experiment das eine Auge die Handfläche und das andere das Innere der Röhre sieht, entsteht dieser merkwürdige Eindruck.*



Abb. 68

3.26. **Dein Auge – blind?**

Betrachte die Abb. 68! Schließe das rechte Auge und richte das linke starr auf den Kreis. Achte dabei aber auch auf das Kreuz! Halte nun die Zeichnung dicht vor die Augen und rücke sie dann langsam weiter ab.

*Du findest eine Stelle, wo das Kreuz verschwindet. Unser Auge sieht innerhalb des Gesichtsfeldes nicht alle Gegenstände mit gleicher Deutlichkeit. Wir „richten“ das Auge auf das, was wir sehen wollen. Wie dir die Abb. 66 zeigt, liegt in gerader Linie mit dem Gegenstand hinter der Augenlinse eine besonders lichtempfindliche Fläche auf der Netzhaut. Man nennt sie den **gelben Fleck**.*

*Die Eintrittsstelle des Sehnervs in das Auge ist unempfindlich. Strahlen von Gegenständen, die im Auge auf diese Stelle treffen, werden nicht wahrgenommen. Man nennt sie den **blinden Fleck**.*

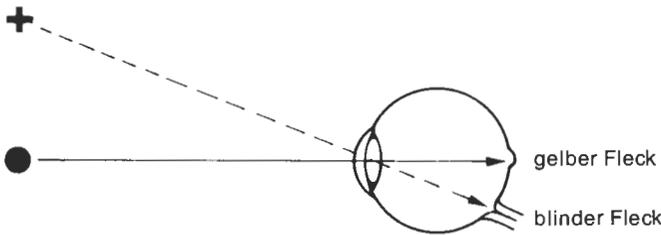


Abb. 69

3.27. **Die Linse hilft**

In diesem Versuch sollst du ein weitsichtiges Auge nachbilden und mit einer Linse den Augenfehler beheben.

Baue zunächst die Versuchsanordnung wie in 3.18. auf. Verwende die stark gewölbte Linse. Nachdem du das scharfe Bild eingestellt hast, rücke den Bildschirm etwas näher an die Linse heran. Das Bild wird wieder unscharf. Du hast nun die physikalischen Ursachen eines weitsichtigen Auges nachgebildet.

*Im Auge bildet die Augenlinse die Gegenstände auf der Netzhaut als Bildschirm ab (Abb. 70). Mit zunehmendem Alter, auch durch andere Ursachen, schrumpft der Augapfel etwas zusammen. Das Bild wird darum erst hinter der Netzhaut scharf. Das Auge ist dann **weitsichtig** (Abb. 71).*

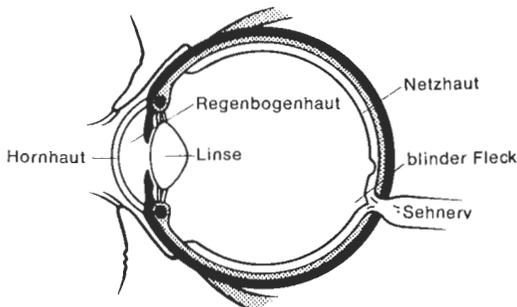


Abb. 70

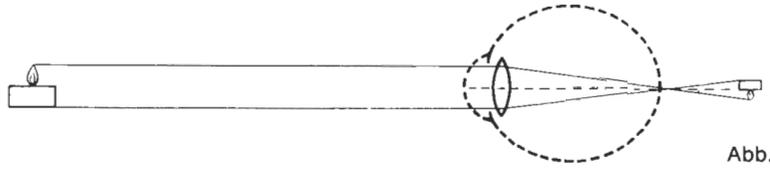


Abb. 71

*Halte die flache Linse nahe vor die andere auf der Kerzenseite. Durch vorsichtiges Verschieben der flachen Linse kannst du das Bild wieder scharf einstellen.*

*Die Brille, hier durch die flache Linse dargestellt, zieht den Strahlengang etwas zusammen. Dadurch wird das Bild auf der Netzhaut wieder scharf, und der Augenteller ist behoben.*

### 3.28. Eine Schlitzblende für Versuche

Für die nächsten Versuche benötigst du eine Schlitzblende. Stelle sie dir auf einfache Weise aus der schwarzen Pappe her. Falte diese zur Hälfte und schneide einige Schlitzze hinein (Abb. 69). Lege deine Schlitzblende auf den Tisch und richte die eine Seite auf. Verstärke die Kanten an den Enden, indem du kleine Dreiecke aus Papier (Heftumschlag) hineinklebst.

Nun hast du eine Schlitzblende für die nächsten Versuche.

