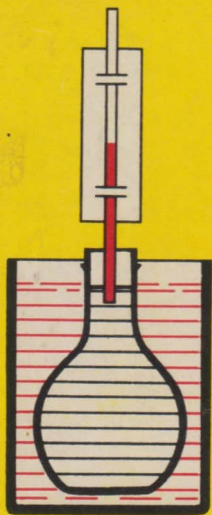


# PHYSIK



SECHSTES SCHULJAHR



# PHYSIK

EIN LEHRBUCH FÜR DIE OBERSCHULE

KLASSE 6

Mit 274 Abbildungen · Ausgabe 1960



VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

1961



Verfaßt von Dieter Amende und Wolfgang Böttner

Vom Ministerium für Volksbildung der Deutschen Demokratischen Republik als Lehrbuch für die zehnklassige allgemeinbildende polytechnische Oberschule bestätigt.

Dritte, durchgesehene Auflage

Redaktionssechluß: 1. 9. 1961

Zeichnungen: Kurt Dornbusch

Umschlag: Günter Klaus

ES 11 H · Bestell-Nr. 02 603-3 · 2.— DM · Lizenz Nr. 203 · 1 000/61 (DN)

Textkarte genehmigt: K 1 MdI der DDR Nr. 3391/7

Satz: VEB Leipziger Druckhaus, Leipzig III/18/203

Druck: VEB Graphische Werkstätten, Leipzig III/18/97

## INHALTSVERZEICHNIS

### *I. Von den Körpern und ihrer Messung*

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 1. Die wichtigsten Eigenschaften der Körper ..... | 5  |
| 2. Längenmessungen .....                          | 14 |
| 3. Raummessungen .....                            | 23 |
| 4. Das Messen von Stoffmengen durch Wägung ...    | 28 |
| 5. Eigenschaften fester Körper .....              | 33 |
| 6. Die Formbarkeit einiger Werkstoffe .....       | 44 |
| 7. Flüssigkeiten ändern ihre Form .....           | 55 |
| 8. Wasserversorgung .....                         | 63 |
| 9. Wasser als Lösungsmittel .....                 | 68 |
| 10. Kräfte zwischen den kleinsten Teilchen .....  | 74 |
| 11. Eigenschaften und Verwendung von Gasen ...    | 77 |
| 12. Die drei Aggregatzustände .....               | 82 |

### *II. Wärmelehre*

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 13. Die Temperaturmessung .....       | 84  |
| 14. Wärmequellen .....                | 89  |
| 15. Die Wärmeausdehnung .....         | 100 |
| 16. Die Ausbreitung der Wärme .....   | 106 |
| 17. Schmelzen und Erstarren .....     | 114 |
| 18. Verdampfen und Kondensieren ..... | 119 |
| 19. Vom Wetter .....                  | 126 |
| 20. Wetter und Landwirtschaft .....   | 133 |

### *III. Akustik*

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| 21. Entstehung und Ausbreitung des Schalles ..... | 139 |
| 22. Reflexion und Resonanz .....                  | 144 |

### *IV. Optik*

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| 23. Die geradlinige Ausbreitung des Lichtes ..... | 151 |
| 24. Die Reflexion .....                           | 158 |
| 25. Die Brechung des Lichtes .....                | 163 |
| 26. Optische Linsen .....                         | 168 |
| 27. Optische Geräte .....                         | 174 |



er hoch. Auch aus Knetmasse oder Ton kannst du eine Kugel formen. Wenn du sie auf die Erde wirfst, drückt sie sich platt und bleibt liegen. Tust du dasselbe mit einer Glaskugel, dann zersplittert sie.

In allen Fällen hast du den gleichen geometrischen Körper verwendet, doch jedesmal konntest du andere Vorgänge beobachten. Das liegt daran, daß jeder der genannten kugelförmigen Körper andere Eigenschaften hat. Diese Eigenschaften bewirken das Hochspringen, das Plattdrücken oder das Zerbrechen. Das sind physikalische Vorgänge. Die Körper, an denen wir sie beobachten, nennen wir *physikalische Körper*.

Wir beobachten auf dem Spielplatz (Abb. 5/2): Die Murmel rollt ins Loch, der Kreisel tanzt, der Luftballon fliegt davon, die Wippe geht auf und nieder, der Reifen rollt, die Schaukel schwingt hin und her. Alle diese Bewegungen der Spielgeräte sind *physikalische Vorgänge*. Die Spielgeräte selbst sind physikalische Körper.

Ein physikalischer Körper ist weiterhin der Nagel, der in ein Brett dringt, das Beil, mit dem du Holz spaltest, die Schere, mit der du Papier schneidest, der Bohrer, der bei der Arbeit heiß wird, die Stange, mit der du eine Kiste anhebst. Nenne selbst noch andere physikalische Körper und beschreibe, was mit ihnen getan wird!

Einfache physikalische Körper können zu größeren physikalischen Körpern zusammengesetzt werden. An deinem Fahrrad findest du im Kugellager Kugeln.

Du erkennst die Pedale, die Handbremse und ihre Feder, die Schläuche und viele andere physikalische Körper. Aber auch dein Fahrrad selbst ist ein physikalischer Körper. Ebenso bestehen alle anderen Fahrzeuge und Maschinen aus physikalischen Körpern, sie sind aber auch selbst physikalische Körper; das Auto und das Motorrad, das Schiff und die Lokomotive, die Drehmaschine (Abb. 6/1) und der Traktor, der Bagger (Abb. 7/1) und der Mähdrescher (Abb. 7/2).

**Alle Gegenstände, an denen wir physikalische Vorgänge beobachten können, nennt man physikalische Körper.**

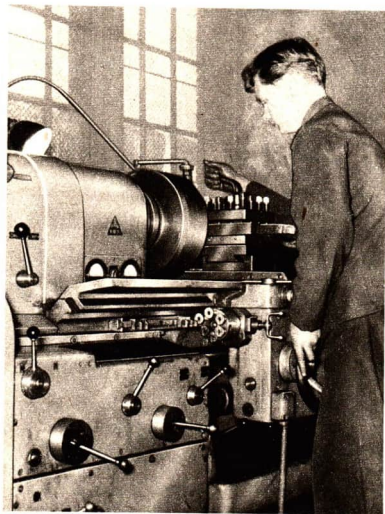


Abb. 6/1. Drehmaschine

**2. Vom Stoff und vom Raum.** Das physikalische Verhalten der Körper erklärt sich aus ihren Eigenschaften. Wir wollen nun diese Eigenschaften näher untersuchen.

Woraus bestehen die Körper, die wir bisher nannten? Der Ball ist aus Gummi, der Kreisel aus Holz, die Zange aus Stahl.

Gummi, Holz, Stahl, Glas sind Stoffe. Andere feste Stoffe sind Porzellan, Knetmasse, Papier, Wachs, Leder, Kohle, Salz, Kupfer, Blei, Messing.

Alle Körper bestehen aus Stoffen, manchmal aus einem, wie die Zange oder die Kugel im Kugellager, oft aber auch aus mehreren, wie die Brille oder der Hammer. Jeder Körper besteht aus Stoff. Dies trifft für alle Körper zu.

**Jeder Körper besteht aus Stoff.**

*Aufgaben:*

1. Übertrage die untenstehende Tabelle in dein Heft! Ergänze sie und suche weitere Beispiele!
2. Schreibe Körper auf, die aus Stahl bestehen!

| Körper         | Stoff |
|----------------|-------|
| Ball           | Gummi |
| Schraube       | _____ |
| Kreisel        | _____ |
| _____          | Holz  |
| Fensterscheibe | _____ |
| _____          | _____ |

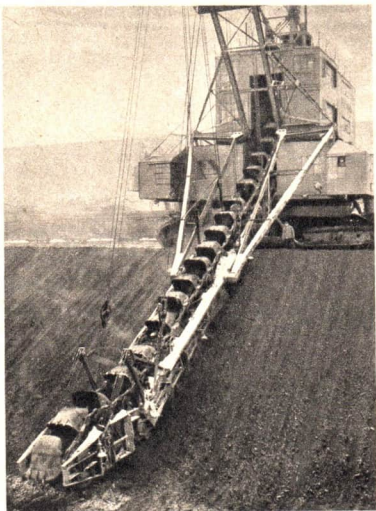
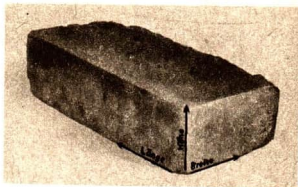


Abb. 7/1. Eimerkettenbagger



Abb. 7/2. Mähdrescher

Am Bahnhof wird ein Lastwagen mit Ziegelsteinen beladen. Die Arbeiter packen Stein neben Stein, bis der Wagen voll beladen ist. Der Laderaum wird schließlich von den Ziegelsteinen eingenommen. Wir erkennen daraus eine wichtige Eigenschaft. Die Ziegel nehmen einen Raum ein. Aber auch alle anderen Körper haben die gleiche Eigenschaft:



**Jeder Körper nimmt einen Raum ein.**

Abb. 8/1. Ziegelstein

Betrachte einen einzelnen Ziegelstein (Abb. 8/1). Wenn du seine Kanten messen willst, kannst du von einer Ecke aus das Lineal in drei Richtungen anlegen. So bestimmst du die *Länge*, die *Breite* und die *Höhe*.

Länge, Breite und Höhe sind die *drei räumlichen Ausdehnungen*, die jeder Körper hat. Sie lassen sich nicht immer so leicht messen, wie beim Quader oder beim Würfel, aber sie sind immer vorhanden.

**Jeder Körper besitzt drei Ausdehnungen: Länge, Breite und Höhe.**

Der Ziegelstein wird nur von *ebenen Flächen* begrenzt. Die Begrenzungsfläche des Balles dagegen ist überall *gekrümmt*. An einer zylindrischen Konservendose findest du ebene und gekrümmte Flächen. Auch eine Zange hat teils ebene, teils gekrümmte Begrenzungsflächen. Ein Feldstein oder ein Stück Braunkohle dagegen ist *unregelmäßig* begrenzt.



Abb. 8/2. Hohlkörper

Bei einem Fußball nimmt der Stoff, aus dem er besteht, nicht den ganzen Raum des Körpers ein. Es bleibt ein Hohlraum, der mit einem anderen Stoff, mit Luft, gefüllt ist. Auch andere Körper sind hohl und mit Luft oder einem anderen Stoff gefüllt, zum Beispiel eine Flasche mit Wasser, eine Kiste mit Sand. Solche Körper nennen wir **Hohlkörper** (Abb. 8/2).

*Aufgaben:*

1. Nenne Körper, die durch ebene Flächen begrenzt sind! Nenne Körper, an denen du ebene und gekrümmte Flächen findest!
2. Welche Hohlkörper siehst du auf der Abbildung 8/2? Aus welchen Stoffen bestehen sie? Nenne weitere Hohlkörper!

**3. Wasser und Luft sind Körper.** Außer den festen Stoffen kennen wir auch *flüssige*, zum Beispiel das Wasser. Wenn du beim Baden im Wasser schnell vorwärts



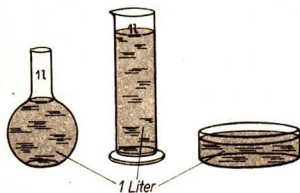


Abb. 9/1  
Wasser in drei verschiedenen Gefäßen

Speiseöl, Milch und Fruchtsaft, Spiritus und Petroleum, Äther und Quecksilber, Benzin und Dieselöl. Da alle Flüssigkeiten Stoffe sind und einen Raum einnehmen, können wir sagen:

### Die Flüssigkeiten sind ebenfalls Körper.

Auch die Luft ist ein Stoff. Sicher hast du schon ihren Widerstand gespürt, wenn du schnell gerannt bist. Noch stärker bemerkst du ihn beim Radfahren. Dem Sturm mußt du dich entgegenstemmen. Infolge des Luftwiderstandes schweben die Fallschirmspringer langsam zur Erde. Durch die Luft fliegen Vögel, Segelflugzeuge und sogar die schweren Motorflugzeuge.

Die Luft nimmt auch einen Raum ein. Das bemerkst du, wenn du einen Fußball aufpumpst. Der Hohlraum des Balles füllt sich immer stärker mit Luft. Sie wird

laufen willst oder beim Hineinspringen mit dem Körper auf die Oberfläche schlägst, spürst du den Widerstand des Wassers.

Das Wasser nimmt ebenfalls einen Raum ein. Seine Form richtet sich dabei nach der Form des Gefäßes, in dem es sich befindet. Aber trotzdem bleibt 1 Liter Wasser immer 1 Liter, auch wenn du es in eine runde Flasche, in einen schmalen Glaszylinder oder in eine weite Schüssel gießt (Abb. 9/1).

Außer dem Wasser gibt es viele andere Flüssigkeiten, zum Beispiel Essig und

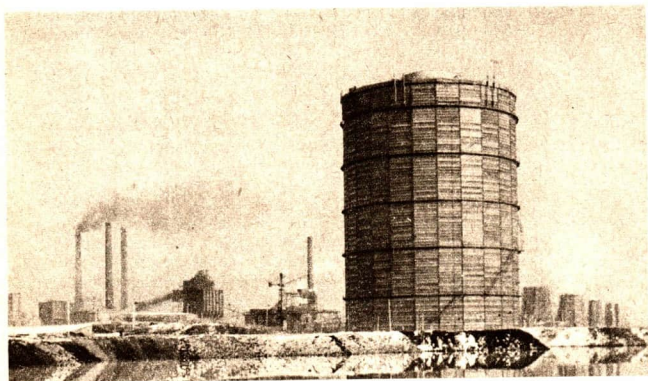


Abb. 9/2. Gasbehälter eines Gaswerkes

dabei zusammengepreßt. Der Ball ist dann straff und springt gut, wenn du ihn auf die Erde wirfst.

Die Luft gehört zu den *gasförmigen Stoffen*, die man auch *Gase* nennt. Wenn du in einer Stadt wohnst, kennst du das Stadtgas, das zum Kochen und Backen verwendet wird. Es wird in Gaswerken gewonnen und in großen Gasbehältern aufbewahrt (Abb. 9/2). Wo kein Gaswerk vorhanden ist, kocht man vielfach mit Propangas, das in Stahlflaschen geliefert wird. Andere Gase sind der Wasserstoff und der Sauerstoff. Auch sie werden in Stahlflaschen aufbewahrt und beispielsweise zum Schweißen verwendet. Da die Gase ebenfalls Stoffe sind und einen Raum einnehmen, können wir sagen:

**Auch die Gase sind Körper.**

Fassen wir unsere Beobachtungen und Überlegungen zusammen, so kommen wir zu dem Ergebnis:

**Es gibt feste, flüssige und gasförmige Körper.**

Wir haben erkannt, daß alle festen, flüssigen und gasförmigen Körper aus einem Stoff bestehen und einen Raum einnehmen. Diese Eigenschaften nennen wir **Grundigenschaften**, weil sie bei allen Körpern vorhanden sind.

**4. Die gegenseitige Verdrängung der Körper.** Im Garten soll ein Teil des Zaunes erneuert werden. Dazu müssen Pfähle in den Boden geschlagen werden. Mit jedem Schlag dringt der Pfahl tiefer in den Boden ein und drängt die Bodenteilchen zur Seite. Ziehst du ihn wieder heraus, dann siehst du das Loch, das durch die Verdrängung entstanden ist. Der Pfahl, ein fester Körper, hat den anderen festen Körper, den Boden, verdrängt. Auf dem Tisch liegt ein Bleistift. Du schiebst ihn mit einem Buch zur Seite. Das Buch verdrängt den Stift. Du erkennst an diesen Beispielen:

*Feste Körper können andere feste Körper verdrängen.*

*Aufgaben:*

1. Fülle ein Glas mit feinem Sand! Drücke einen Bleistift hinein! Wiederhole den Versuch mit einem dicken Stab! Was beobachtest du?
2. Nenne Beispiele für die gegenseitige Verdrängung fester Körper!

Wir wollen nun untersuchen, ob feste Körper auch durch Flüssigkeiten verdrängt werden können. Wir legen dazu einen Korken in ein leeres Gefäß und gießen Wasser hinein. Das Wasser verdrängt den Korken vom Boden des Gefäßes. Er schwimmt.

Bei einem starken Regen wäscht das Wasser Rinnen in den Boden und schwemmt Bodenteilchen, Sand und Kiesel fort. Der Fluß bewegt sogar größere Steine.

Diese Beobachtungen zeigen dir:

*Flüssigkeiten können feste Körper verdrängen.*

Schon seit vielen hundert Jahren haben die Menschen diese Tatsache genutzt. Sie bauten das Wasserrad. Gegen seine Schaufeln drückt das Wasser, verdrängt



sie und bringt so das Rad zum Drehen (Abb. 11/1). Auch bei den Turbinen in den Kraftwerken an den großen Talsperren wird die Verdrängung fester Körper durch das Wasser ausgenutzt.

#### Aufgaben:

1. Streue Sand auf ein schräggestelltes Brett! Gieße Wasser darüber! Was geschieht?
2. Lege eine Holzkugel auf den Tisch! Blase mit einer Spritzflasche Wasser dagegen (Abb. 11/2)! Erkläre den Vorgang!

Hast du schon einmal mit dem Luftgewehr geschossen? Was drängt die Kugel, den festen Körper, aus dem Lauf? Es ist ein gasförmiger Körper, die Luft. Sie treibt die Segelboote über das Wasser, biegt die Äste der Bäume und bewegt die Flügel von Windmühlen und Windrädern.

Auch beim Automotor verdrängen Gase den Kolben und treiben so das Fahrzeug an. Wir erkennen:

*Gasförmige Körper können feste Körper verdrängen.*

Die Mutter bereitet das Mittagessen. Sie füllt einen Topf zur Hälfte mit Wasser

und schüttet Kartoffeln hinein. Dabei steigt der Wasserspiegel im Topf. Die Kartoffeln haben das Wasser verdrängt.