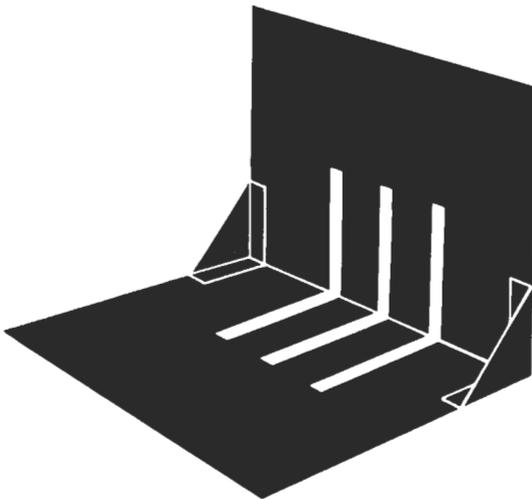


Abb. 72

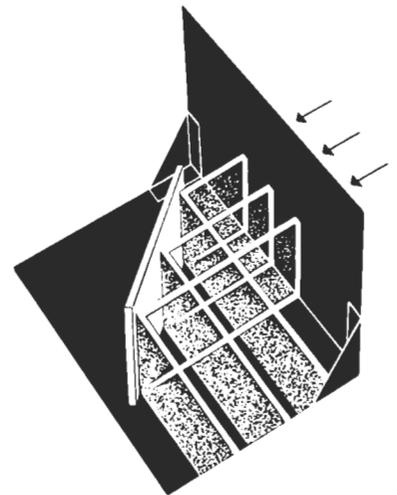


Abb. 73

### 3.29. Abprallende Lichtstrahlen

Baue mit dem Spiegel und der selbstgebauten Schlitzblende die Anordnung nach Abb. 73 auf. Laß nun Sonnenstrahlen durch die Schlitzze der Blende auf den Spiegel fallen!

*Durch den Spiegel werden Lichtstrahlen zurückgeworfen. Sie verlieren dabei kaum an Helligkeit. Die Strahlen prallen aber nicht beliebig vom Spiegel ab. Sie werden immer nur in eine bestimmte Richtung reflektiert. Man spricht daher in der Physik von einer gerichteten Reflexion des Lichts an einem Spiegel. Sie ist nur bei sehr glatten Oberflächen möglich.*

### 3.30. Weißes Papier als Spiegel?

Verwende für diesen Versuch wieder den Aufbau nach Abb. 73, benutze aber statt des Spiegels einen Bogen weißen Papier. Richte die Schlitzblende so, daß Sonnenstrahlen durch sie auf den Papierbogen fallen. Vergleiche mit dem Ergebnis aus Vers. 3.29.

*Die Sonnenstrahlen werden nicht zurückgeworfen. Zwar ist der ganze Raum hell, aber reflektierte Strahlen sind nicht zu erkennen. Das Licht der Strahlen ist beim Auftreffen auf den Papierbogen in alle Richtungen zerstreut worden. Man nennt einen solchen Vorgang eine ungerichtete oder diffuse Reflexion.*

### 3.31. Merkwürdiges zur Spiegelschrift

Stelle den Spiegel aufrecht auf eine Tageszeitung oder Druckschrift. Schauge schräg in den Spiegel!

*Der Spiegel bildet die Schrift in gleicher Größe ab. Die Buchstaben werden auch in scheinbar gleicher Entfernung abgebildet. Nur oben und unten werden nicht vertauscht. Der Spiegel reflektiert nur in einer Ebene: Links und rechts werden zwar vertauscht, oben und unten bleiben aber erhalten.*

### 3.32. Sehen wir uns selbst?

Betrachte dich in deinem Spiegel! Zwinkere mit dem linken Auge! Ist es auch das linke Auge in deinem Spiegelgesicht?

*Da der Spiegel nur in einer Ebene reflektiert (vgl. Vers. 3.31.), ist unser linkes Auge in unserem „Spiegelgesicht“, das uns „ansieht“, das rechte.*

*Wir sehen uns also gar nicht so, wie wir wirklich sind. Vielleicht verstehst du nun, warum einige Leute meinen, sie sähen so wie auf einer Fotografie in Wirklichkeit nicht aus. Aber das Foto ist eine genaue Wiedergabe, das Spiegelbild nicht!*

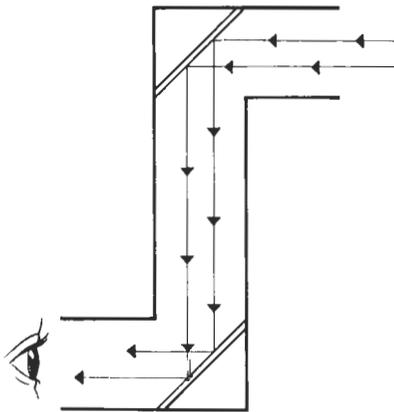


Abb. 74

### 3.33. Um die Ecke sehen

Stelle dich mit deinem Spiegel an eine Hausecke. Halte den Spiegel mit der Hand so an die Ecke, daß du um sie herumsehen kannst! Du hast erfahren, daß ein Spiegel Lichtstrahlen reflektiert. Das gilt nicht nur für Sonnenstrahlen, sondern auch für Strahlen, die von den Gegenständen ausgehen. Die gerichtete Reflexion gestattet ein Sehen „um die Ecke“.

*Mit diesem Versuch hast du das Prinzip des Periskops auf einfachste Weise erfahren. Beim Periskop verwendet man zwei Spiegel (Abb. 74). Damit ist es möglich, z. B. aus einem getauchten Unterseeboot über die Wasseroberfläche zu schauen.*

### 3.34. Fotografieren ohne Linse?

Aus einem kleinen Pappkarton mit Deckel (ca. 5 cm hoch) und einem Bogen Pergamentpapier kannst du dir ein Gerät bauen, das dir die wichtigsten Funktionen eines Fotoapparates zeigt! Brenne in die Mitte des Kartonbodens ein Loch mit einer glühenden Nähnadel. In den Deckel schneidest du ein Fenster von etwa  $3 \times 4$  cm Größe. Überklebe das Fenster mit Pergamentpapier. Verfahre dabei so, wie du den Bildschirm (Vers. 3.17.) hergestellt hast.

Richte dein Gerät auf einen gut beleuchteten Gegenstand, z. B. das Fenster deines Zimmers, und betrachte das Pergamentpapier!

*Auf dem Papier erscheint das Bild des Gegenstandes. Es steht auf dem Kopf. Wie dir die Bildkonstruktion zeigt, überkreuzen sich die Lichtstrahlen in der Öffnung (Abb. 75). Man nennt das Gerät, das du gebaut hast, eine L o c h k a m e r a.*

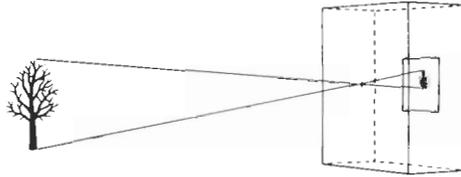


Abb. 75

### 3.35. Ein unscharfes Bild

Vielleicht befriedigt dich das dunkle Bild der Lochkamera nicht recht. Es gelangen nur wenige Lichtstrahlen durch die kleine Öffnung. Versuche einmal, diesen Mangel zu beheben, indem du die Öffnung auf etwa 1 cm Durchmesser vergrößerst! Beobachte wieder das Bild auf dem Pergamentpapier!

*Das Bild ist nicht mehr zu erkennen. Die Umrisse erscheinen, wenn überhaupt, sehr verschwommen (Abb. 76).*

*Die Strahlen überschneiden sich nicht mehr in einem Punkt, sondern in einer Fläche. Darum wird das Bild unscharf.*

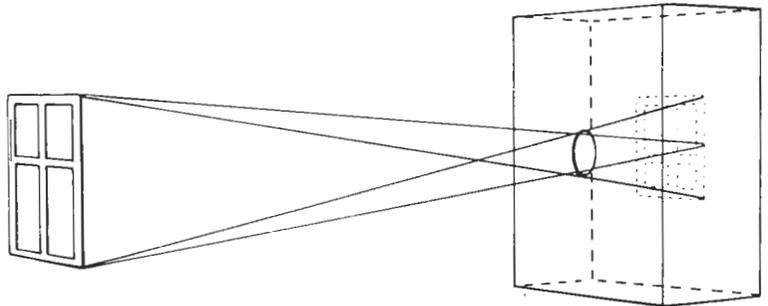


Abb. 76

### 3.36. Hell und klar

Du hast mit der Linse schon experimentiert und gesehen, daß sie Abbildungen erzeugen kann. Sie kann dir helfen, bei der Lochkamera ein helles und klares Bild zu erhalten.

Baue die stark gewölbte Linse in deine Kamera ein. Befestige sie dazu mit zwei Klebestreifen vor der Öffnung im Boden des Kartons. Beobachte dann den Bildschirm. Du kannst das Bild scharf einstellen, indem du den Deckel etwas verschiebst.

*Das Bild steht auf dem Kopf. Zur Erklärung des Strahlenganges betrachte noch einmal Abb. 58. Im Schnittpunkt von Brennstrahl und Mittelpunktsstrahl entsteht wieder der Punkt des Gegenstandes als Bild, von dem die Strahlen ausgegangen sind.*

### 3.37. Ein Linsenfehler wird behoben

Richte deinen Apparat auf ein Fenster. Beobachte einmal genau das Bild auf dem Pergamentpapier. Vielleicht hängst du dir eine Decke oder ein dunkles Tuch über, so wie es die Fotografen zu Opas Zeiten getan haben. Beim genauen Betrachten des Bildes entdeckst du, daß das Bild an den Rändern unscharf ist. Es läßt sich durch Verändern des Abstandes mit dem Deckel auch nicht scharf einstellen. Technisch ist es schwierig, verzeichnungsfreie Linsen herzustellen.