Wir füllen einen Standzylinder etwa zur Hälfte mit Wasser und lassen einen Stein an einem Faden langsam in die Flüssigkeit eintauchen. Dabei beobachten wir wiederum, daß sich der Wasserspiegel hebt (Abb. 11/3).

Verwenden wir zu dem Versuch ein Überlaufgefäß, so können wir in einem Becherglas das herausfließende Wasser auffangen. Es ist genau die Menge, die der Stein verdrängt hat (Abb. 12/1). Wir stellen fest:

*Feste Körper können Flüssigkeiten verdrängen.*

Abb. 11/3. Wasserstand in einem Standzylinder vor und nach dem Eintauchen eines Steines

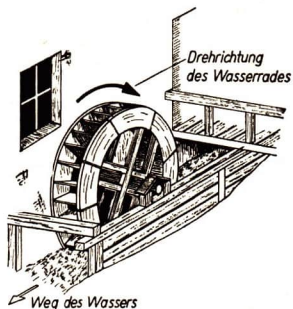


Abb. 11/1. Unterschlächtiges Wasserrad

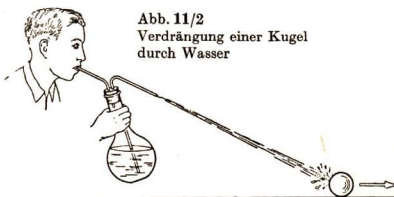
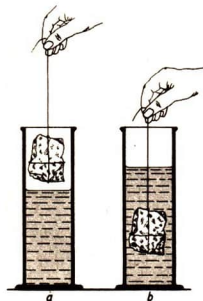


Abb. 11/2  
Verdrängung einer Kugel  
durch Wasser



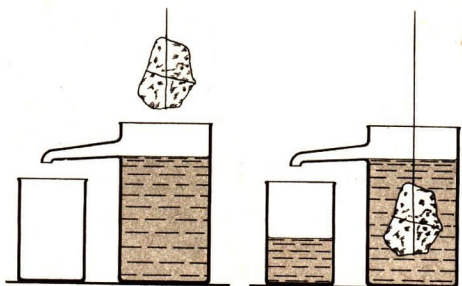


Abb. 12/1. Überlaufgefäß vor und nach dem Eintauchen eines Steines

Daß sich auch Flüssigkeiten gegenseitig verdrängen, kannst du beim Badeofen beobachten. Durch Öffnen des Hahnes läßt du kaltes Wasser in den Badeofen strömen und

heißes Wasser fließt aus. Das kalte Wasser hat das heiße Wasser verdrängt.

*Flüssigkeiten können andere Flüssigkeiten verdrängen.*

Wir füllen eine Glaswanne etwa zur Hälfte mit Wasser und legen einen Korken mit einer Papierfahne hinein (Abb. 12/2). Ein Becherglas tauchen wir umgekehrt so in die Flüssigkeit, daß sich der Korken in seinem Inneren befindet. Wir beobachten, daß sich der Wasserspiegel mit dem Korken unter dem Glas senkt. Die Luft im Becherglas hat das Wasser verdrängt. Der Versuch läßt erkennen:

*Gase können Flüssigkeiten verdrängen.*

*Aufgabe:* Erkläre die Wirkungsweise einer Spritzflasche (vgl. Abb. 11/2)!

Wir stellen ein Eisenstück in eine Glaswanne mit Wasser. Dann stülpen wir das Becherglas darüber, wie es Abb. 12/3 zeigt. Wir beobachten, daß Blasen aufsteigen. Sie kommen aus dem Glas, aus dem der feste Körper die Luft verdrängt.

*Feste Körper können Gase verdrängen.*

Obwohl die Luft sehr häufig durch feste Körper verdrängt wird, kannst du den Vorgang im allgemeinen nicht beobachten, weil die Luft unsichtbar ist. So ist ein unbeladener Eisenbahnwagen mit Luft gefüllt. Wird in diesen Wagen Kohle eingeschüttet, dann verdrängt sie die Luft aus ihm.

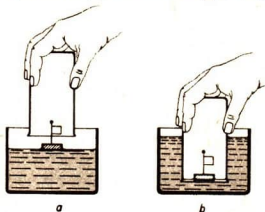


Abb. 12/2. Korken vor und nach dem Eintauchen des Becherglases

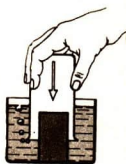


Abb. 12/3. Die Luft aus dem Becherglas wird durch den festen Körper verdrängt.

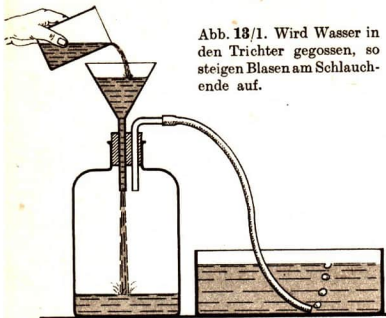


Abb. 13/1. Wird Wasser in den Trichter gegossen, so steigen Blasen am Schlauchende auf.

Zur Untersuchung, ob auch Flüssigkeiten Gase verdrängen können, gießen wir Wasser in einen Trichter (Abb. 13/1). Am Schlauchende steigen Luftblasen auf. Das eingefüllte Wasser verdrängt die Luft aus der Flasche und drückt sie durch den Schlauch.

Der Versuch zeigt:

*Flüssigkeiten können Gase verdrängen.*

Beim Lüften des Zimmers wird die verbrauchte Luft durch frische verdrängt. Du erkennst daran:

*Gasförmige Körper können andere Gase verdrängen.*

Faßt man die Ergebnisse aller beschriebenen Versuche und Überlegungen zusammen, so ergibt sich:

**Die Körper können sich gegenseitig verdrängen.**

Die Tatsache, daß sich alle Körper verdrängen können, gilt immer. Es handelt sich hierbei um ein **physikalisches Gesetz**.

Da sich alle Körper gegenseitig verdrängen, so ergibt sich die Folgerung:

**Wo ein Körper ist, kann nicht gleichzeitig ein anderer sein.**

*Aufgabe:* Welche Arten der Verdrängung erkennst du auf den Abbildungen 13/2 bis 13/5?



Abb. 13/2. Gärröhrchen

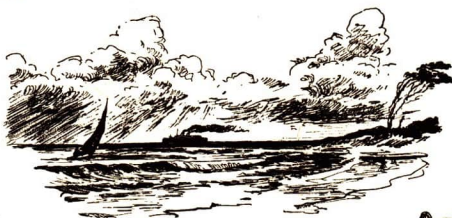


Abb. 13/3. Sturm an der Küste



Abb. 13/4. Spritze des Arztes



Abb. 13/5. Tee wird in eine Tasse gegossen.

## 2. Längenmessungen

**1. Die Maßeinheiten der Länge.** Wollen wir die räumlichen Ausdehnungen eines Körpers feststellen oder die Länge einer Strecke ermitteln, die sich ein Körper fortbewegt hat, so müssen wir messen. Dazu brauchen wir Meßgeräte.

Die Grundeinheit der Länge ist das **Meter** (m). Früher verwendete man sehr verschiedenartige Maßeinheiten, wie *Zoll*, *Spanne*, *Fuß*, *Elle* oder *Klafter*. Sie waren umständlich anzuwenden und hatten örtlich verschiedene Größen. So betrug beispielsweise nach unserem heutigen Maß die Elle in Bayern 0,83 m und in Sachsen 0,57 m. Als jedoch im 18. Jahrhundert die industrielle Fertigung stark zunahm und der Handel sich immer mehr ausdehnte, waren die unterschiedlichen Maße von großem Nachteil.

Man brauchte Längenmaße, mit denen es sich einfach rechnen ließ und die überall gleich waren. In Frankreich führte man daher bereits 1795 das Meter als Längeneinheit ein. In der folgenden Zeit übernahmen viele Staaten das Meter als gesetzliche Längeneinheit. Heute wird das Meter in den meisten europäischen und in vielen außereuropäischen Ländern als Längeneinheit gebraucht.

Damit jederzeit die Länge des Meters zum Prüfen von Meßgeräten zur Verfügung steht, wurde das *Urmeter* geschaffen (Abb. 14/1). Es ist ein Stab aus einem besonders widerstandsfähigen Metall, auf dem die Länge des Meters genau angegeben ist. Man lagert das Urmeter in einem Raum unterhalb der Erdoberfläche, in dem stets die gleiche Temperatur und die gleiche Feuchtigkeit herrscht. Alle Länder, die das Meter als Maßeinheit benutzen, haben eine Nachbildung des Urmeters erhalten. Von Zeit zu Zeit wird sie mit dem Urmeter in Paris verglichen.

Vom Meter werden folgende andere Längeneinheiten abgeleitet; die Vielfache beziehungsweise Teile des Meters sind:

das **Kilometer**  $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$ ,

das **Dezimeter**  $1 \text{ dm} = \frac{1}{10} \text{ m}$ ,

das **Zentimeter**  $1 \text{ cm} = \frac{1}{100} \text{ m}$ ,

das **Millimeter**  $1 \text{ mm} = \frac{1}{1000} \text{ m}$ .

$\frac{1}{1000} \text{ km} = 1 \text{ m} = 10 \text{ dm} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm}$

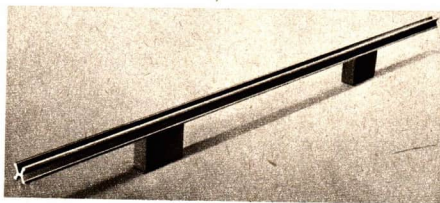
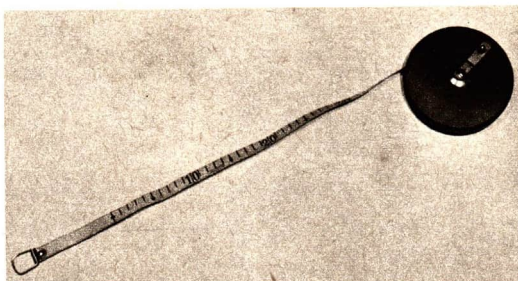


Abb. 14/1. Urmeter

Abb. 15/1  
Meßband



**2. Einige Geräte zur Längenmessung.** Im Unterricht messen wir Strecken meist mit einem *Lineal*. Tischler, Zimmerleute, Maurer und andere Facharbeiter dagegen benutzen bei ihrer Arbeit den *Gliedermaßstab*.

Zum Messen von Längen auf gekrümmten Flächen nehmen wir ein *Schneiderbandmaß*, wie es im Haushalt und in der Schneiderwerkstatt gebraucht wird.

Das *Meßband* kennen wir vom Sportplatz her (Abb. 15/1). Wir messen beispielsweise mit ihm die Entfernung beim Weitsprung oder beim Schlagballweitwurf. Es wird überall dort verwendet, wo längere Strecken zu ermitteln sind, zum Beispiel bei der Landvermessung oder auf Baustellen. Das Meßband kann in eine besondere Hülse eingerollt werden und ist dadurch vor Beschädigungen geschützt.

In der Landwirtschaft benutzt man zu Längenmessungen auf den Feldern mitunter den sogenannten *Stechzirkel*. Das ist ein hölzernes, zirkelähnliches Gerät, dessen Spitzen einen Abstand von 1 m oder 2 m haben.

Wir sehen, daß die Größe und die Form der Meßgeräte ihrem Verwendungszweck angepaßt sind.

**3. Wir messen.** Wir wollen die Länge unseres Klassenzimmers messen. Dabei muß festgestellt werden, *wie oft die Längeneinheit in der zu messenden Strecke enthalten ist*. Das Messen ist somit ein *Vergleichen der Meßstrecke mit der Maßeinheit*.

Welches Meßgerät müssen wir nun verwenden? Ein langes *Lineal* ist schlecht geeignet, da es sehr oft angelegt werden muß. Dies führt nämlich zu *Meßfehlern*. Wir werden daher ein *Meßband* verwenden. Ist die Maßeinheit 1 Meter in der Länge des Raumes neunmal enthalten, so ist das Klassenzimmer 9 m lang.

Man bezeichnet die 9 als die *Maßzahl*. Das Ergebnis unserer Messung, 9 m, besteht somit aus der Maßzahl und der *Maßeinheit*. Das gilt nicht nur für Längenmessungen, sondern für alle Arten von Messungen.

Haben wir die Länge einer Strecke ermittelt, so müssen wir mit dem Meßergebnis auch angeben, um welche Strecke es sich handelt. Es kann eine Länge, eine Breite eine Höhe, ein Radius oder eine andere Strecke sein. Man verwendet hierbei *Kurzzeichen*, und zwar immer den gleichen Buchstaben. Dadurch weiß jeder sofort, welche Größe gemeint ist. Für häufig vorkommende Strecken und andere Größen,



| Gemessene Größe                        | Maßzahl | Maßeinheit | Kurzzeichen |
|----------------------------------------|---------|------------|-------------|
| Länge eines Weges                      | 3,5     | km         | <i>l</i>    |
| Fläche eines Feldes                    | 1,2     | ha         | <i>F</i>    |
| Fassungsvermögen eines Benzinkanisters | 20      | l          | <i>V</i>    |
| Durchmesser eines Bolzens              | 5       | mm         | <i>d</i>    |
| Dauer einer Unterrichtsstunde          | 45      | min        | <i>t</i>    |

wie Fläche, Rauminhalt, Zeit, sind die in der Tabelle angegebenen Buchstaben üblich.

**4. Meßfehler.** Messen wir mit dem Lineal eine Strecke, so liegt die Meßkante nicht auf (Abb. 16/1). Je nachdem, ob wir senkrecht oder schräg auf die Skale blicken, erhalten wir ein anderes Meßergebnis. Wir lesen nur dann das richtige Meßergebnis ab, wenn wir senkrecht auf die Skale sehen. Durch falsches oder ungenaues Ablesen entstehen somit Meßfehler. Weil sie durch die Person des Messenden verursacht werden, nennt man solche Fehler *persönliche Fehler*. Sie treten besonders bei Maßstäben auf, deren Meßkante nicht aufliegt. Wir verwenden daher für genaue Messungen solche Maßstäbe möglichst nicht.

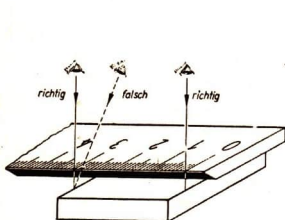


Abb. 16/1. Ablesefehler bei einem Maßstab ohne aufliegende Meßkante

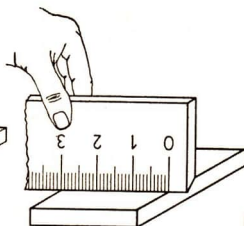


Abb. 16/2. Messen einer Strecke mit einem Lineal

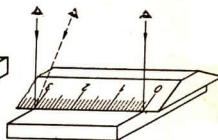


Abb. 16/3. Maßstab mit schrägliegender Teilung

Müssen wir aber trotzdem einmal ein solches Meßgerät, zum Beispiel ein Lineal, benutzen, so stellen wir es hochkant auf die Ebene, in der wir die Strecke messen wollen (Abb. 16/2). Wenn die Nullstelle am Ende des Stabes schlecht zu erkennen oder beschädigt ist, dann legen wir einen anderen Teilstrich an den Beginn der Meßstrecke. Wir dürfen aber nicht vergessen, die an diesem Teilstrich angegebene Länge von dem abgelesenen Wert abzuziehen. Ähnlich verfahren wir auch, wenn wir mit einem Gliedemaßstab möglichst genau messen wollen.



Zum Zeichnen verwendet man im allgemeinen Maßstäbe mit schrägliegender Teilung. Bei ihnen liegt die Skale direkt an der Meßstrecke (Abb. 16/3). Selbst wenn wir schräg auf die Skale schauen, entstehen keine Meßfehler.

Wir können auch ein durchsichtiges Lineal verwenden, bei dem die Skale auf der Unterseite in Spiegelschrift eingepreßt ist. Da die Skale direkt auf der Meßstrecke aufliegt, entstehen kaum Ablesefehler.

*Aufgabe:* Miß mehrere Male die Länge eines Schreibheftes, deiner Schulbank oder eines anderen Gegenstandes! Vergleiche die Ergebnisse miteinander!

Durch Übung verbessern wir unsere Meßtechnik. Auch durch sorgfältiges Arbeiten vermindern wir die persönlichen Meßfehler.

Neben den persönlichen Fehlern gibt es auch *Meßfehler*, die auf die Meßgeräte selbst zurückzuführen sind. Die Geräte können in bestimmten Grenzen von der genauen Länge abweichen. So darf zum Beispiel ein Meterstab aus Holz von 1 m Länge nach dem Gesetz noch verwendet werden, wenn er in seiner Gesamtlänge 2 mm länger oder kürzer ist als 1 Meter. Meßfehler, deren Ursache am Meßgerät selbst liegt, nennt man *objektive Fehler*.

**5. Meßgenauigkeit.** Im Werkunterricht müssen wir ein Brett zerschneiden. Daher stellen wir zunächst fest, wie lang es ist. Wir bemühen uns, möglichst genau zu messen und finden als Länge 2,997 m. Wir haben also auch die Millimeterwerte noch abgelesen. Zur Kontrolle messen wir noch einmal. Diesmal lautet das Ergebnis 3,004 m. Trotzdem wir also auf Genauigkeit geachtet haben, erhalten wir verschiedene Meßwerte. Wie ist das zu erklären?

Bei unseren Messungen sind Fehler entstanden, die folgende Ursachen haben können:

1. Die Querkanten des Brettes sind abgestoßen und nicht genau rechtwinklig zur Längskante.
2. Das Brett ist länger als der Meterstab beziehungsweise der Gliedermaßstab. Durch mehrmaliges Anlegen entstehen Ungenauigkeiten.
3. Auch persönliche Ablesefehler beeinflussen das Ergebnis.

Die Längenangaben 2,997 m und 3,004 m täuschen uns eine Meßgenauigkeit vor, die gar nicht vorhanden ist. Wir können nämlich mit dem Meterstab die Millimeter gar nicht sicher bestimmen. Daher lassen wir sie weg.