Behebe den Linsenfehler! Nimm dazu einen kleinen Rahmen, den du aus schwarzem Papier ausschneidest. Die Öffnung soll etwa  $2 \times 2$  cm betragen. Klebe den Rahmen auf das Pergamentpapier im Deckel. Nun hast du die Unschärfen abgedeckt. Freilich ist das Bild auch kleiner geworden. Alle Kameras nutzen auch nur einen Teil der möglichen Bildfläche aus, um Unschärfen am Bildrand zu vermeiden.

### 3.38. Wir zaubern „Tiefenschärfe“

Richte deine Kamera auf eine Landschaft, z. B. aus dem Fenster heraus. Du erkennst, daß das Bild nicht alles scharf wiedergibt. Du kannst durch Verschieben des Deckels immer nur Gegenstände in einem bestimmten Entfernungsbereich scharf bekommen, entweder nah – das Fensterkreuz etwa – oder fern – z. B. Häuser oder Bäume im Hintergrund.

Mit einer „Blende“ kannst du den Mangel beheben. Schneide in einen schwarzen Papierbogen (ca.  $5 \times 5$  cm) ein Loch von etwa 5 mm Durchmesser. Befestige diese „Blende“ mit Klebestreifen vor der Linse deiner Kamera. Prüfe nun wieder das Bild!

*Das Bild ist dunkler geworden. Dafür hat die Schärfe über einen größeren Entfernungsbereich zugenommen. Die „Tiefenschärfe“ ist größer geworden.*

*Zur Erklärung betrachte Abb. 56, die den Strahlengang ohne Blende darstellt. Im Schnittpunkt, wo das Bild entsteht, treffen die Strahlen unter einem großen Winkel aufeinander. Sie streben stark auseinander, wenn man die Bildebene etwas verschiebt.*

*Die Abb. 77 zeigt den Strahlengang beim Abblenden. Er ist beschnitten, und die Strahlen treffen im Bildpunkt nur unter einem flachen Winkel aufeinander. Steht nun die Bildebene nicht genau im Schnittpunkt der Strahlen, so ist die Unschärfe trotzdem nur gering. Die Strahlen streben nur wenig auseinander.*

*Unser Auge erkennt Flächen unter 0,2 mm Durchmesser in normaler Entfernung nur noch scharf als Punkt. Man sagt, das Auflösungsvermögen des Auges beträgt 0,2 mm.*

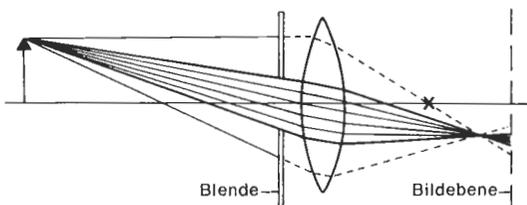


Abb. 77

#### 4. Fliegen und Gleiten

Der Traum vom Fliegen beherrschte die Menschen bereits Jahrtausende, ehe der erste Mensch sich in die Lüfte erheben konnte. Sicherlich hast du die Sage von Dädalus und Ikarus bereits gehört, aber schon lange vor dem Entstehen dieser Sage, nämlich etwa um 2500 v. Chr., hatten Menschen Pläne zum Fliegen ausgedacht. Im Jahre 1505 entwickelte der italienische Bildhauer, Maler und Wissenschaftler Leonardo da Vinci sehr genaue Vorstellungen, wie ein „Fluggerät“ aussehen könne. Doch es dauerte noch über 350 weitere Jahre, bis sich der erste Mensch mit einem Gleiter in die Lüfte erheben konnte – wenn auch immer nur für kurze Strecken. Danach verlief die Entwicklung bis zu den heute bekannten Flugzeugen in einem so rasanten Tempo, daß neue Flugzeuge zum Zeitpunkt der Serienreife schon wieder fast veraltet sind und noch bessere sich bereits in der Erprobung befinden.

In diesem Kapitel sollst du ein wenig darüber erfahren, wie es möglich ist, daß sich riesige metallene Flugzeuge in der Luft bewegen und Hubschrauber sogar an einem Punkt halten können, ohne abzustürzen.

Verwende für die kommenden Versuche als **Winderzeuger** einen Haartrockner oder einen Staubsauger, den du umkehrst.