Aber auch die ermittelten Zentimeter stimmen bei den Messungen nicht überein, die Meßfehler wirken sich hier noch aus. Um trotz dieser Fehler einen genauen Meßwert zu erhalten, führen wir mehrere Messungen durch. Wir erhalten dann eine Reihe von Meßergebnissen, eine *Meßreihe*.

Folgende Längen können wir beispielsweise ermittelt haben:

2,99 m, 3,01 m, 3,00 m, 2,99 m, 2,98 m, 3,01 m, 2,98 m, 3,01 m, 2,97 m, 2,98 m. Die Werte schwanken zwischen 2,97 m und 3,01 m. Sollten Werte mit wesentlich größeren Abweichungen vorkommen, so läßt man sie bei der Aufstellung der Meßreihe weg. Sie enthalten offensichtlich grobe Meßfehler. Der genaue Wert wird zwischen 2,97 m und 3,01 m liegen. Man bildet daher den *Mittelwert der Meßergebnisse*. Zu diesem Zweck stellen wir die Meßergebnisse in einer Tabelle zusammen und addieren sie. Die Summe dividieren wir durch die Anzahl der Messungen.

# Ergebnisse einer Meßreihe

| Nummer der Messung | Länge (l) m |
|--------------------|-------------|
| 1                  | 2,99        |
| 2                  | 3,01        |
| 3                  | 3,00        |
| 4                  | 2,99        |
| 5                  | 2,98        |
| 6                  | 3,01        |
| 7                  | 2,98        |
| 8                  | 3,01        |
| 9                  | 2,97        |
| 10                 | 2,98        |
| Summe              | 29,92       |

$$29,92 \text{ m} : 10 \approx 2,99 \text{ m}$$

Somit ergibt sich als Mittelwert der Meßergebnisse

$$l = 2,99 \text{ m.}$$

Durch die Ermittlung des Mittelwertes kommt man der wirklichen Länge näher, als nur mit einer oder zwei Messungen.

Wir wollen auch angeben, wie weit unsere Meßergebnisse vom Mittelwert abweichen. Der niedrigste Wert liegt bei 2,97 m und der höchste bei 3,01 m. Sie weichen um jeweils 0,02 m von dem Mittelwert ab. Wir drücken das in folgender Form aus

$$l = 2,99 \text{ m} \pm 0,02 \text{ m.}$$

Dafür schreibt man meist

$$l = (2,99 \pm 0,02) \text{ m.}$$

Aus diesem Beispiel lernen wir:

1. Vor jeder Messung müssen wir überlegen, wodurch Meßfehler entstehen können.
2. Für jede Messung ist das zweckmäßigste Meßgerät zu verwenden.
3. Wir geben die Werte nur mit der Genauigkeit an, mit der wir die Werte mit Sicherheit von unserem Meßgerät ablesen können.
4. Wir führen stets mehrere Messungen durch und bilden den Mittelwert der Meßergebnisse. Dabei überlegen wir, welche Meßergebnisse noch verwendbar sind und welche wegen offensichtlicher grober Meßfehler zu stark abweichen. Diese Ergebnisse werden gestrichen.

In der beschriebenen Weise verfährt man nicht nur bei Längenmessungen, sondern bei allen Arten von Messungen.

Manchmal ist es notwendig, eine Länge zu ermitteln, ohne ein Meßgerät bei sich zu haben. Dann können wir unsere persönlichen Körpermaße verwenden und damit die bekannte *Länge schätzen*. Miß die Länge deiner *Spanne*, der *Handbreite*, deiner *Daumenbreite*, deines *Fußes* und deines *Schrittes*! Präge dir diese Werte ein. Miß mit ihrer Hilfe verschiedene Strecken! Bedenke aber, daß solche Messungen nur einen Notbehelf darstellen und für *genaue Messungen nicht verwendet werden können*.

**6. Die Schieblehre.** Die Durchmesser runder Gegenstände und die von Bohrungen lassen sich mit einem einfachen Maßstab nur sehr ungenau messen. Wir können uns aber helfen, indem wir zwei Zeichendreiecke und ein Lineal ver-

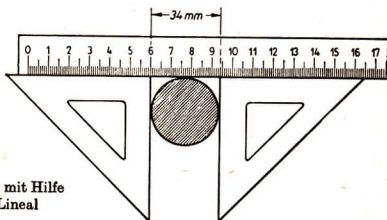


Abb. 18/1. Messung eines Durchmessers mit Hilfe von zwei Zeichendreiecken und einem Lineal

wenden (Abb. 18/1). Der Abstand der beiden Kanten der Dreiecke, die am Werkstück anliegen, ist gleich dem Durchmesser des Werkstücks.

Die in Abbildung 18/1 beschriebene Methode kann aber in der Technik nicht benutzt werden; denn dieses Verfahren ist zu umständlich. Mit einem einfachen Meßgerät, wie es das Lineal ist, kann man außerdem nur auf Millimeter genau messen. Diese Genauigkeit reicht in der Technik meist nicht aus. Beim Bau von Maschinen und Fahrzeugen, bei der Herstellung feinmechanischer und optischer Geräte, zum Beispiel einer Schreibmaschine oder eines Fotoapparates, müssen die vorgeschriebenen Maße mit größerer Genauigkeit eingehalten werden. Sie dürfen häufig nur um  $\frac{1}{10}$  mm oder  $\frac{1}{100}$  mm, mitunter sogar nur um  $\frac{1}{1000}$  mm vom vorgeschriebenen Wert abweichen. Solche genauen Messungen können nicht mit den gebräuchlichen Meßgeräten durchgeführt werden. Die Geräte, die dazu verwendet werden, heißen *Feinmeßgeräte*.

Ein Feinmeßgerät, das vor allem von Schlossern, Feinmechanikern, Maschinenbauern und Facharbeitern anderer metallverarbeitender Berufe verwendet wird, ist die *Schieblehre*. Auch wir werden mit ihr im Grundlehrgang Metallbearbeitung am Unterrichtstag in der sozialistischen Produktion Werkstücke messen.

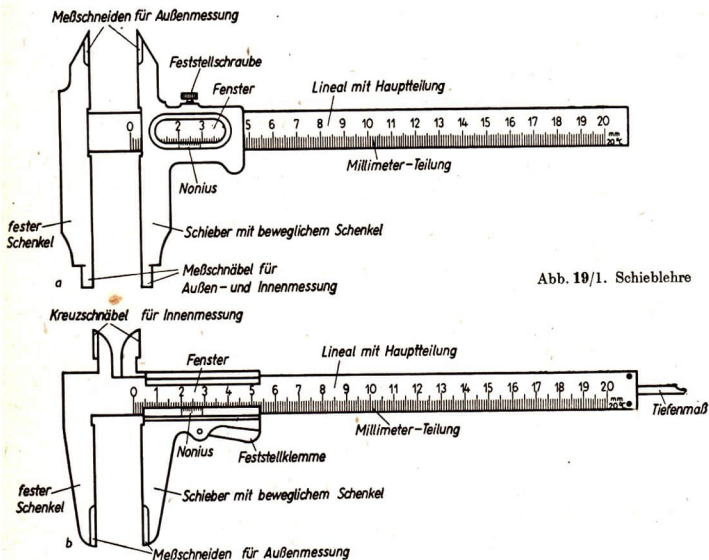


Abb. 19/1. Schieblehre

Die Abbildung 19/1 a zeigt eine Schieblehre. Wir können an ihr eine gewisse Ähnlichkeit mit unserem Behelfsgerät erkennen. An Stelle des Lineals tritt bei der Schieblehre eine *Stahlschiene mit Zentimeter- und Millimeteerteilung*. Statt der Zeichendreiecke hat die Schieblehre zwei *Meßschenkel*. Einer von diesen ist fest mit der Stahlschiene verbunden. Der andere gleitet auf dieser Schiene an einem kleinen *Rahmen mit fensterartigem Ausschnitt*.

Beim Messen halten wir das Werkstück zwischen die beiden Schenkel und schieben den beweglichen Rahmen dagegen, bis sein Schenkel mit leichtem Druck am Werkstück anliegt. Dann drehen wir die *Schraube am Rahmen* fest, damit er nicht wieder verrutscht. Der Rahmen wird festgestellt; man sagt, er wird *arretiert*. Bei der in Abbildung 19/1 b dargestellten Schieblehre ist der Rahmen stets arretiert. Erst wenn man auf die *Feststellklemme* drückt, kann man den Rahmen verschieben. Läßt man die Klemme los, so ist der Rahmen wieder arretiert.

Von der Skale auf der Schiene können wir nun den Meßwert bis auf Millimeter genau ablesen. Neben der Teilung auf der Schiene, der *Hauptteilung*, sehen wir auf dem Rahmen noch eine zweite Teilung, die *Nebenteilung*. Sie wird *Nonius* genannt. Mit ihrer Hilfe können wir die Meßgenauigkeit bis auf Zehntelmillimeter erweitern.

Zunächst lesen wir die Länge des zu messenden Werkstücks in vollen Millimetern ab. Wir blicken dabei auf den letzten Teilstrich der Hauptteilung links vom Nonius. In der Abbildung 20/1 sind das 12 mm. Dann suchen wir die Stelle, an der ein Skalenstrich der Hauptteilung einem Skalenstrich des Nonius genau gegenübersteht. In der Abbildung ist das der sechste Noniusstrich. Dieser Skalenstrich des

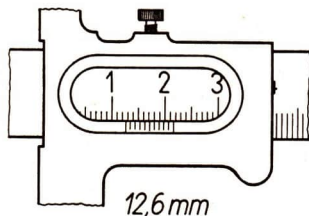


Abb. 20/1. Schieblehre

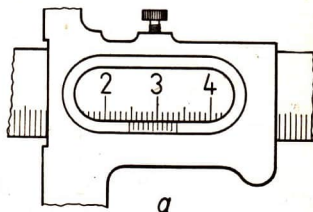
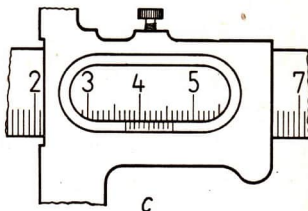
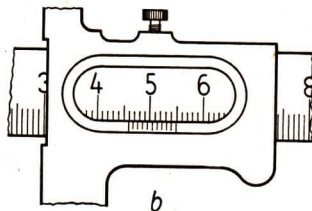


Abb. 20/2. Schieblehre zeigt verschiedene Werte an



Nonius gibt an, um wieviel Zehntelmillimeter das Werkstück länger ist als die abgelesenen vollen Millimeter. Für die in der Abbildung 20/1 dargestellte Einstellung ergeben sich

$$12 \text{ mm} + \frac{6}{10} \text{ mm} = 12,6 \text{ mm}.$$

Für das Messen mit der Schieblehre merken wir uns:

1. Wir halten das Werkstück zwischen die beiden Meßschenkel und drücken sie leicht an. Keine Gewalt anwenden!
2. Wir lesen an der Hauptteilung die Länge in vollen Millimetern ab.
3. Wir lesen am Nonius die Anzahl der Zehntelmillimeter ab.

*Aufgabe:* Lies die Werte ab, die in der Abb. 20/2 a bis c eingestellt sind!

Den Durchmesser von Bohrungen, Rohren usw. messen wir entweder mit den beiden *Meßschnäbeln* (Abb. 21/1 a) oder mit den beiden *Kreuzschnäbeln* (Abb. 21/1 b).

Die Tiefe einer Bohrung stellen wir mit dem *Tiefentaster* am Ende der Stahlschiene fest (Abb. 21/2).

Eine Art Schieblehre benutzt man in der Holzwirtschaft, um die Dicke von Stämmen zu messen. Dieses Gerät heißt *Meßkluppe*.

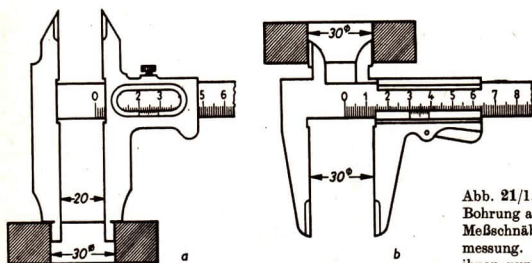


Abb. 21/1. Messen einer Bohrung a) Schieblehre mit Meßschnäbeln für Innenmessung. Man kann mit ihnen nur Bohrungen über 10 mm messen, da die Meßschnäbel bereits selbst einen Durchmesser von 10 mm haben. Daher müssen zum Meßwert 10 mm addiert werden. b) Schieblehre mit Kreuzschnäbeln

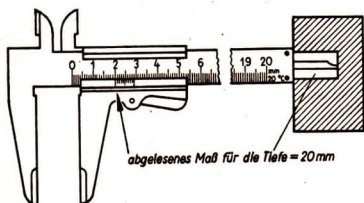


Abb. 21/2. Messung mit dem Tiefentaster



Abb. 22/1  
Feinmeßschraube

Oft genügt die Meßgenauigkeit der Schieblehre noch nicht. Dann verwendet man eine *Feinmeßschraube* (Abb. 22/1). Mit ihr können Längen bis auf  $\frac{1}{100}$  mm genau gemessen werden.



## 7. Fragen und Aufgaben:

Die eingeklammerten Maßeinheiten geben die Meßgenauigkeit an.

1. Nenne verschiedene Meßgeräte für Längenmessungen! Wie groß ist ihre Ablesegenauigkeit? Wo werden sie verwendet?
2. Welche Meßfehler gibt es und wodurch entstehen sie?
3. Schätze und miß die Länge  $l$  und die Breite  $b$  deines Schultisches (cm)! Berechne seine Fläche!
4. Schätze (cm) und miß (mm) die Länge  $l$  eines Schulheftes! Bilde eine Meßreihe und stelle den Mittelwert fest!
5. Schätze (cm) und miß (mm) die Länge eines noch nicht angespitzten Bleistiftes!
6. Miß die Länge  $l$ , die Breite  $b$  und die Höhe  $h$  eines Ziegelsteines (0,5 cm)!
7. Bestimme die Länge  $l$ , die Breite  $b$  und die Höhe  $h$  des Klassenraumes (cm)! Bilde Meßreihen!
8. Miß mit einem Papierstreifen den Umfang eines Becherglases (Abb. 22/2)! Ziehe dazu auf den übereinandergreifenden Enden einen durchgehenden Strich! Nach dem Aufrollen des Streifens gibt der Abstand der Striche den Umfang an.
9. Miß den Umfang einer Tasse, eines Kruges, eines Baumes und anderer zylindrischer Körper!
10. Miß die Länge eines Schultisches! Verwende dazu nacheinander a) ein Lineal, b) einen Meterstab, c) ein Schneiderbandmaß, d) einen Gliedermaßstab! Vergleiche die ermittelten Längen! Welches Meßgerät ist das zweckmäßigste?
11. Miß die Länge des Klassenraumes an verschiedenen Stellen! Ermittle aus 10 Einzelmessungen den Durchschnittswert!
12. Stelle das Modell einer Schieblehre her, indem du ein Stück Millimeterpapier auf ein Kartonblatt klebst und daraus ein 13 bis 14 cm langes und 4 cm breites Rechteck ausschneidest (Abb. 23/1)! Bringe darauf eine Teilung wie in Abb. 23/1 an und zerschneide das Rechteck längs der starken Linien in zwei gegeneinander verschiebbare Teile! Miß damit den Durchmesser eines 5-Pfennig-Stückes, eines 10-Pfennig-Stückes, eines 1-DM-Stückes und eines 2-DM-Stückes, eines Bleistiftes, die Breite, Höhe und Länge einer Streichholzschachtel und andere Strecken!

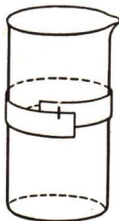


Abb. 22/2. Messen des Umfangs eines Becherglases mittels eines Papierstreifens

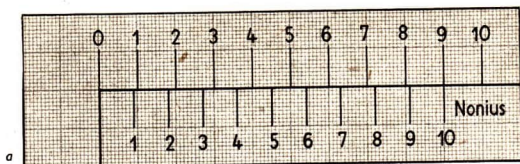
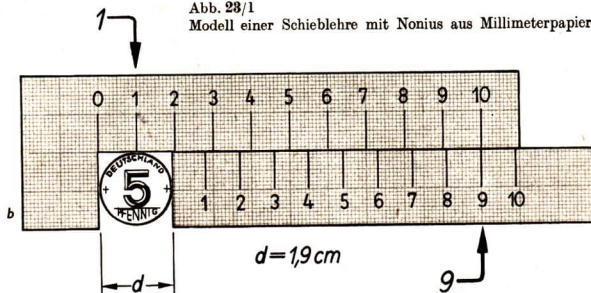


Abb. 23/1

Modell einer Schieblehre mit Nonius aus Millimeterpapier



13. Miß mit einer Schieblehre die Durchmesser verschiedener Schrauben und Niete, die Außendurchmesser von Gas- und Wasserleitungsrohren und anderen Gegenständen!
14. Miß mit einer Schieblehre den Innendurchmesser von Rohren und Ringen!

### 3. Raummessungen

**1. Die Raumeinheiten.** Wir wissen, daß jeder Körper einen Raum einnimmt. Die Größe dieses Raumes nennen wir den *Rauminhalt* oder das *Volumen*. Man verwendet dafür das Symbol  $V$ .

Wenn wir beispielsweise den Rauminhalt eines Topfes oder eines Eimers messen, stellen wir fest, *wie oft eine Raumeinheit in dem zu messenden Raum enthalten ist*.

Die Grundeinheit des Raumes ist das **Kubikmeter** ( $\text{m}^3$ ). Ein Würfel, dessen Kanten 1 m lang sind, hat den Rauminhalt  $1 \text{ m}^3$ . Als weitere Raummaße kennen wir bereits das **Kubikdezimeter** ( $\text{dm}^3$ ), das **Kubikzentimeter** ( $\text{cm}^3$ ) und das **Kubikmillimeter** ( $\text{mm}^3$ ).