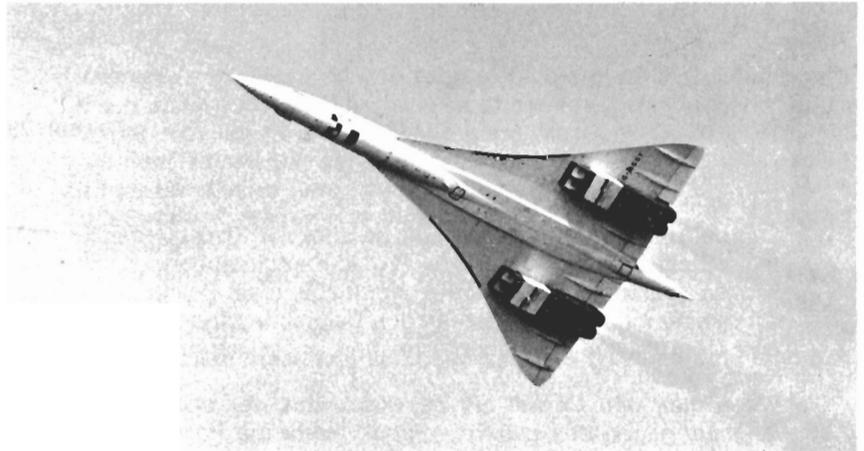


Abb. 78

4.1. **Eine Kraft wirkt nach oben**

Halte in den Luftstrom des Winderzeugers ein Stück Karton, das etwa 15 cm x 25 cm groß ist. Verändere den Winkel, unter dem die Luft auf den Karton trifft, und achte darauf, wann der Karton nach oben gedrückt wird.

*Wenn der Luftstrom gegen den mit der Vorderkante schräg nach oben gerichteten Karton trifft, wird dieser nach oben gedrückt. Bei waagerechter und senkrechter Stellung des Kartons wird er überhaupt nicht nach oben bewegt, dazwischen nimmt die Kraft allmählich zu und schließlich wieder ab. Diese nach oben gerichtete Kraft nennt man **Auftrieb**.*

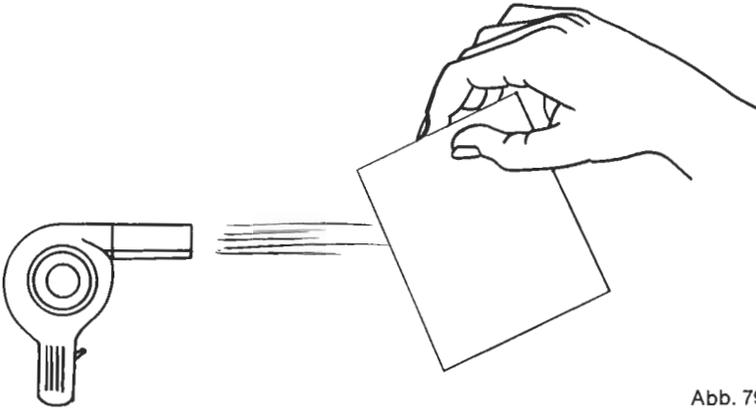


Abb. 79

4.2. **Der Winkel ist wichtig**

Laß bei diesem Versuch die Luft parallel zur Tischoberfläche strömen. Stelle den Deckel deines Physik-Experimentierkastens rechtwinklig gegen den Luftstrom und klebe eine Postkarte auf der Oberkante mit Klebestreifen an den Deckel. Verändere die Neigung des Deckels zur Tischoberfläche und achte darauf, wie sich die Karte verhält.

*Wenn man den Deckel mit der Karte aus der senkrechten Lage langsam gegen den Luftstrom kippt, bleibt die Postkarte zunächst immer gegen den Deckel gedrückt. Von einem bestimmten Winkel ab löst sich die untere Kante der Karte vom Deckel und behält eine feste Neigung zum Luftstrom. Den Winkel zwischen dem Luftstrom und der Postkarte bezeichnet man als **Anstellwinkel**. Dieser Anstellwinkel wird um so größer, je langsamer die Luft strömt. Das kannst du feststellen, wenn du den Winderzeuger weiter fortnimmst.*

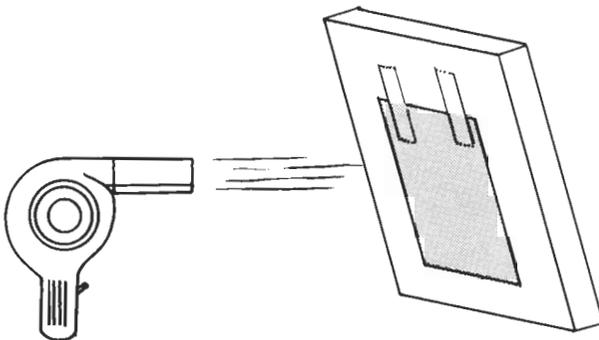


Abb. 80

#### 4.3. Eben oder gewölbt?

Knicke von der Schmalseite einer Postkarte etwa 2 cm rechtwinklig um und hänge diese Kante über das Lineal, das du an einer Tischkante aufrecht halten mußt. Blase nun kräftig über die Oberseite der Karte (Abb. 81).

Ziehe anschließend die Karte so über eine Tischkante, daß sie sich nach oben wölbt, und puste wieder kräftig darüber, nachdem du sie an das Lineal gehängt hast (Abb. 82).