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3$$

$$1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ cm}^3 = 1000 \text{ mm}^3$$

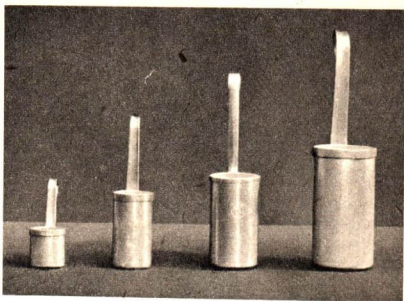
Jede Raumeinheit ist tausendmal so groß wie die nächst kleinere.

Für Flüssigkeiten und Gase verwendet man im allgemeinen nicht die Maßeinheit Kubikmeter und die von ihr abgeleiteten Maßeinheiten. Sie werden in **Litern** (l),

Abb. 24/1

Liter-, Halbliter-, Viertelliter- und Achtellitermaß

Zentilitern (cl) und Millilitern (ml) gemessen. Größere Flüssigkeitsmengen gibt man in Hektolitern (hl) an. Bei sehr großen Flüssigkeitsmengen, wie bei der Wassermenge von Stauseen, verwendet man jedoch die Maßeinheit Kubikmeter. Auch der Gasverbrauch im Haushalt wird in Kubikmetern gemessen.



$$1 \text{ m}^3 = 10 \text{ hl} = 1000 \text{ l}$$

$$1 \text{ hl} = 100 \text{ l}$$

$$1 \text{ l} = 100 \text{ cl} = 1000 \text{ ml}$$

$$1 \text{ cl} = 10 \text{ ml}$$

Die Maßeinheiten Kubikdezimeter und Liter, Kubikzentimeter und Milliliter darf man gleichsetzen.

$$1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3$$

$$1 \text{ ml} = 1 \text{ cm}^3$$

**2. Raummessung von Flüssigkeiten.** In der Milchverkaufsstelle mißt die Verkäuferin eine bestimmte Menge Milch mit Hilfe eines Meßgefäßes ab. Sie verwendet dazu ein *Liter-, Halbliter-, Viertelliter- oder Achtellitermaß* (Abb. 24/1).

Viele Gefäße werden mit einem ganz bestimmten Fassungsvermögen hergestellt, damit stets die gleiche Flüssigkeitsmenge eingefüllt werden kann. Wir denken an Flaschen für Milch, Selterswasser, Bier, Öl, Essig, Arznei, an Milchkannen und

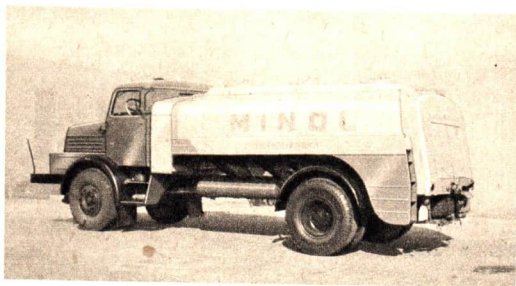


Abb. 24/2  
Tankwagen  
für Benzin

Abb. 25/1. Meßzylinder  
verschiedener Größe

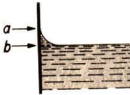
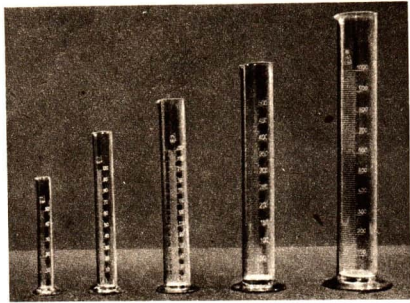


Abb. 25/2  
Randkrümmung bei Wasser

Wasserfässer in der Landwirtschaft, an Fässer für Bier und Brause, an Kesselwagen der Eisenbahn und Tankwagen für Benzin (Abb. 24/2).

Genaue Messungen von Flüssigkeitsmengen können wir mit diesen Gefäßen aber nicht durchführen. Dazu brauchen wir entweder *Hohlmaße*, wie das Litermaß, oder *Meßzylinder*, die man auch *Meßgläser* oder *Mensuren* nennt (Abb. 25/1). Die Meßzylinder sind mit einer Skale versehen, an der man das Volumen ablesen kann. Sie ist meist in Milliliter geteilt. Das Volumen von Teilstrich zu Teilstrich kann dabei, je nach der Größe des Meßzylinders, 1 ml, 2 ml, 5 ml, 10 ml oder auch mehr Milliliter betragen.

Vor dem Messen schätzen wir die Menge der Flüssigkeit. Auf Grund des Ergebnisses der Schätzung wählen wir einen Meßzylinder geeigneter Größe aus. Er soll um so enger sein, je weniger Flüssigkeit zu messen ist. Bei einem engen Meßzylinder ist die Skale in kleinere Raummengen geteilt als bei einem weiten. Daher können wir mit ihm das Volumen genauer ermitteln als mit einem weiten Meßzylinder.

Wir lesen die Größe des Rauminhaltes an der Skale in der Höhe des Flüssigkeits-

spiegels ab. Dabei müssen wir beachten, daß die Oberfläche des Wassers am Rande gekrümmt ist und höher als in der Mitte steht. Beim Ablesen wird daher der tiefste Stand der Wasseroberfläche berücksichtigt (Abb. 25/2). Der Meßzylinder muß bei der Messung senkrecht stehen, da sonst ein zu hoher oder zu niedriger Wert abgelesen wird (Abb. 25/3).

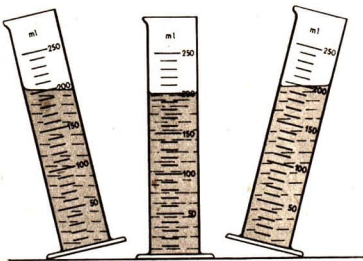


Abb. 25/3. Beim Ablesen des  
Volumens muß der Meß-  
zylinder senkrecht stehen.

Die Meßgenauigkeit eines Meßzylinders ist begrenzt. Aus folgenden Gründen wird sie beeinträchtigt:

1. Beim Umgießen der Flüssigkeit in den Meßzylinder bleiben Tropfen im Aufbewahrungsgefäß hängen.
2. Der Flüssigkeitsspiegel steht meist nicht genau in der Höhe eines Teilstriches. Der Zwischenwert muß geschätzt werden.
3. Die geringe Flüssigkeitsmenge, die am Rand über der Oberfläche liegt, wird nicht mit gemessen.

Meßfehler bei Raummessungen, insbesondere persönliche Meßfehler, können wir vermeiden, indem wir die Randkrümmung beachten, den Zwischenwert richtig schätzen, den Meßzylinder geradehalten und die Raummenge für den Abstand der unbenannten Teilstreiche richtig errechnen. Auch bei der Raummessung werden persönliche Fehler durch häufiges Üben vermindert.

Um das Schätzen von Flüssigkeitsmengen zu erleichtern, prägen wir uns das Volumen einiger Gefäße als Vergleichsgrößen ein. Es enthalten (Abb. 26/1):

|                             |                  |
|-----------------------------|------------------|
| Benzinfaß .....             | 100 l oder 200 l |
| Milchkanne .....            | 20 l             |
| großer Benzinkanister ..... | 20 l             |
| Wassereimer .....           | etwa 10 l        |
| kleiner Kanister .....      | 5 l              |
| Flasche für Motorenöl ..... | 1 l              |
| große Milchflasche .....    | $\frac{1}{2}$ l  |
| Brauseflasche .....         | $\frac{1}{3}$ l  |
| kleine Milchflasche .....   | $\frac{1}{4}$ l  |

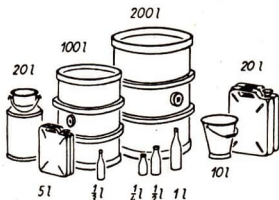


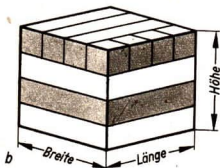
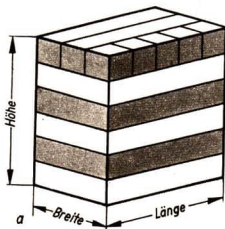
Abb. 26/1. Verschiedene Gefäße für Flüssigkeiten

**3. Raumbestimmung fester Körper durch Rechnung.** Im Mathematikunterricht lernten wir bereits den Rauminhalt eines Quaders und eines Würfels berechnen (Abb. 26/2).

**Wir erhalten den Rauminhalt eines Quaders, indem wir seine Länge, Breite und Höhe miteinander multiplizieren.**

$$\text{Rauminhalt} = \text{Länge} \cdot \text{Breite} \cdot \text{Höhe.}$$

$$V = l \cdot b \cdot h$$



$$l = b = h = \text{Kantenlänge}$$

Der Würfel ist nur eine besondere Form des Quaders. Bei ihm sind Länge, Breite und Höhe gleich groß.

Abb. 26/2. Zerlegen eines Quaders und eines Würfels in Raumeinheitswürfel



**4. Raummessung fester Körper durch Verdrängung einer Flüssigkeit.** Den Rauminhalt unregelmäßig geformter fester Körper können wir nicht durch Berechnung ermitteln. Wir wenden dazu unsere Kenntnisse von der gegenseitigen Verdrängung der Körper an. Tauchen wir einen Stein in Wasser, so verdrängt er soviel Wasser wie seinem Volumen entspricht. Ein Meßzylinder wird zum Teil mit Wasser gefüllt und der Rauminhalt der Flüssigkeitsmenge abgelesen (Abb. 27/1). Nun tauchen wir den Stein in die Flüssigkeit. Der Wasserspiegel steigt um soviel Milliliter, wie der Rauminhalt des Steines beträgt.

*Beispiel:*

Wasserspiegel vor dem Eintauchen bei 150 ml,  
Wasserspiegel nach dem Eintauchen bei 214 ml.

Wir subtrahieren 150 ml von 214 ml und erhalten als Differenz 64 ml. Die verdrängte Wassermenge von 64 ml ergibt für den Stein ein Volumen von  $64 \text{ cm}^3$ . Das Volumen des Steines ist eigentlich etwas kleiner als der Meßwert. Durch den Bindfaden wurde nämlich ebenfalls das Volumen des Wassers vergrößert. Der Meßfehler ist jedoch so gering, daß er unberücksichtigt bleiben kann.

Körper, die leichter sind als die Meßflüssigkeit, beispielsweise Kork, müssen wir mit einem Draht oder einem dünnen Stäbchen unter die Oberfläche drücken.

Wir können zur Messung des Volumens auch ein Überlaufgefäß verwenden. Mit einem solchen Gerät wiesen wir bereits die Verdrängung von Flüssigkeiten durch feste Körper nach (vgl. S. 12). Wir fangen diesmal jedoch die verdrängte Wassermenge in einem Meßzylinder auf. Die ermittelte Wassermenge ist gleich dem Volumen des Steines.

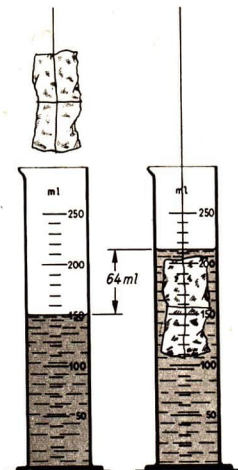


Abb. 27/1. Bestimmung des Rauminhalts eines Steines

**5. Fragen und Aufgaben:**

1. Wie lang sind die Kanten von Würfeln mit dem Rauminhalt  $1 \text{ dm}^3$ ,  $1 \text{ cm}^3$ ,  $1 \text{ mm}^3$ ?
2. Schätze den Rauminhalt von Flaschen, Glasbehältern, Kannen, Tassen und anderen Gefäßen! Bestimme den Rauminhalt mit Hilfe von Wasser und einem Meßzylinder! Vergleiche das Ergebnis mit der Angabe, die du auf dem Boden der Flaschen findest!
3. Bestimme den Rauminhalt eines Schlüssels, eines Bolzens, eines Wägestückes!
4. Versuche, den Rauminhalt einer Murmel durch Verdrängung zu messen! Wiederhole den Versuch, indem du 10 Murmeln gleicher Größe in den mit Wasser gefüllten Meßzylinder fallen läßt! Wie findest du den durchschnittlichen Rauminhalt einer Kugel? Vergleiche das erste mit dem zweiten Ergebnis!
5. Stelle das Volumen einer Kugellagerkugel, eines Nagels oder einer Schraube fest!
6. Bestimme den Rauminhalt eines Knetmasseklumpens durch Wasserverdrängung! Forme ihn danach zu einem Quader und bestimme dessen Rauminhalt durch Berechnung! Vergleiche die beiden Werte!
7. Ermittle die Rauminhalte mehrerer Ziegelsteine und vergleiche die Ergebnisse!
8. Stelle den Rauminhalt eures Klassenschrankes fest!
9. Der Laderaum eines Lastkraftwagens ist 4 m lang, 2 m breit und 70 cm hoch. Welchen Rauminhalt hat er?

#### 4. Das Messen von Stoffmengen durch Wägung

**1. Die Maßeinheit der Stoffmenge.** Das Getreide, das unsere landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften ernten, wird häufig in Säcken abgeliefert. Jeder Sack soll dabei die gleiche Menge Getreide, also die gleiche Stoffmenge enthalten. Dazu müssen die Säcke gewogen werden. Durch das Wägen wird festgestellt, wie oft die Maßeinheit in der zu messenden Stoffmenge enthalten ist.

Die Maßeinheit der Stoffmenge ist das **Kilogramm (kg)**. Abgeleitete Einheiten sind die Tonne (t), die Dezitonne (dt), das Gramm (g) und das Milligramm (mg).

$$1 \text{ t} = 10 \text{ dt} = 1000 \text{ kg}$$

$$1 \text{ dt} = 100 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$$

$$1 \text{ g} = 1000 \text{ mg}$$

**2. Der Wägesatz.** Zur Ermittlung einer Stoffmenge benötigen wir eine Waage und einen dazugehörenden Wägesatz. Er enthält Vergleichsstücke, die einer bestimmten Stoffmenge entsprechen. Diese Wägestücke werden fälschlicherweise oft

als „Gewichte“ oder gar als „Gewichtssteine“ bezeichnet. Diese Bezeichnungen sind aber falsch. Daher wollen wir sie nicht verwenden.

Der in Abbildung 28/1 wiedergegebene Wägesatz enthält folgende Wägestücke:

|       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| 500 g | 200 g | 200 g | 100 g |
| 50 g  | 20 g  | 20 g  | 10 g  |
| 5 g   | 2 g   | 2 g   | 1 g   |

Mit ihnen können wir jede Stoffmenge bis 1110 g in vollen Gramm ermitteln. Welche Wägestücke braucht man beispielsweise zum Wägen einer Stoffmenge von 898 g?

Die Zusammensetzung des Wägesatzes ist nicht willkürlich. Sie wurde so gewählt, daß aus den Wägestücken jede Stoffmenge mit möglichst wenig Wägestücken ermittelt werden kann. Welches System erkennst du an dem oben abgebildeten Wägesatz?

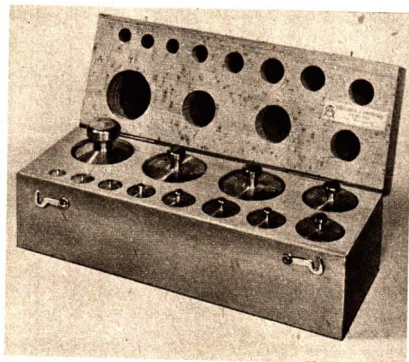


Abb. 28/1. Wägesatz von 1 g bis 500 g



Abb. 28/2. Bruchgramme

Wollen wir genauer messen, dann verwenden wir Wägestücke, deren Stoffmenge Bruchteile von 1 g darstellt, sogenannte *Bruchgramme* (Abb. 28/2). Das sind Metallplättchen von unterschiedlicher Form. Die Größe der Stoffmenge ist aufgeprägt. Für unsere Zwecke genügen folgende Bruchgramme:

500 mg      200 mg      200 mg      100 mg.

Die Wägestücke sind trocken aufzubewahren, da sie mit der Zeit von der Feuchtigkeit angegriffen und dadurch ungenau werden. Sie dürfen daher auch nie mit feuchten Händen angefaßt werden. Das gilt ganz besonders für die Bruchgramme, aber ebenso für andere kleine Wägestücke.

*Zum Anfassen kleiner Wägestücke verwenden wir stets eine Pinzette.*

Zum Messen größerer Stoffmengen benötigen wir größere Wägestücke. Ein solcher Wägesatz besteht aus Stücken zu

5 kg      2 kg      1 kg      500 g  
200 g      200 g      100 g

Wie groß ist sein Meßbereich?

**3. Einige Waagen.** Als Meßgerät für Stoffmengen verwendet man *Waagen*. Je nach ihrem Verwendungszweck sind sie in Größe und Form unterschiedlich.

Im Physikunterricht genügt meist eine einfache *Schalenwaage*. An den Enden eines waagerechten Balkens, des *Waagebalkens* (1 in Abb. 29/1), hängt je eine Schale, die *Waagschale* (2). Der Waagebalken ist genau in der Mitte an der *Schere* (3) aufgehängt. An ihm ist der *Zeiger* (4) befestigt, der bei unbelasteter Waage auf die *Nullmarke* einspielen muß.

Da die Schalenwaage einen Waagebalken hat, gehört sie zu den *Balkenwaagen*. Die Tragfähigkeit der kleinen Hornschalenwaage reicht etwa bis 100 g. Auch in Apotheken werden Hornschalenwaagen verwendet, wenn der Stoff nur auf 1 g genau gewogen zu werden braucht.

Größere Körper oder Gefäße mit Flüssigkeiten, die sicher stehen müssen, wägen wir mit der *Tafelwaage* (Abb. 29/2). Sie ist ebenfalls eine Balkenwaage,

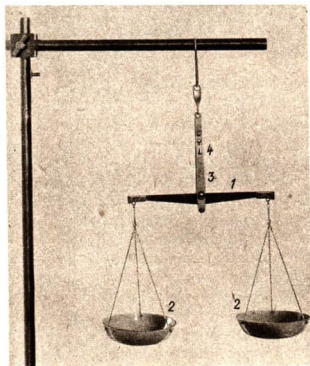


Abb. 29/1. Hornschalenwaage

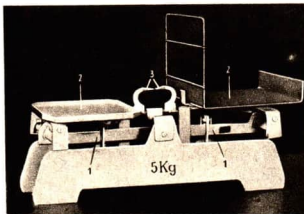


Abb. 29/2. Tafelwaage

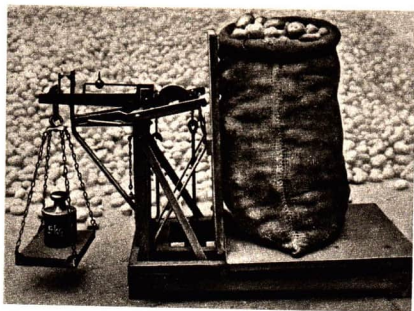


Abb. 30/1. Dezimalwaage

treide, gemessen werden, ist die *Dezimalwaage*, auch *Brückenwaage* genannt (Abb. 30/1). Der zu messende Körper wird auf die *Brücke* (1) gestellt. Auf Grund der besonderen Konstruktion der Waage braucht man auf die *Waagschale* (2) nur ein Wägestück zu legen, das den zehnten Teil der zu messenden Stoffmenge beträgt. Beträgt die Stoffmenge des zu wägenden Körpers 50 kg, so braucht man auf die Waagschale nur 5 kg zu legen. Bei einer anderen Wägung liegen auf der Waagschale 3,5 kg. Welche Stoffmenge hat der zu messende Körper? Die Waage ist im Gleichgewicht, wenn sich die beiden *Zungen* (3) genau gegenüberstehen. Mittels eines *Hebels* kann die Waage festgestellt werden.

Die Ladung von Fahrzeugen kann mit *großen Brückenwaagen* ermittelt werden. Das Fahrzeug fährt zunächst leer und dann beladen auf die Brücke einer großen Waage. Im danebenliegenden Waagenhäuschen kann die Stoffmenge abgelesen werden. Durch die Verwendung dieser Waagen wird sehr viel Arbeit eingespart, da die gesamte Ladung auf einmal gewogen werden kann. Wie könnte man sonst die Gesamtmenge ermitteln?

An anderen Waagen ist ein Vergleichsstück fest angebracht und wird beim Messen durch den aufgelegten Körper angehoben. Die Stoffmenge lesen wir an einer Skale ab, über

deren *Tafeln* (2) über dem *Waagebalken* (1) angebracht sind. Sie wird deshalb auch *oberschälige Tafelwaage* genannt. Tafelwaagen haben im allgemeinen eine Tragfähigkeit von 10 kg.

Das Einspielen der Waage beobachten wir an zwei *Zungen* (3), die an den beiden Tafeln angebracht sind. Stimmt die Stoffmenge des Meßkörpers mit der der Wägestücke überein, so stehen sich die beiden Zungen genau gegenüber.

Eine Waage, mit der große Stoffmengen, beispielsweise Säcke mit Ge-

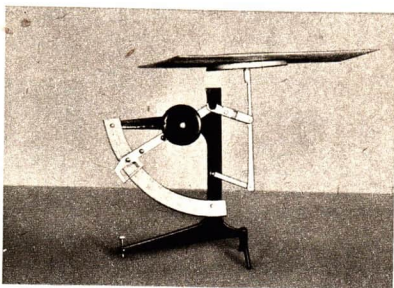


Abb. 30/2. Briefwaage



der ein Zeigerspielt. Solche Waagen heißen *Neigungswaagen*. Mit ihnen ist das Wägen besonders einfach. Zu dieser Gruppe der Waagen gehören die *Briefwaage* (Abb. 30/2) und die *Zeigerschnellwaage* (Abb. 31/1). Alle Lebensmittelverkaufsstellen der HO und des Konsums sind mit Neigungswaagen ausgestattet.

Bei anderen Waagen wird ein Vergleichsstück auf einer Schiene mit Skale so lange verschoben, bis die Waage im Gleichgewicht ist. Die Stoffmenge wird von der Skale abgelesen. Auf Grund der Handhabung nennt man solche Waagen *Laufgewichtswaagen*. Zu ihnen gehören die *Küchenwaage* (Abb. 31/2) und die *Säuglingswaage*.

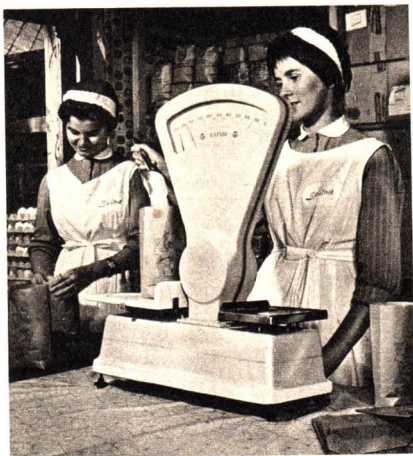


Abb. 31/1. Zeigerschnellwaage

**4. Wir wägen.** Wir wollen die Stoffmenge eines eisernen Bolzens durch Wägung bestimmen. Zunächst schätzen wir. Das ist notwendig, damit wir die geeignete Waage auswählen können. Wir dürfen ja ihre Tragfähigkeit nicht überschreiten.

Auch die erforderliche Genauigkeit müssen wir uns überlegen, da auch davon die Wahl der Waage abhängt. So können wir mit einer Schalenwaage genauer messen als mit einer Tafelwaage.

Vor dem Wägen stellen wir fest, ob der Zeiger auf die Nullmarke weist, beziehungsweise ob sich die Zungen genau gegenüberstehen. Trifft dies nicht zu, so prüfen wir, ob unsere Waage waagerecht steht. Anderenfalls muß ihre Lage verändert werden. Kann dadurch die Abweichung nicht beseitigt werden, dann legen wir auf die höher hängende Schale kleine, leichte Körper, wie Schrotkugeln, Papp- oder Papierstückchen, bis der Zeiger auf die Nullmarke einspielt. Man nennt dies: *die Waage tarieren*.

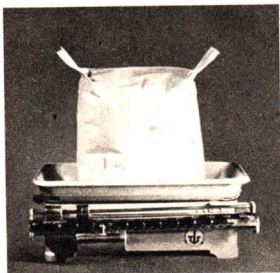


Abb. 31/2. Küchenwaage



Zum Wägen des Bolzens legen wir zunächst Wägestücke aus der Hundertergruppe auf die Waagschale. Dabei stellen wir fest, daß der Bolzen mehr als 200 g, aber weniger als 300 g wiegt. Nach dieser groben Eingrenzung der Stoffmenge grenzen wir sie weiter durch Wägestücke der Zehnergruppe und schließlich der Einergruppe ein.

|                                 |                   |
|---------------------------------|-------------------|
| Der Bolzen wiegt mehr als 200 g | weniger als 300 g |
| mehr als 270 g                  | weniger als 280 g |
| mehr als 276 g                  | weniger als 277 g |

Meist wird der Zeiger nicht ganz genau auf die Nullmarke einspielen. In unserem Beispiel weicht er bei 276 g weniger ab als bei 277 g. Also wiegt der Bolzen etwa 276 g.

Waagen, die eine Feststellvorrichtung haben, werden jeweils vor dem Auflegen eines Wägestückes festgestellt, *sie werden arretiert*.

Wir merken uns für Wägungen:

1. Die Stoffmenge des zu messenden Körpers schätzen!
2. Die geeignete Waage wählen! Sie darf nicht über die Tragfähigkeit hinaus belastet werden! Behandle die Waage sorgsam!
3. Die Lage der Waage prüfen!
4. Die Waage tarieren!
5. Den Körper, der gemessen werden soll, und die Vergleichsstücke auflegen! Kleine Wägestücke mit der Pinzette anfassen!
6. Eingrenzen des Meßwertes!
7. Feststellen der Stoffmenge durch Addition der verwendeten Wägestücke!
8. Unbenutzte Waage arretieren, wenn sie eine entsprechende Vorrichtung dazu hat!

Für alle Messungen gilt:

1. Überlege, wodurch Fehler entstehen können!
2. Überlege, bis zu welcher Grenze du genau messen kannst!
3. Vermeide persönliche Fehler durch sorgfältiges Arbeiten!
4. Führe jede Messung mehrmals durch!
5. Bilde Meßreihen und errechne den Mittelwert!
6. Gib mit dem Meßergebnis auch die Fehlergrenzen an!

## 5. Aufgaben:

1. In welchen Einheiten gibt man die Größe einer Stoffmenge an?
2. Wie kann man den Bereich des in Abb. 28/1 wiedergegebenen Wägesatzes ermitteln?
3. Welche Waagen kennst du?
4. Welche Waage verwendest du, um folgende Dinge zu wägen:  
Schraube, Sack mit Kartoffeln, Ziegelstein, Brief, Hammer, Becherglas mit 500 ml Wasser, Eimer voll Kohlen, Heft, Sack mit Lumpen, Taschenmesser, Handwagenladung Schrott, Lesebuch, Murmel, Radiergummi?
5. Ein Körper wiegt 756 g (239 g, 983 g, 616 g, 2900 g, 9300 g). Welche Wägestücke liegen auf der Waagschale?
6. Auf der Brücke einer Dezimalwaage steht ein Körper mit einer Stoffmenge von 70 kg (30 kg, 15 kg, 27 kg). Welche Wägestücke liegen auf der Waagschale?
7. Wäge 10 Kugellagerkugeln, Murmeln oder Schrauben zusammen. Errechne die durchschnittliche Stoffmenge einer Kugel, Murmel oder Schraube!

8. Wäge nacheinander 10 etwa gleich große Kartoffeln und bestimme, wieviel eine Kartoffel im Durchschnitt wiegt!
9. Bestimme die Stoffmenge eines Ziegelsteins auf einer Tafelwaage!
10. Wäge einen Meßzylinder auf einer ober-schaligen Tafelwaage und gieße 100 ml Wasser, Spiritus, Öl hinein! Bestimme auf diese Weise die Stoffmengen der Flüssigkeiten!
11. Stelle aus einer Leiste, zwei Dosendeckeln, einer Stricknadel (als Zeiger), etwas Draht und dünner Schnur eine einfache Balkenwaage her (Abb. 33/1)!

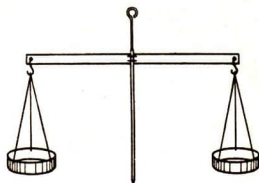


Abb. 33/1  
Modell einer einfachen Balkenwaage

## 5. Eigenschaften fester Körper

1. Die Form ist veränderbar. Im Werkunterricht stellen wir einen Kasten her. Wir sägen Bretter auf die passende Länge, hobeln sie glatt und runden die Kanten mit der Raspel. Dann fügen wir sie zusammen. Die Form der Bretter, die als Rohmaterial verwendet wurden, haben wir durch die Bearbeitung verändert. Dabei gibt es Abfälle: Sägemehl, Hobelspäne und Raspelspäne.

Knetmasse dagegen können wir nach Belieben formen, ohne daß es Abfälle gibt. Die Menge des Materials bleibt gleich.

Zum Formen der Knetmasse mußten wir *eine Kraft aufwenden*. Nach dem Formen behält die Knetmasse ihre Gestalt bei. Versuchen wir dagegen einen Gummiball zu verformen, so nimmt er immer wieder seine alte Form an, sobald unsere Kraft nicht mehr wirkt. Die Veränderung war also in diesem Falle nur vorübergehend. Einen Glasstab dagegen kann man nicht biegen, er bricht. Seine ursprüngliche Form wird zerstört.

**Feste Körper können durch äußere Kräfte geformt werden.**

In der Technik nutzt man die Möglichkeit, feste Körper zu verformen, vielfältig aus. Bei der Bearbeitung von Werkstücken wird die Form der Körper auf vielerlei Art verändert. Für die Formung gibt es die verschiedenartigsten Möglichkeiten, von denen wir im Werkunterricht schon einige selbst angewandt haben. Die anderen werden wir am Unterrichtstag in der sozialistischen Produktion kennenlernen. Die wichtigsten Verfahren der Formgebung sind:

*Sägen, Feilen, Bohren, Hobeln, Schleifen, Meißeln, Drehen, Biegen, Ziehen, Drücken, Schmieden, Schneiden, Stanzen, Gießen, Walzen.*

Auch die vorübergehende Formänderung wird technisch ausgenutzt, zum Beispiel bei Federn und bei Fahrzeugbereifungen.

Bei anderen Anwendungen wiederum darf sich die Form der Körper nicht verändern. Eisen- und Betonträger in Gebäuden, Teile von Brücken, Arme von Kränen, Kurbelwellen von Motoren, Achsen von Fahrzeugen und andere Teile von Maschinen müssen ihre Form beibehalten, wenn eine Kraft auf sie einwirkt.

**Die Formbarkeit der Körper ist für die Technik von großer Bedeutung. Sie ist die Voraussetzung für große Gebiete der Produktion.**

Für die Veränderung der Form spielen bestimmte Eigenschaften der Stoffe eine Rolle. Diese Eigenschaften der Stoffe müssen gründlich untersucht werden, da es von ihnen abhängt, wie die Stoffe in der Technik eingesetzt werden können. In den folgenden Abschnitten sollen die wichtigsten Eigenschaften besprochen werden.

**2. Elastizität.** Ein Gummiball verändert seine Form, wenn man ihn zusammendrückt. Er nimmt sie aber wieder an, wenn die Kraftwirkung aufhört. Auch an vielen anderen Körpern kann man beobachten, daß sie durch die Wirkung einer Kraft geformt werden. Eine Rasierklinge, ein Stahllineal, eine Stricknadel oder eine Holzleiste lassen sich biegen (Abb. 34/1a). Hört aber die Wirkung der Kraft auf, dann schnellen sie in die ursprünglichen Formen zurück. Unter Umständen schwingen sie dabei mehrmals hin und her (Abb. 34/1b). Das ist auf eine Eigenschaft der Stoffe zurückzuführen, aus denen die Körper bestehen. Diese Eigenschaft nennt man *Elastizität*. Die Stoffe sind *elastisch*. Körper aus elastischen Stoffen nennt man *elastische Körper*.

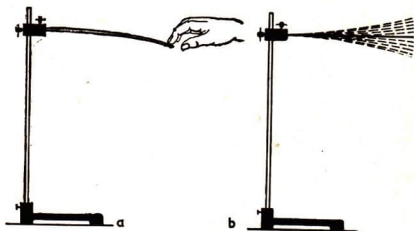


Abb. 34/1. Biegen einer Stricknadel

**Körper sind elastisch, wenn sie beim Wirken einer äußeren Kraft ihre Form verändern, aber nach Aufhören der Kraftwirkung ihre ursprüngliche Form wieder annehmen.**

Die Kraft kann in verschiedener Art auf den Körper einwirken und ihn elastisch formen. Als wir auf das freie Ende der eingespannten Stricknadel drückten, bog sie sich. Ließen wir sie los, so richtete sie sich wieder gerade. Dasselbe beobachten wir an einer schmalen Holzleiste, die wir an beiden Enden auflegen. Drücken wir auf die Mitte der Leiste, so biegt sie sich durch (Abb. 34/2). Nehmen wir den Finger wieder weg, so geht sie in die ursprüngliche Form zurück.

Die angreifende Kraft bewirkt bei den beschriebenen Beispielen eine *Biegung* der Körper. Die *Biegungselastizität* wird vor allem bei Blattfedern ausgenutzt, zum Beispiel bei Fahrzeugen (Abb. 35/1), oder bei der Rückholfeder der Handbremse des Fahrrades. Man kann sie aber auch bei Bäumen im Sturm, an einer Angel oder Peitsche oder am Sprungbrett im Bad beobachten.

Die Biegung ist aber nicht die einzige elastische Formveränderung. Hängen wir beispielsweise eine Gummischnur senkrecht an ein Stativ und ziehen das freie Ende nach unten, so wird die Gummischnur länger. Lassen wir wieder los, so

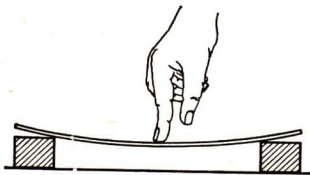


Abb. 34/2. Biegung einer Holzleiste, die beiderseits aufgelegt ist

Abb. 35/1. Blattfedern an der Achse eines Kraftwagens

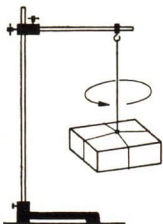
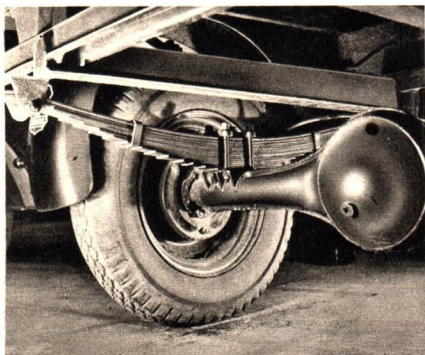


Abb. 35/2  
Drillung eines Stahldrahtes

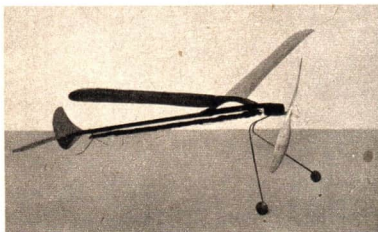
geht sie auf die ursprüngliche Länge zurück. Diesmal erfolgte die elastische Formung des Körpers durch *Zug*.

Die *Zugelastizität* wirkt beispielsweise bei einem Gummiband, das zum Zusammenhalten über eine Papierrolle gestreift wird, beim Strumpfhalter oder beim Gummiband in der Turnhose.

Wir messen die Höhe eines Gummistopfens. Dann drücken wir ihn zusammen; seine Höhe wird geringer. Nach dem Versuch messen wir die Höhe des Gummistopfens nochmals. Sie ist dieselbe wie vor dem Versuch. Auch durch *Druck* kann ein Körper elastisch geformt werden. Wir beobachten dies beispielsweise bei Gummipuffern an Türen oder Klappsitzen.