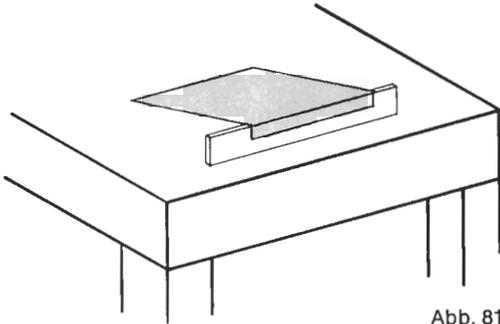


Abb. 81

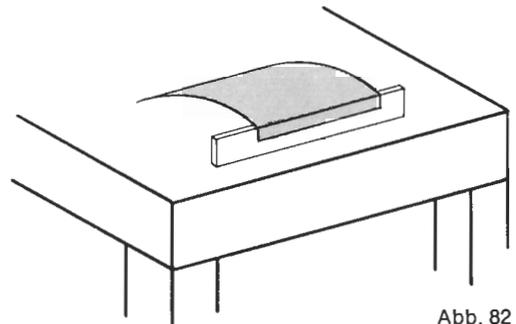


Abb. 82

*Die ebene Karte ändert ihre Lage nicht, die gewölbte dagegen wird nach oben gehoben. Das bewirkt allerdings nicht der Auftrieb. Es bildet sich über der gewölbten Karte ein Sog, der sie hochzieht. An den Tragflächen der Flugzeuge wirken zwei Kräfte gleichzeitig: Unter der Fläche wirkt die Auftriebskraft, darüber der Sog. Beide zusammen tragen bei genügender Geschwindigkeit das Flugzeug.*

#### 4.4. Doppelsog

Klebe eine Postkarte mit der Wölbung nach außen mit Klebestreifen an eine Tischkante, die andere an das Lineal. Halte das Lineal so, daß die beiden Karten senkrecht hängen und etwa 3 cm voneinander entfernt sind. Blase nun von oben mit dem Winderzeuger hindurch.

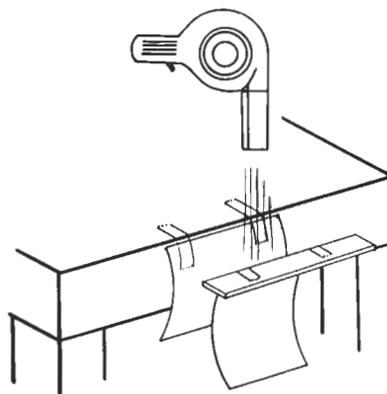


Abb. 83

*Die beiden Karten werden nicht etwa auseinandergedrückt, sondern sie berühren einander. An jeder Fläche entsteht nämlich ein Unterdruck. Die dabei auftretenden Kräfte sind entgegengesetzt gerichtet, so daß die Karten zusammentreffen.*

#### 4.5. **Der Sturm deckt Dächer ab**

Bei schweren Stürmen werden häufig Dächer abgedeckt. Warum das möglich ist, kannst du leicht nachvollziehen.

Falte eine Postkarte in der Mitte und beschwere das „Dach“ an einer Kante mit dem Lineal. Blase nun wieder kräftig über die Karte.

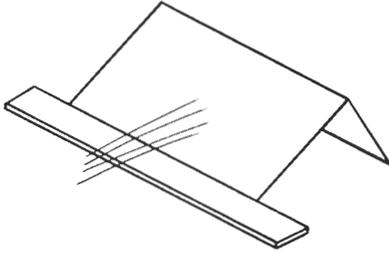


Abb. 84

*Über der dem Wind abgewandten Dachfläche bildet sich auch ein Sog, der das Dach zunächst anhebt und dann mit fortfliegen läßt. In manchen Gegenden werden deshalb die Dächer zusätzlich mit Steinen beschwert.*

#### 4.6. **Windschatten**

Halte eine Postkarte senkrecht vor eine brennende Kerze und blase kräftig gegen die Kerze.

*So sehr du dich auch bemüht, es wird dir nicht gelingen, die Flamme auszublasen. Der Luftstrom prallt gegen die Fläche und wird zur Seite abgelenkt. Die Kerze befindet sich im Windschatten.*

#### 4.7. **Luftwirbel**

Stelle jetzt eine Flasche vor die brennende Kerze und blase gegen die Flasche.

*Die Kerze erlischt sofort. Beim Auftreffen auf die Flasche teilt sich der Luftstrom, paßt sich der Flaschenwölbung an und vereinigt sich dahinter wieder. Dabei entstehen Luftwirbel, die die Kerzenflamme zum Erlöschen bringen.*

#### 4.8. **Steuern durch Strömung**

Befestige eine Postkarte an der Schmalseite mit zwei Klebestreifen am Lineal. Halte es senkrecht auf den Tisch und blase mit dem Winderzeuger gegen die Karte. Knicke dann hinten etwa 2 cm ab und wiederhole. Halte anschließend das Lineal waagrecht.

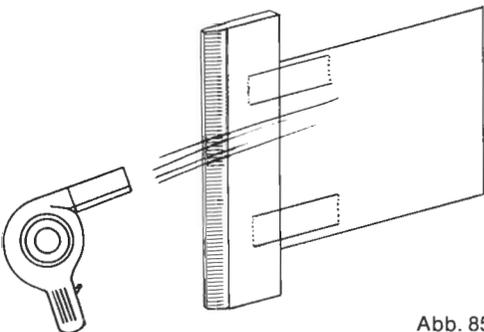


Abb. 85

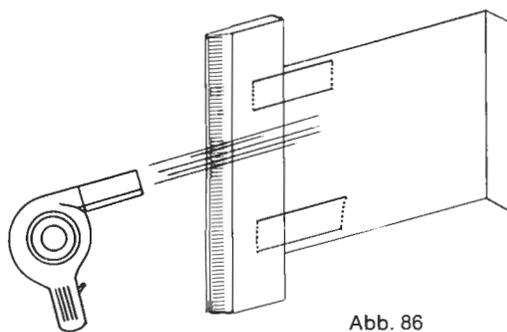


Abb. 86

*Die Karte schlägt zunächst so aus, daß sie immer genau im Luftstrom bleibt. Mit dem Knick am Ende schlägt sie stark nach der dem Knick entgegengesetzten Seite aus.*

*Zur Steuerung eines Flugzeuges benötigt man Höhen-, Seiten- und Querruder. Die Höhen- und das Seitenruder eines Flugzeuges drücken entsprechend der Stellung das Heck nach oben bzw. unten oder nach links bzw. rechts. Durch die Querruder werden die Tragflächen gehoben oder gesenkt.*

#### 4.9. Ein einfaches Flugmodell

Laß die Karte aus Versuch 4.5. zu Boden gleiten und beobachte die Bahn. Stecke dann vorn an die Karte einige Büroklammern. Probiere so lange aus, bis die Karte in einem flachen Winkel zu Boden gleitet. Falls notwendig, füge weitere Büroklammern hinzu.

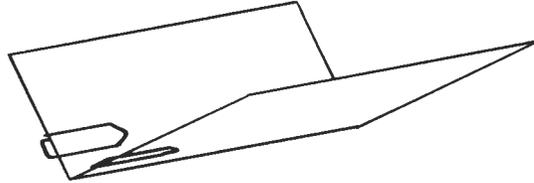


Abb. 87

*Ohne Büroklammern fällt die Karte zu Boden, mit etwa 4 bis 6 Büroklammern dagegen gleitet sie leicht, da der Schwerpunkt jetzt richtig liegt.*

*Ein Flugzeug muß stets richtig ausbalanciert sein, sonst läßt sich keine gleichmäßige Flugbahn erzielen. Man spricht bei Flugzeugen allerdings vom „Trimmen“, nicht vom Ausbalancieren.*

#### 4.10. Propellerantrieb

Schneide dir aus Karton zwei Flügel eines Propellers (ca. 8 cm lang) aus und klebe sie an eine kleine Garnrolle. Wickle einen etwa 1 m langen Faden um die Rolle und stecke sie auf die Stahlnadel. Ziehe nun kräftig an dem Faden und achte auf die Garnrolle.

*Der Propeller dreht sich zwar – die Geschwindigkeit hängt davon ab, wie schnell du ziehst –, aber er hebt sich nicht, solange er keine Neigung erhält.*

#### 4.11. Verstellpropeller

Drehe die beiden Propellerhälften etwas gegeneinander und ziehe wieder den aufgewickelten Faden ab. Stelle unter den Propeller eine Kerze und achte darauf, ob der Propeller sie zum Flackern bringt. *Die Blätter des Propellers besitzen jetzt – ähnlich wie die Tragflächen eines Flugzeuges – einen Anstellwinkel. Durch die Drehung erfassen sie damit die Luftteilchen und schleudern sie mit höherer Geschwindigkeit hinter sich – bei falscher Drehrichtung vielleicht auch nach vorne. Dabei entsteht ein Schub, der ein Flugzeug vortreiben kann.*

*Bei manchen Flugzeugen kann der Propeller übrigens verstellt werden: Beim Starten ist der Anstellwinkel sehr klein, beim schnellen Flug dagegen viel größer.*

#### 4.12. Rückstoßantrieb

Laß einen Haartrockner ausnahmsweise einmal am Kabel herabhängen und merke dir, wie er hängt. Schalte ihn in dieser Stellung ein und achte darauf, ob sich die Lage verändert hat.

*Wenn Luft austritt, bewegt sich der Haartrockner in entgegengesetzter Richtung etwas fort. Bei Flugzeugen mit Strahltriebwerken verbrennt in einer Brennkammer Kraftstoff. Die nach hinten austretenden Verbrennungsgase erzeugen einen so großen Schub, daß das Flugzeug bewegt wird.*

4.13. **Ein einfacher Düsenjäger**

Blase den Luftballon stark auf und laß ihn dann mit geöffnetem Mundstück los.