Nun hängen wir einen Stahldraht senkrecht an ein Stativ und belasten sein Ende durch einen Holzklotz (Abb. 35/2). Drehen wir den Klotz mehrere Male und lassen ihn dann los, so beobachten wir eine Drehbewegung in entgegengesetzter Richtung.

Der Draht wird bei dem Versuch um seine Längsrichtung gedreht. Das bezeichnet man als *Drillung* oder *Torsion*. Mit der Kraftwirkung, die auf Grund dieser *Torsionselastizität* wirksam wird, treibt man beispielsweise Schiffs- oder Flugmodelle (Abb. 35/3).



**Die Elastizität kann bei Biegung, Zug, Druck und Drillung wirksam werden.**

Abb. 35/3  
Flugmodell mit Gummimotor



Die Stricknadel konnte man formen, weil sie elastisch ist. Man kann sie aber nur bis zu einer bestimmten Grenze elastisch formen. Biegt man stärker, dann verbiegt sie sich. Hört die Kraftwirkung auf, so nimmt dann die Stricknadel nicht wieder ihre alte Form an. *Sie ist bleibend geformt worden.* Man kann also die Form elastischer Körper nur bis zu einer gewissen Grenze vorübergehend verändern. Diese Grenze nennt man **Elastizitätsgrenze**. Wenn sie überschritten wird, bleibt die Formung bestehen. Unter Umständen wird die Form auch zerstört.

**Werden elastische Körper über die Elastizitätsgrenze hinaus geformt, dann tritt eine bleibende Formveränderung ein.**

Außer Gummi, Stahl und Holz sind noch viele andere Stoffe elastisch, wenn auch nicht immer so ausgeprägt wie die genannten. So hat die bekannte Kunstfaser Dederon eine große Elastizität. Das gilt auch für Celluloid und andere Plaste. Ein dünnes Glasplättchen, wie es als Deckglas beim Mikroskop gebraucht wird, läßt sich etwas durchbiegen. Einen dünnen Glasfaden kann man sogar zu einer weiten Schlinge legen.

*Stahl, Gummi, Holz, Glas und Kunstfasern sind elastisch.*

**3. Federn.** Die Elastizität des Stahls und anderer Metalle wird in der Technik bei den *Federn* ausgenutzt. Federn sind elastische Metallstreifen oder -drähte, die im allgemeinen auf Biegung und Drillung beansprucht werden. Die Techniker verwenden sie,

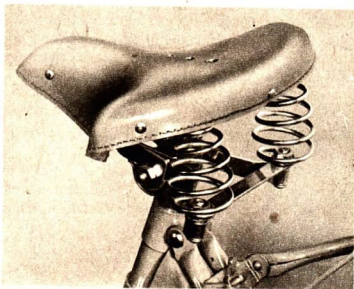
*um heftige Stöße aufzufangen oder abzuschwächen, zum Beispiel am Fahrradsattel (Abb. 36/1) und am Eisenbahnpuffer (vgl. Abb. 39/2);*

*um bewegliche Teile in ihre ursprüngliche Lage zurückzuführen, zum Beispiel an der Handbremse des Fahrrades (Abb. 37/1);*

*um Teile festzuhalten, zum Beispiel Halteklammern für die Luftpumpe;*

*um Teile zu bewegen, zum Beispiel Uhrfeder (vgl. Abb. 38/2);*

*um eine Kraft zu messen, zum Beispiel Kraftmesser (Abb. 37/2).*



Nach ihrer Form unterscheidet man *Schraubenfedern, Kegelfedern, Blattfedern, Spiralfedern.*

Abb. 36/1

Feder am Sattel eines Fahrrades



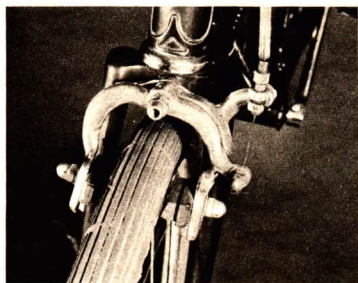


Abb. 37/1. Feder an der Handbremse eines Fahrrades

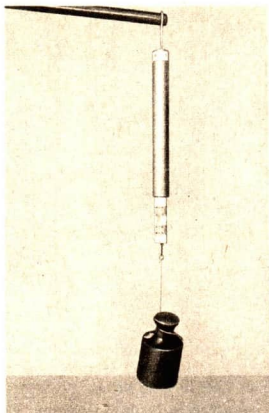


Abb. 37/2. Kraftmesser

### Federarten

| Art der Feder        | Form der Feder (Abb. 37/3) | Wirkungsweise der Feder                                                                                     |
|----------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zug-Schraubenfeder   |                            | Sie wird durch eine Zugkraft gestreckt und verkürzt sich nach dem Aufhören der Kraftwirkung wieder.         |
| Druck-Schraubenfeder |                            | Sie wird durch eine Druckkraft zusammengedrückt und streckt sich nach dem Aufhören der Kraftwirkung wieder. |
| Kegelfeder           |                            | Sie wirkt wie eine Druck-Schraubenfeder.                                                                    |
| Blattfeder           |                            | Sie wird durch eine Kraft gebogen und biegt sich nach dem Aufhören der Kraftwirkung wieder zurück.          |
| Spiralfeder          |                            | Sie wird beim Drehen einer Achse gespannt und dreht diese beim Entspannen zurück.                           |

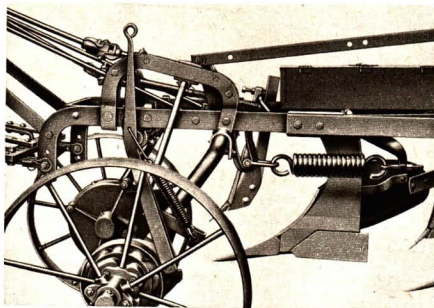


Abb. 38/1. Feder an einer landwirtschaftlichen Maschine

*Zug-Schraubenfedern* dienen zum Beispiel als Rückholfedern an der Schreibmaschine, an landwirtschaftlichen Maschinen (Abb. 38/1) und als Spannfeder bei der Skibindung.

*Druck-Schraubenfedern* dämpfen die Stöße am Sattel des Motorrades und des Fahrrades. Sie

werden als Sprungfedern der Matratze verwendet. Sie üben einen Druck aus an den Ventilen eines Motors oder am Schlagbolzen eines Gewehrs, der die Patrone zur Entzündung bringt.

*Blattfedern* benutzt man zum Dämpfen von Stößen an den Achslagern von Fahrzeugen, zum Beispiel bei Autos und bei Eisenbahnwagen (vgl. Abb. 35/1).

*Spiralfedern* treiben das Werk der Uhr (vgl. Abb. 38/2) und des Spielzeugautos. Sie drehen die Zeiger von Meßgeräten in die Nullage zurück (Abb. 39/1).

*Kegelfedern* fangen in den Puffern der Eisenbahnwagen die Stöße auf (Abb. 39/2).

#### *Aufgaben:*

1. Prüfe die folgenden Stoffe auf ihre Elastizität: Hartgummi (Kamm), Siegellack, Gummi, Leder, Bindfaden, Kupferblech, Papier, Pappe, Holz, Eisenblech, Stahl (Federn), Dederon!
2. Du willst im Werkunterricht ein dünnes Brett zersägen. Warum mußt du es so auf die Unterlage legen, daß es nur wenig übersteht?
3. Du sollst das Ende einer Holzleiste mit der Raspel bearbeiten. Wie spannst du die Leiste ein? Begründe deine Tätigkeit!
4. Warum springt dein Ball?
5. Miß die Länge einer Gummischur! Dehne sie vorsichtig, bis eine bleibende Verformung eintritt! Bestimme die Verlängerung!
6. Stelle das Modell einer Schraubenfeder aus Draht, einer Blattfeder aus Pappe, einer Kegel- und einer Spiralfeder aus Zeichenpapier her!

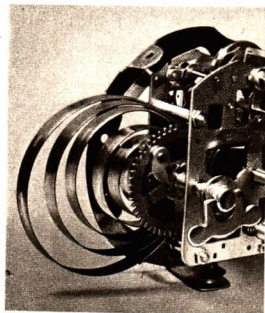


Abb. 38/2. Spiralfeder

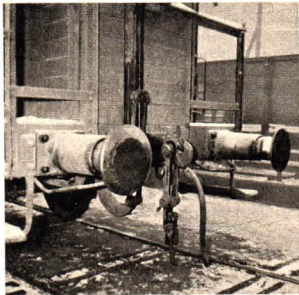
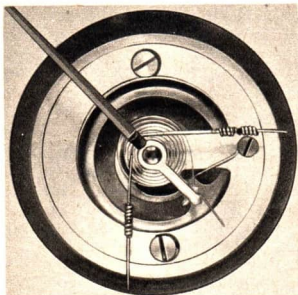


Abb. 39/1. Meßgerät, dessen Zeiger durch eine Spiralfeder zurückgeführt wird

Abb. 39/2. Puffer eines Eisenbahnwagens

7. Welche Federn findest du am Fahrrad? Welche Aufgaben haben sie?
8. Stelle die Arten der an landwirtschaftlichen Maschinen und Fahrzeugen verwendeten Federn fest! Wozu dienen sie?

**4. Unelastische Stoffe.** Schlägt man einen Nagel in ein Brett aus hartem Holz, so kann es geschehen, daß man ihn durch einen ungenauen Schlag verbiegt. Der Nagel wird *unelastisch geformt*, er behält die neue Form bei. Ebenso führt ein Schlag auf ein Stück Blei oder Zinn zu einer bleibenden Verformung.

Wir spannen ein Stück Kupferdraht von etwa 50 cm Länge in den Schraubstock, fassen das freie Ende mit einer Zange und versuchen, den Draht in die Länge zu ziehen. Nach dem Versuch messen wir die Länge nochmals und stellen fest, daß der Draht länger geworden ist; er hat sich *gedehnt*. Kupferdraht ist dehnbar.

Ein Stück Eisen-, Kupfer- oder Aluminiumblech läßt sich biegen. Es behält die Form bei, die es auf Grund der Kraftwirkung erhält. Das Blech ist *biegsam*.

Die genannten Stoffe nehmen nach der Formung ihre alte Form nicht wieder an, sie behalten die Form bei, die ihnen durch die Kraftwirkung gegeben worden ist. Solche Stoffe nennt man *unelastisch*. Ganz richtig ist diese Feststellung allerdings nicht, denn alle Stoffe besitzen Elastizität. Nur ist sie bei einigen so gering, daß sie kaum in Erscheinung tritt. Körper, die aus unelastischen Stoffen bestehen, nennt man *unelastische Körper*.

Ob jedoch ein Körper elastisch oder unelastisch ist, hängt auch sehr stark von seiner Form ab. Ein Körper aus Kupfer ist im allgemeinen unelastisch. Zieht man jedoch Kupfer zu einem Draht und wickelt diesen Kupferdraht schraubenförmig um einen runden Stift, so erhält man eine Drahtwendel von der Form einer Schraubenfeder. An dieser Drahtwendel kann man eine gewisse Elastizität beobachten.

Lassen wir eine Stahlkugel und eine Kugel aus Knetmasse auf eine feste Unterlage fallen, so springt die Stahlkugel wieder hoch, während die Knetmassekugel

liegenbleibt. Sie ist abgeplattet. Durch das Aufschlagen auf die Unterlage wurde ihre Form geändert. Knetmasse ist unelastisch. Man kann der Knetmasse auch viele andere Formen geben, ohne daß der Körper zerstört wird. Man bezeichnet die Eigenschaft der Stoffe, beliebig geformt werden zu können, als **Plastizität**. Körper, die aus *plastischen Stoffen* bestehen, sind *plastische Körper*.

**Plastische Körper werden durch eine Kraft bleibend geformt.**

Die plastische Formbarkeit der Körper wird in verschiedenen Berufen ausgenutzt. Der Bildhauer und der Töpfer verwenden zum Modellieren feuchten Ton (Abb. 40/1). Der Glaser dichtet die Fensterscheiben mit schmiegsamem Kitt ab. Der Ofensetzer verarbeitet Lehm, der Maurer und der Maler verschließen Löcher im Putz mit Gips. Aber auch verschiedene Metalle sind plastisch formbar, besonders Blei, Kupfer, Zinn und Gold.

*Knetmasse, Kitt, feuchter Ton, feuchter Lehm und feuchter Gips sind plastische Stoffe, ebenso Blei, Kupfer, Zinn und Gold.*

Es gibt auch Stoffe, die bei normalen Temperaturen nicht plastisch sind, sondern erst bei Erwärmung plastisch werden. Wenn im Sommer die Sonne auf eine Teerstraße scheint, kann man beobachten, daß die Straßendecke weich wird. Der Abdruck eines Schuhabsatzes oder eines Pferdehufes bleibt deutlich sichtbar. Der Teer, der bei normalen Temperaturen nicht plastisch ist, ist durch Erwärmung plastisch geworden. Kerzen aus Wachs oder Stearin lassen sich ebenfalls plastisch verformen, wenn sie erwärmt werden. Auch Stahl und andere Metalle können plastisch geformt werden, wenn man sie erwärmt. Davon wird beim Schmieden Gebrauch gemacht. Selbst Glas wird durch Wärme plastisch. Die Glasbläser formen aus ihm alle möglichen Figuren und Gegenstände.

Eine große Rolle in der modernen Technik spielen die *Plaste*. Dies sind Kunststoffe, die plastisch geformt werden. Aus Plasten werden bereits viele Gegenstände des täglichen Bedarfs hergestellt, wie Teller, Tassen, Schachteln. Fast in allen Zweigen der Industrie werden Plaste verwendet. So werden zum Beispiel Gehäuse für Telefonapparate, für Projektionsapparate, für Fotoapparate usw. aus Plasten gefertigt.

**Die plastische Formbarkeit der Stoffe ist häufig von der Temperatur abhängig.**

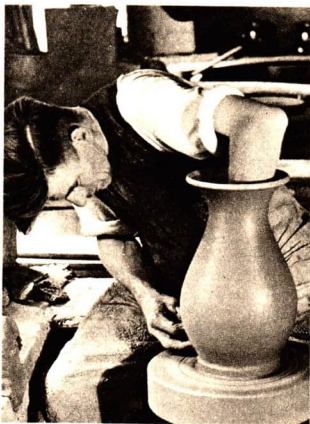


Abb. 40/1  
Töpfer beim Modellieren eines Kruges



**5. Spröde Stoffe.** Ein Glasstab läßt sich in kaltem Zustand nicht plastisch formen, er bricht. Seine Form wird zerstört. Dasselbe kann man an einer Siegelackstange beobachten. Gegenstände aus Gußeisen, aus Grauguß darf man nicht mit dem Hammer bearbeiten, da sie sonst zerspringen. Das gleiche gilt für das Plastadurgehäuse einer Steckdose. Die Form einer Uhrfeder aus gehärtetem Stahl läßt sich zwar elastisch sehr stark ändern. Versucht man aber eine bleibende Formung zu erreichen, indem man etwa das Ende umbiegt, dann bricht sie.

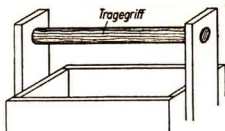


Abb. 41/1  
Verlauf der Faser in einem hölzernen Tragegriff

Eine Holzleiste ist ebenfalls elastisch; aber sie zerbricht, wenn sie zu stark belastet wird. Beim Holz spielt außerdem der Verlauf der Faser eine Rolle. Ein Brett bricht entlang der Faser leichter auseinander als quer zu ihr. Darauf müssen wir im Werkunterricht achten. Ein hölzerner Tragegriff an einem Kasten muß so zugeschnitten werden, daß die Faser in der Längsrichtung des Griffes verläuft (Abb. 41/1). Verliefe sie quer zum Griff, so würde dieser schon bei einer geringen Belastung zerbrechen.

Körper aus den genannten Stoffen lassen sich teilweise sehr stark elastisch formen. Wenn ihre Form aber über die Elastizitätsgrenze hinaus verändert werden soll, wird sie zerstört. Eine plastische Formung ist bei ihnen nicht möglich. Solche Stoffe nennt man *spröde*. **Sprödigkeit und Elastizität sind Eigenschaften, die ein Stoff nebeneinander haben kann.** Das zeigte sich bei der Uhrfeder aus gehärtetem Stahl und bei dem Deckgläschen vom Mikroskop.

**Körper bestehen aus einem spröden Stoff, wenn ihre Form zerstört wird, bevor sie sich bleibend verändert. Sie können dabei trotzdem elastisch sein.**

*Spröde Stoffe sind Glas, gehärteter Stahl, Grauguß, Siegelack, Gesteine, Holz, Plastadur u. a.*

**6. Zähhe Stoffe.** Die zähen Stoffe setzen einer Zerstörung der Körperform großen Widerstand entgegen. Die **Zähigkeit** des Leders ist bereits sprichwörtlich. Einen Kupferdraht oder eine Gummischnur kann man stark dehnen, bevor sie zerreißen. Ein eiserner Nagel oder ein Stück Eisenblech zerbrechen erst, wenn man sie mehrere Male hin und her biegt und sie dadurch ihre Zähigkeit verloren haben. Auch Körper aus vielen anderen Metallen lassen sich stark verformen, bevor sie zerreißen oder zerbrechen.

**Körper bestehen aus einem zähen Stoff, wenn ihre Form sehr stark unelastisch verändert werden kann, ohne daß sie zerstört wird.**

*Zähe Stoffe sind Leder, Gummi, Dederon, Kupfer, Aluminium, Eisen und andere Metalle.*

**7. Festigkeit.** Alle die beschriebenen Eigenschaften, wie Elastizität, Plastizität, Sprödigkeit und Zähigkeit sind entscheidend für die Festigkeit eines Werkstoffes. Von dieser Festigkeit hängt es ab, wie der betreffende Stoff in der Technik eingesetzt werden kann.



Für die Festigkeit eines Stoffes ist auch die Richtung, mit der eine Kraft auf den Werkstoff wirkt, von Bedeutung. Einen Holzstab wird man mit der Hand schwerlich auseinanderziehen können. Er läßt sich aber leicht zerbrechen. Man unterscheidet daher je nach der Kraftwirkung verschiedene Festigkeitsarten. Sie lassen sich an einer Stange aus Knetmasse gut veranschaulichen, weil bei Knetmasse die Festigkeit bei allen Arten der Beanspruchung gering ist.

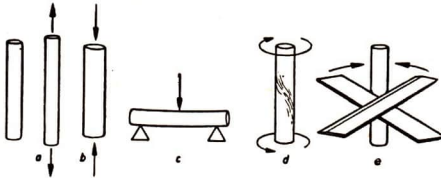


Abb. 42/1. Darstellung der Festigkeitsarten an einer Stange aus Knetmasse

- a) Zugfestigkeit
- b) Druckfestigkeit
- c) Biegefestigkeit
- d) Torsionsfestigkeit
- e) Scherfestigkeit

1. Wir ziehen die Stange aus Knetmasse an den Enden auseinander; sie wird dadurch auf *Zugfestigkeit* beansprucht (Abb. 42/1a).
2. Wir drücken sie von beiden Enden her zusammen; wir beanspruchen sie auf *Druckfestigkeit* (Abb. 42/1b).
3. Wir legen die Enden auf und drücken auf die Mitte; dadurch wird die *Biegefestigkeit* geprüft (Abb. 42/1c).
4. Wir drehen die Enden in entgegengesetzter Richtung; die Stange wird auf *Torsionsfestigkeit* beansprucht (Abb. 42/1d).
5. Wir fassen zwei Lineale scherenförmig und drücken mit ihren Kanten in entgegengesetzter Richtung gegen die Mitte der Stange aus Knetmasse: Man sagt, die Stange wird abgeschert, sie wird auf *Scherfestigkeit* beansprucht (Abb. 42/1e).

Die Festigkeit ist der Widerstand, den ein Körper der Formung oder Zerstörung entgegensetzt.

Die Größen der einzelnen Festigkeitsarten sind bei den Stoffen oft recht unterschiedlich. Bei Stahl beispielsweise, der zum Bau von Brücken verwendet wird, ist die Zugfestigkeit doppelt so groß wie die Druckfestigkeit, während bei Grauguß die Druckfestigkeit das Vierfache der Zugfestigkeit beträgt. Der Techniker muß daher die

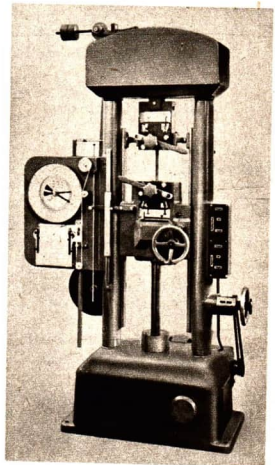


Abb. 42/2. Zerreißmaschine

Festigkeit der Werkstoffe genau kennen, um für jeden Zweck das geeignete Material zu verwenden. Eine Fahrradachse beispielsweise, die nicht aus Stahl, sondern aus Grauguß hergestellt wäre, bräche wahrscheinlich beim ersten Schlagloch.

Zur Prüfung der Festigkeit wurden verschiedene Maschinen entwickelt. So zeigt die Abbildung 42/2 eine *Zerreißmaschine*. Mit ihr wird die Zugfestigkeit verschiedener Stoffe untersucht. Der Stab wird so lange belastet, bis er zerreißt. Die Zugkraft im Augenblick des Zerreißens wird gemessen. Entsprechende Maschinen gibt es auch zur Untersuchung der anderen Festigkeitsarten.

Die folgende Tabelle zeigt an einigen Beispielen, welche Festigkeitsarten bei verschiedenen technischen Werkstücken besonders wichtig sind.

*Verschiedenartige Beanspruchung von Werkstücken*

| Beanspruchung auf  | Werkstücke                                              |
|--------------------|---------------------------------------------------------|
| Zugfestigkeit      | Förderseile, Kranseile, Ankerrossen, Zugketten          |
| Druckfestigkeit    | Baufundamente, Säulen und Pfeiler, Kolben von Maschinen |
| Biegefestigkeit    | Träger und Balken, Kranarme, Fahrzeugachsen             |
| Torsionsfestigkeit | Wellen an Maschinen, Bohrer, Holzschrauben              |
| Abscherfestigkeit  | Niete, Schrauben, Bolzen                                |

**8. Härte.** Ein eiserner Nagel läßt sich leicht in ein Brett einschlagen. Er verdrängt dabei die Holzteilchen. Niemand wird dagegen versuchen, einen Holzstift in ein Eisenblech zu schlagen. Der Holznagel kann nicht eindringen, denn er ist weicher als das Eisen. Dagegen kann man einen Holzdübel ohne weiteres in feuchten Gips eindrücken, während man in das Eisenblech mit einem Körner aus besonders gehärtetem Werkzeugstahl ein Loch schlagen kann. Die Ursache für das Eindringen eines Körpers in einen anderen ist die unterschiedliche **Härte** der Stoffe. Ordnet man die bisher genannten nach ihrer Härte, so kommt zuerst der Werkzeugstahl, dann folgen Eisen, Holz und feuchter Gips.

Man kann die Härte zweier Stoffe miteinander vergleichen, indem man einen Körper aus dem einen Stoff mit einem Körper aus dem anderen zu *ritzen* versucht. Stets hinterläßt der härtere auf dem weicheren einen Kratzer. Mit der Reißnadel und dem Streichmaß wird im Werkunterricht das Holz geritzt. Aber auch der Metallfacharbeiter benutzt die Reißnadel. Er reißt damit Werkstücke an (Abb. 43/1). Der Glaser ritzt die Scheibe mit dem Glasschneider, an dessen Ende sich ein Stahlrädchen oder



Abb. 43/1. Metallfacharbeiter beim Anreißen eines Werkstückes

ein Diamantsplitter befindet. Diamant ist der härteste Stoff. Mit ihm können alle anderen Stoffe geritzt werden.

**Härte ist der Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen Körpers entgegensetzt.**

Werkzeuge und Werkstücke aus Stoffen mit großer Härte nutzen sich nur wenig ab. Hämmer beispielsweise werden meist aus sehr hartem Material hergestellt. Für das Zusammenklopfen von Holzteilen dagegen braucht man einen Hammer aus weichem Material, da sonst die Oberfläche des Holzes beschädigt wird. Darum verwendet man im Werkunterricht für viele Arbeiten den Holzhämmer.

Harte Stoffe sind andererseits häufig sehr spröde, zum Beispiel Grauguß, Glas oder gehärteter Stahl. Ein Schraubenschlüssel nutzt sich wegen seiner großen Härte kaum ab. Man darf aber nicht versuchen, eine festsitzende Schraube durch Hammerschläge auf den Schlüssel zu lösen. Infolge seiner Sprödigkeit kann er dabei leicht ausbrechen.

**9. Zusammenfassung.** Die besprochenen Eigenschaften der Stoffe, aus denen die festen Körper bestehen, sind im folgenden noch einmal zusammengefaßt:

*Festigkeit* ist der Widerstand gegen jede Art der Formung und Zerstörung.

*Elastizität* ist die Eigenschaft, nach einer Änderung der Form die ursprüngliche Form wieder anzunehmen.

*Plastizität* ist die Eigenschaft, eine Formänderung durch eine Kraft beizubehalten.

*Zähigkeit* ist der Widerstand gegen eine Zerstörung der Form.

*Sprödigkeit* ist die Eigenschaft, bei einer Formung über die Elastizitätsgrenze hinaus zu zerbrechen.

*Härte* ist der Widerstand, gegen das Eindringen eines anderen Körpers.

#### **10. Aufgaben:**

1. Nenne plastische und elastische Stoffe!
2. Dehne einen Kupferdraht von 50 cm Länge aus, bis er zerreißt! Miß die Länge der beiden Bruchstücke, addiere sie und vergleiche das Ergebnis mit der Anfangslänge!
3. Nenne spröde und zähe Stoffe! Schreibe Gegenstände auf, die aus ihnen bestehen!
4. Versuche, vorsichtig eine alte Uhrfeder bleibend zu formen!
5. Spanne einen Nagel in den Schraubstock und versuche, ihn durch Biegen zu zerbrechen!
6. Ordne die folgenden Stoffe nach ihrer Härte: Knetmasse, Glas, Stahl, Gummi, Blei, Eisen, Diamant, Buchenholz, Kork!
7. Nenne harte und weiche Holzarten!

### **6. Die Formbarkeit einiger Werkstoffe**

**1. Die Eigenschaften einiger Werkstoffe. a) Eisenmetalle.** Das *Eisen* und der aus ihm hergestellte *schmiedbare Stahl* sind für die Technik die wichtigsten Metalle. Die ältesten eisernen Werkzeuge sind bereits siebentausend Jahre alt. Man hat sie in Ägypten gefunden. In Europa verbreitete sich die Verwendung des Eisens vor etwa zweitausend Jahren. Aber erst in der Mitte des vergangenen Jahrhunderts begann

die große Entwicklung der Eisenindustrie, als der Hochofen erfunden wurde und so Eisen in großem Maße gewonnen werden konnte.

*Reines Eisen* ist verhältnismäßig weich. Es läßt sich sehr stark dehnen. Für technische Zwecke ist es daher nicht brauchbar. Es hat eine zu geringe Festigkeit und auch eine zu geringe Härte.

*Stahl* ist schmiedbares Eisen, das man aus Roheisen gewinnt. Durch Erwärmung wird Stahl zunächst plastisch und kann in diesem Zustand

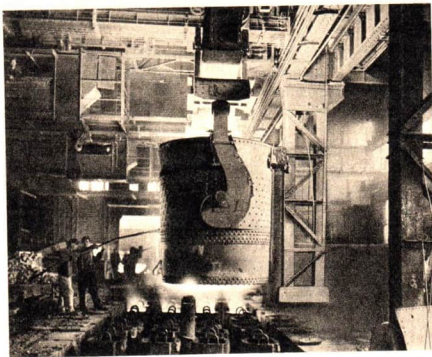


Abb. 45/1. Gießen

durch Schmieden verformt werden. Bei noch höheren Temperaturen schmilzt er. In diesem Zustand können Körper aus Stahl durch Gießen hergestellt werden (Abb. 45/1.) Die Eigenschaften des Stahls sind weitgehend von dem Stoff abhängig, der ihm zugesetzt worden ist. Man spricht in diesem Falle auch vom *Veredeln des Stahles*. Hierzu verwendet man beispielsweise Chrom und Nickel. Heute kennt man bereits 20000 verschiedene Zusammensetzungen des Stahls. Zwei wichtige Stahlsorten sind der *Werkzeugstahl* und der *Baustahl*. Werkzeugstahl ist härter, aber auch spröder als Baustahl. Wird Stahl glühend in Wasser abgeschreckt, so erhöhen sich Härte und Festigkeit, auch die Elastizität wird größer. Daneben steigt aber gleichzeitig die Sprödigkeit.

Stahl wird in der gesamten Industrie für Werkzeuge und Maschinen, Fahrzeuge und Geräte, Bauteile und Schienen benötigt.

*Grauguß* ist eine andere Eisenart. Im Gegensatz zum Stahl kann er nicht geschmiedet werden, weil er beim Erwärmen nicht plastisch wird, sondern gleich schmilzt. Er ist sehr hart und druckfest, aber spröde. Werkstücke aus Grauguß werden gegossen, zum Beispiel Zylinderblöcke von Kraftfahrzeugen, Maschinenteile oder Ofentüren.

b) *Nichteisenmetalle*. Alle Metalle, die nicht zu den *Eisenmetallen* gehören, nennt man *Nichteisenmetalle*. Die schwereren Nichteisenmetalle bezeichnet man wegen ihrer unterschiedlichen Färbung als *Buntmetalle*, wie Kupfer, Zinn, Zink, Blei u. a., die leichteren wegen ihres geringen Gewichtes als *Leichtmetalle*. Zu ihnen gehören Aluminium und Magnesium.

*Aluminium* ist das wichtigste Leichtmetall. Seine Elastizität und Härte sind gering, auch die Festigkeit ist nicht groß. Es hat aber trotzdem eine große technische Bedeutung, weil es sehr leicht und gut verformbar ist. Durch Zusätze anderer Metalle können außerdem seine Festigkeit und die Härte außerordentlich erhöht werden. Man kann Aluminium schmieden und kalt verformen. Es läßt sich zu einem



dünnen Draht ziehen und zu feinem Blech walzen. Auch kann es in Formen gegossen werden.

Aluminium wird vor allem im Fahrzeug- und Flugzeugbau verwendet, man stellt aus ihm elektrische Leitungen, Haushaltsgegenstände und Tuben, Apparate und Geräte der chemischen und der Nahrungsmittelindustrie her.

Kupfer ist das wichtigste Buntmetall. Es ist verhältnismäßig weich, aber sehr zähe. Darum läßt es sich auch in kaltem Zustand leicht verformen, beispielsweise durch das Ziehen. Man kann es gut löten. Seine Festigkeit ist jedoch nur gering.

Kupfer wird daher mit anderen Metallen zusammengeschmolzen. Man nennt ein solches Metallgemisch eine *Legierung*. Kupfer und Zink ergeben *Messing*, Kupfer und Zinn *Bronze*, Kupfer mit Zinn und Zink *Rotguß*. Die Legierungen haben andere Eigenschaften als das Kupfer, besonders erhöhen sich die Festigkeit und die Härte.

Kupfer wird verwendet für elektrische Leitungen und Apparate, für Lötcolben und Dichtungsringe, für Schiffsbeschläge und Rohre.

Blei ist ein sehr schweres Buntmetall. Es ist sehr weich, daher läßt es sich gut verformen. Man kann es besonders leicht gießen, da es schon bei niedrigeren Temperaturen flüssig wird als andere Buntmetalle. Seine Härte und Festigkeit sind gering. Aus Blei stellt man Bleche, Mäntel für Kabel, Schrotkugeln, Verschußplomben für Hauptsicherungskästen u. a. her. Auch Blei wird häufig mit anderen Metallen zusammengeschmolzen und dann als Metall für Lettern in der Druckerei, für Lager von Wellen und zum Lötten verwendet.

e) **Nichtmetalle.** *Glas* ist ein harter, aber spröder Stoff, der auch elastisch ist. Durch Erwärmen wird es plastisch und kann dann gut verformt werden. Im plastischen Zustand wird es auf verschiedene Art verarbeitet. Man kann es zu *Hohlglas* blasen (Flaschen), zu *Preßglas* in Formen drücken (Teller, Schüsseln, Aschenbecher), zu *Flachglas* walzen (Fensterscheiben), zu Röhren und Fäden ziehen und zu Figuren modellieren (Abb. 64/1).

Glas ist ein Werkstoff, der vielseitig verwendet wird. Durch Zusätze wird er hitzebeständig. Seine Festigkeit erhöht sich, wenn Draht in das flüssige Glas ein-

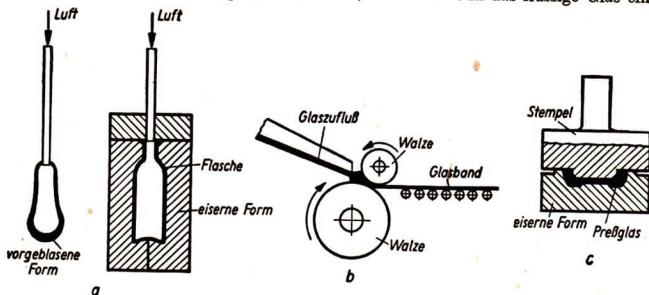


Abb. 64/1. Verarbeitung von Glas a) Blasen von Flaschen b) Walzen von Flachglas  
c) Drücken von Aschenbechern



gelegt wird. *Drahtglas* verwendet die Bauindustrie, ebenso Ziegel und Bausteine aus Preßglas. An der Verbesserung der Eigenschaften des Glases arbeiten Wissenschaftler, Techniker und Facharbeiter ständig weiter. So haben sie zum Beispiel das *Schaumglas* entwickelt, das man sägen, bohren und feilen kann. Es ist sehr fest und dabei so leicht, daß es auf dem Wasser schwimmt. Man wird es besonders in der Bauindustrie verwenden.

*Gummi* gewinnt man aus Kautschuk, dem Saft eines Baumes heißer Zonen. Bei uns wird der synthetische Kautschuk *Buna* vielseitig verwendet. Er wird im VEB Chemische Werke Buna in Schkopau hergestellt. Buna übertrifft noch die Eigenschaften des Naturkautschuks.

Gummi braucht man vor allem wegen seiner Elastizität. Er ist von geringer Härte und Festigkeit, dafür aber sehr zähe. Eine bleibende Verformung für technische Zwecke ist in kaltem Zustand nicht möglich. Dazu muß er erwärmt und mit anderen Stoffen vermischt werden. Dann wird er plastisch und läßt sich in Formen pressen.

Gummi wird zu Fahrzeugbereifungen, Schläuchen, Dichtungen, Flaschenverschlüssen usw. verarbeitet.

*Kork* ist ein pflanzliches Erzeugnis. Man gewinnt ihn aus der Rinde der Kork-eiche, die in Südwesteuropa und Nordafrika wächst. Er ist einer der leichtesten Stoffe. Seine Härte ist gering, man kann ihn schon mit dem Messer schneiden. Dagegen ist er elastisch. Eine bleibende Formung ist nur in beschränkten Grenzen möglich. Er dient als Flaschenkork, für Schwimmgürtel und Rettungsringe. Kork wird heute bereits weitgehend durch Plaste ersetzt, deren Eigenschaften die des Korks übertreffen.

d) *Plaste*. *Plaste* spielen heute als Werkstoff eine große Rolle. Sie werden in unseren chemischen Betrieben hergestellt. Die Plaste sind moderne Werkstoffe, die mehr und mehr in der Technik verwendet werden. Sie werden oft an Stelle anderer, bisher verwendeter Stoffe, zum Beispiel der Metalle, eingesetzt, da sie diese in manchen Eigenschaften übertreffen. Früher stellte man zum Beispiel Lager für Wellen aus Buntmetallen her. Heute verwendet man dafür häufig *Kunstharze*. Sie nutzen sich noch weniger ab als die Metall-lager. Außerdem wird dadurch wertvolles Buntmetall eingespart.