*Die zusammengepreßte Luft entweicht mit großem Druck aus der kleinen Öffnung. Der Ballon wird deshalb mit beträchtlicher Geschwindigkeit angetrieben. Er ändert allerdings dauernd seine Richtung, da keine richtungsstabilisierenden Teile vorhanden sind.*

4.14. **Steigflug**

Nimm die große Luftschraube aus deinem Physik-Experimentierkasten und laß sie durch Anziehen des Zugseiles genau senkrecht aufsteigen.

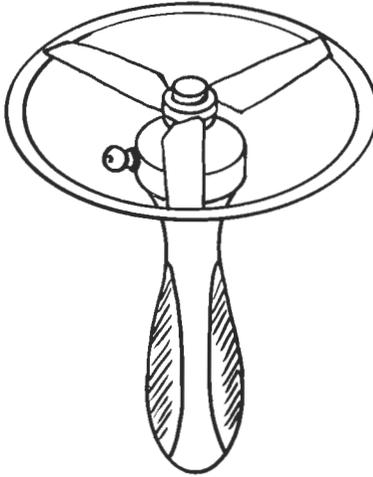


Abb. 88

*Beim Abziehen des Seiles wird die Schraube in eine so hohe Umdrehungsgeschwindigkeit versetzt, daß sie sich schließlich – bedingt durch den Anstellwinkel – löst und aufsteigt.*

*Die Luftschraube kann dir das Prinzip des Hubschraubers verdeutlichen. Die Rotorblätter übernehmen auch die Funktion der Tragflächen. Ihr Anstellwinkel läßt sich während des Fluges verändern.*

4.15. **Hubschrauber-Antrieb**

Wiederhole den Versuch 4.14., halte den Griff der Luftschraube allerdings etwas schräg von dir fort.

*Die Flugbahn verläuft jetzt nicht nur nach oben, sondern auch nach vorwärts.*

*Der Rotor des Hubschraubers übernimmt nicht nur die Aufgaben der Tragfläche, sondern auch die des Propellers. Der Anstellwinkel läßt sich sogar während einer einzigen Umdrehung so verändern, daß er hinten größer ist als vorne. Dadurch kippt der Hubschrauber etwas nach vorne, so daß er vorwärts angetrieben wird. Diese Verstellung erfolgt natürlich automatisch.*

4.16. **Autorotation**

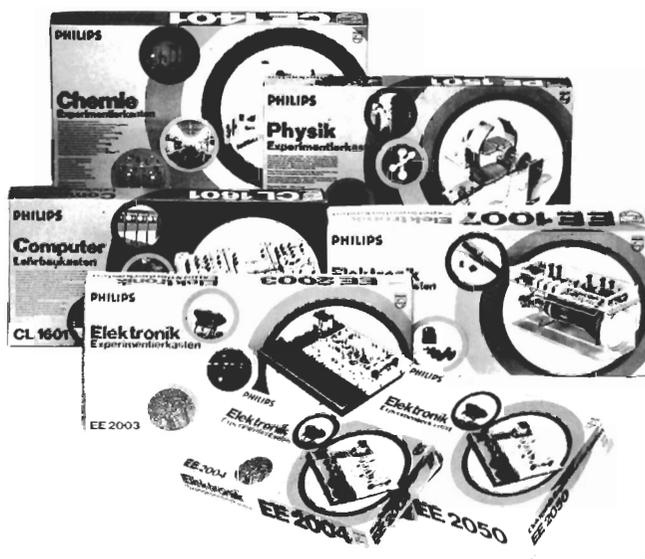
Laß deine Luftschraube möglichst aus größerer Höhe – vielleicht aus einem Fenster – herabfallen. Achte auf die Umdrehung.

*Auch ohne Antrieb wird die Luftschraube beim Fall in Drehung versetzt. Diesen Vorgang nennt man Autorotation. Ein Hubschrauber kann deshalb auch bei Motorausfall noch sicher landen, weil der Propeller ebenfalls in Autorotation versetzt wird.*

# Philips hat das große Programm

Experimentier- und Lehrbaukästen für Elektronik, Physik, Chemie und Computertechnik. Ergänzungsfähige Serien für jedes Alter: vom Grundschulwissen bis zum ernstzunehmenden Hobby. Zusammengestellt von Fachleuten aus den Philips Labors und Forschungsabteilungen und erfahrenen Pädagogen; vielfach ausgestattet mit Originalteilen aus der Industrie-Produktion.

**Philips Experimentierkästen – das Programm, das aus der Praxis kommt.**



Mit Deinem **Physik-Experimentierkasten PE 1502** hast Du Dir die Welt der Naturwissenschaften eröffnet. Sicher interessieren Dich auch noch unser Elektronik-Programm und die Geheimnisse der Chemie.

Unsere Anschrift lautet :

in Deutschland PHILIPS GMBH  
Abt. Technische Spielwaren  
2 Hamburg 1, Postf. 10 14 20

in Österreich Spiel und Sport  
Hermann Stadlbauer  
5027 Salzburg, Postfach 93

in der Schweiz Philips Lehrspiele  
Willy Siegrist  
Aussendorfstraße 48  
8052 Zürich

**D**