Autokarosserien fertigt man im allgemeinen aus Eisenblechen an. Bei den Personenkraftwagen „P 70“ und „Trabant“ aus dem volkseigenen Automobilwerk Zwickau besteht jedoch das Gehäuse aus Plast (Abb. 47/1). Es hat gegenüber dem Metallgehäuse verschiedene Vorteile: Es ist weitaus leichter,



Abb. 47/1. Personenkraftwagen „Trabant“

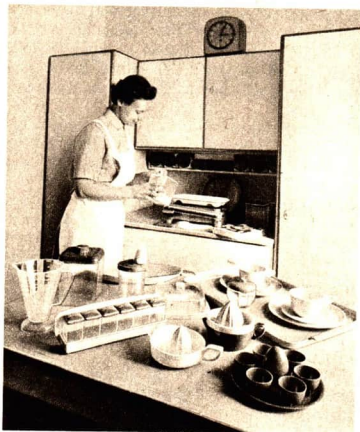


Abb. 48/1. Gegenstände aus Plasten

rostet nicht und hält die Wärme besser zurück.

Eine Tasse aus Porzellan zerbricht, wenn sie zu Boden fällt, eine Tasse aus Plasten dagegen nicht. Außerdem ist sie leichter.

Zu den Plasten zählen auch die *Chemiefasern*, wie Dederon, Wolcylon, Lanon u. a. Aus Chemiefasern stellt man heute bereits haltbare knitterarme Stoffe und andere Textilien her.

Die Verwendung der Plaste in der Technik ist so vielseitig, daß hier gar nicht alles aufgezählt werden kann. Von der Zahnbürste bis zur Badewanne, vom Wasserhahn bis zum Dederonkleid, von der Dachrinne bis zum Schiffsteil werden Plaste verarbeitet. Sie sind die Werk-

stoffe der Zukunft (Abb. 48/1). Im Rahmen des Siebenjahrplanes unserer Republik ist eine wesentliche Steigerung der Plastikproduktion vorgesehen.

Plaste lassen sich bei einer bestimmten Temperatur bleibend verformen. Bei einigen ist diese Verformung nur einmal möglich, andere werden bei jeder Erwärmung plastisch. Sie haben die verschiedensten Eigenschaften, nach denen sie für bestimmte Zwecke verwendet werden. Am bekanntesten sind die folgenden Plaste:

*Polyamide* sind sehr fest, geruchlos und geschmacksfrei. Sie werden zum Beispiel zu Möbelbeschlägen, Wasserhähnen, Haushaltgeräten und Spielwaren verarbeitet.

*Plastadur-Preßmassen*, aus denen zum Beispiel Schalter- und Steckdosengehäuse hergestellt werden, sind mäßig hart, so daß man sie gut feilen und sägen kann. Dabei sind sie spröde.

*Polystyrol* ist glasklar und hat eine gute Festigkeit. Man erzeugt aus diesem Plast unter anderem Formteile für die Industrie, wie Platten, Stäbe, Rohre.

*Piacryl* wird durchsichtig oder milchglasähnlich hergestellt. Man verwendet es teilweise an Stelle von Glas, da es nicht splittert.

*Polyvinylchlorid*, kurz als *PVC* bezeichnet, läßt sich durch Walzen und Pressen leicht formen. PVC wird in zwei Formen hergestellt: PVC hart und weich. *PVC hart* wird für Dachrinnen, Rohrleitungen, Dichtungen und Verpackungsmaterial verwendet. Aus *PVC weich* stellt man Polster, Fußbodenbelag, Förderbänder, Täschnerwaren, Regenbekleidung und Spielwaren her.

**2. Die technische Formung der Werkstoffe.** Im Werkunterricht haben wir bereits Holz bearbeitet. Dabei wurde einem Körper aus Holz eine bestimmte Form gegeben. Auch in den Produktionsbetrieben werden die Werkstoffe geformt. Die Facharbeiter geben Rohstoffen und Rohteilen die Form, die dem Verwendungszweck entspricht. Oft wird hierbei eine große Genauigkeit gefordert.

Die Formgebung kann auf zweierlei Art erfolgen:

a) Mit Hilfe von Werkzeugen werden vom Werkstück *Späne abgehoben*, bis es die gewünschte Form hat. So gibt es beim Hobeln Späne, ebenso beim Sägen, Feilen und Bohren, beim Drehen, Meißeln, Fräsen und Schleifen. Man nennt diese Art der Bearbeitung **spanabhebende Formung**.

**Bei der spanabhebenden Formung wird ein Körper geformt, indem man Späne fortnimmt.**

b) Werkstoffe, die plastisch sind oder es durch Erwärmung werden, kann man *ohne Spanabhebung formen*. Das Kneten von Knetmasse ist eine einfache Art dieser Formung. Man nennt sie **spanlose Formung**. Dabei gibt es keinen Abfall. Arbeitstechniken der spanlosen Formung sind Biegen, Pressen, Schmieden, Walzen und Gießen.

**Bei der spanlosen Formung wird ein Körper geformt, indem man die plastische Eigenschaft des Werkstoffes ausnutzt.**

**3. Spanlose Formung.** Bei der spanlosen Formung kann man fünf Grundtechniken unterscheiden, durch die ein Werkstück geformt wird:

- a) das *Biegen* (Pressen, Stanzen);
- b) das *Drücken* (Hämmern, Schmieden, Walzen);
- c) das *Ziehen*;
- d) das *Abscheren* (Scheren, Lochen);
- e) das *Gießen* (vgl. Abschnitt 17).

a) **Das Biegen.** Rohre, Stäbe und Bleche werden häufig gebogen. Man erwärmt sie an der Biegungsstelle, damit das Material nicht reißt. Zähle Stoffe, wie Blei, kann man auch kalt biegen.

In der Industrie werden meist viele Stücke mit der gleichen Form benötigt. Man verwendet dazu Maschinen (Abb. 49/1), in der die Werkstücke durch *Pressen* geformt werden, sogenannte Formpressen. Auf diese Weise stellt man Kotflügel, Motorhauben und andere Teile von Kraftfahrzeugen her.



Abb. 49/1. Presse zum Formen von Karosserieteilen



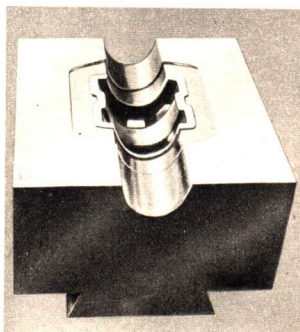
Abb. 50/1. Pressen von Tassen aus Plast

Abb. 50/2. Gesenk a) Untergesenk  
b) Obergesenk c) fertiges Werkstück

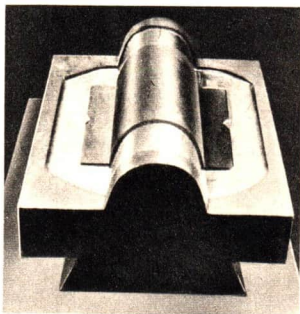
Auch Plaste werden gepreßt. Sie müssen dazu erwärmt werden. Die Abbildung 50/1 zeigt eine Presse zur Herstellung von Tassen. Auf gleiche Art werden viele Gebrauchsgegenstände und technische Geräte aus Plasten angefertigt.

Preßglas wird hergestellt, indem man die erhitzte Glasmasse in eine Form drückt. So fertigt man beispielsweise Biergläser, Aschenbecher oder Glasbausteine an.

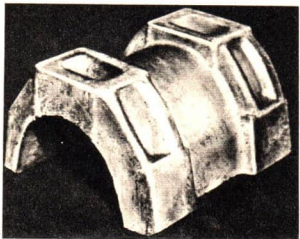
b) **Das Drücken.** Die Verformung durch Druck wird von alters her beim *Schmieden* angewendet. Der herabfallende Hammer formt das glühende Werkstück. In der Industrie verwendet man *Schmiedepressen*, um den Menschen die schwere körperliche Arbeit



a



b



c



zu erleichtern. Eine Schmiedepresse streckt oder staucht mächtige glühende Stahlblöcke. Wenn viele gleichartige Werkstücke aus Stahl gebraucht werden, schmiedet man sie im *Gesenk* (Abb. 50/2). Das ist eine Hohlform, in die der glühende Stahl hineingeschlagen wird.

Das Werkstück muß zum Drücken nicht unbedingt erwärmt werden. Kupferne Gegenstände kann man auch durch *Hämmern* in kaltem Zustand verformen. Man nennt diese Arbeitstechnik *Treiben*.

Eine Verformung durch Druck ist auch das *Walzen*. Auf der *Walzstraße* (Abb. 51/1) werden glühende Stahlblöcke mehrmals durch Walzen geleitet. Bei jedem Arbeitsgang wird der Abstand der Walzen geringer, bis schließlich das Walzgut die gewünschte Dicke hat. Auch Schienen, Träger, Stahlstäbe und dicke Drähte werden so hergestellt.

In der Glasindustrie stellt man Flachglas für Fenster und Spiegel im Walzverfahren her (vgl. Abb. 46/1).

c) *Ziehen*. Dünne Drähte kann man nicht mehr walzen, sie werden durch *Ziehen* gefertigt. Dabei wird der Draht in kaltem Zustand durch ein Loch des Ziehseisens geführt, das sich in der Richtung verengt, in der der Draht gezogen wird (Abb. 51/2). Beim Ziehen wird er dünner und länger, aber auch härter und spröder.

Rohre werden ebenfalls im Ziehverfahren aus glühenden Blechstreifen hergestellt.

d) *Das Schneiden*. Während bei den bisher genannten Arbeitstechniken die Menge der Stoffe gleich blieb und nur eine andere Form erhielt, werden bei den

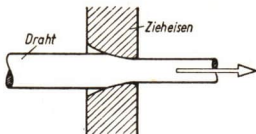


Abb. 51/2. Ziehseisen mit Draht im Schnitt

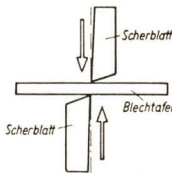


Abb. 51/3. Schneiden

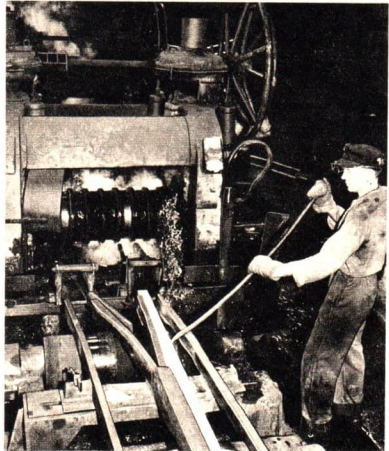


Abb. 51/1. Walzstraße

folgenden Verfahren Teile des bearbeiteten Körpers entfernt. Trotzdem zählen diese Verfahren zur spanlosen Formgebung.

Beim *Schneiden* werden Teile von Blechtafeln oder von Stäben durch die Scherblätter abgeschnitten (Abb. 51/3). Der Vorgang ist der gleiche wie beim Schneiden von Papier mit



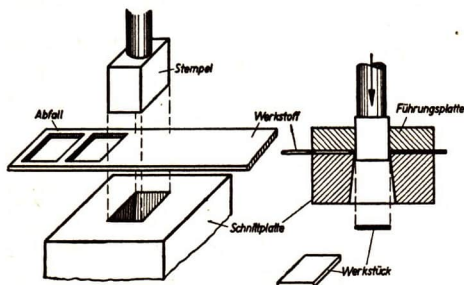


Abb. 52/1. Lochen

der Schere. In der Industrie arbeitet man mit *Maschinenscheren*, bei denen ein Scherblatt feststeht.

Werden bestimmte Formen von Blechstücken in großer Zahl benötigt, dann wendet man das *Lochen* an. Das ist derselbe Vorgang wie das Ausstechen von Plätzchen aus Kuchenteig. Die Schneidekanten der Werkzeuge haben die Form des Werkstücks,

zum Beispiel eines Rechtecks. Durch Schlag oder Druck werden sie in den Werkstoff getrieben und schneiden das Werkstück heraus (Abb. 52/1). In ähnlicher Weise werden auch Löcher und andere Öffnungen in flache Werkstücke geschlagen. Bei Handarbeit nimmt man dazu das Locheisen und den Hammer, in der Industrie werden Pressen benutzt.

#### 4. Fragen und Aufgaben:

1. Nenne Verfahren der spanabhebenden Formung!
2. Nenne die wichtigsten Arten der spanlosen Formung und die dazu verwendeten Maschinen und Werkzeuge!
3. Führe folgende Tätigkeiten aus und gib an, welche Art der spanlosen Formung du anwendest!
  - a) Biege ein Stück Eisenblech über eine Kante!
  - b) Lege einen Nagel auf eine stählerne Unterlage und klopfe ihn flach!
  - c) Rolle Knetmasse mit einem runden Holz flach!
  - d) Schneide mit einer Schere ein Stück Pappe ab!
  - e) Schlage mit dem Locheisen Löcher in eine Pappe!
  - f) Drücke eine Münze in einen Knetmasseklumpen!

**5. Bearbeiten von Glas.** Körper aus Glas werden als Arbeitsmaterial häufig im Unterricht verwendet. Da sich Glas in erwärmtem Zustand leicht formen läßt, kann man es selbst formen. In erster Linie werden Röhren bearbeitet.

**a) Verhalten im Arbeitsraum.** Im Werkunterricht müssen alle Schüler bestimmte Verhaltensregeln beachten, damit Unfälle vermieden werden. Auch bei Versuchen und bei Arbeiten mit Glas müssen ähnliche Regeln beachtet werden, damit sich niemand verletzt.

1. Halte Ordnung im Arbeitsraum und am Arbeitsplatz!
2. Behandle alle Geräte sorgsam! Sie sind Volkseigentum. Melde alle Beschädigungen und Verluste unverzüglich dem Lehrer!
3. Verhalte dich diszipliniert! Beachte die Anweisungen des Lehrers!
4. Führe die Arbeiten ruhig und ohne Hast durch!

5. Stelle den Brenner in angemessener Entfernung auf! Du mußt gut mit ihm arbeiten können, die Flamme darf aber Körperteile und Kleidung nicht erreichen!
6. Stelle den Brenner auf die kleinste Flamme und rücke ihn außerhalb des Arbeitsbereiches, wenn du ihn nicht brauchst! Lösche die Flamme bei längeren Arbeitspausen!
7. Lege erhitzte Glasteile so ab, daß du sie nicht mit unbearbeiteten verwechseln kannst und versehentlich anfäßt!
8. Wende beim Arbeiten keine Gewalt an!
9. Merke dir, wo sich Feuerlöschgeräte und der Kasten für die „Erste Hilfe“ befinden!
10. Melde Verletzungen sofort dem Lehrer, auch wenn sie geringfügig erscheinen!

b) **Schneiden von Glasscheiben.** Zum Schneiden von Glasscheiben benutzt man einen *Glasschneider*, an dessen Ende ein *Diamantsplitter* oder ein *Rädchen* aus gehärtetem Stahl befestigt ist (Abb. 53/1). Der Glasschneider wird an einem Lineal oder an einer Leiste entlanggeführt, die auf der Glasscheibe aufliegt. Dabei ritzt der Diamant beziehungsweise das

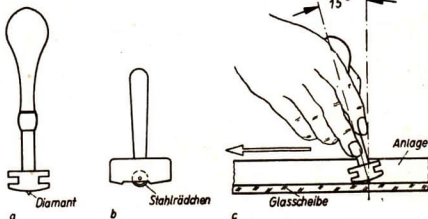


Abb. 53/1. Glasschneider

Rädchen die Scheibe. Beim Arbeiten mit dem Glasschneider muß ein genügend großer Druck ausgeübt werden, damit der Schneider in das Glas eindringt. Daher ist es notwendig, daß die Glasplatte auf ihrer ganzen Länge flach aufliegt. Das Ritzen ruft ein singendes Geräusch hervor, wenn der Glasschneider richtig angesetzt ist. Nachdem die gewünschte Trennlinie in ihrer ganzen Länge angeschnitten ist, wird die Glasplatte bis zum Schnitt über eine gerade Kante der Unterlage hinausgeschoben und durch leichten Druck nach unten am Schnitt abgebrochen.

c) **Schneiden von Glasröhren.** Glasröhren werden mit einer harten Eisenfeile geschnitten. Am besten eignet sich eine Dreikantfeile, wie sie zum Schlüsselfeilen verwendet wird (Abb. 53/2). Aber auch die Kante jeder anderen Feile oder einer medizinischen Ampullenfeile ritzt das Glas. Die Röhre wird hierbei gedreht, so daß sie rundherum geritzt wird. Dann wird sie mit leichtem Druck abgebrochen.

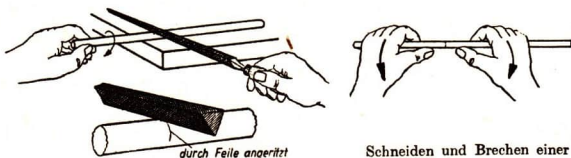


Abb. 53/2  
Schneiden und Brechen einer Glasröhre

d) **Rundschmelzen von Glasröhren.** Die Enden abgeschnittener Röhren haben scharfe Kanten. Man kann sich leicht an ihnen verletzen. Sie müssen daher gerundet werden. Man hält das Röhrende eine Zeit in die Flamme und dreht es dabei. Dann schmelzen die Kanten rund.

e) **Ziehen von Glasröhren.** Mitunter braucht man für Übungen ein Glasrohr mit kleiner, düsenförmiger Öffnung. Man stellt es her, indem man eine Glasröhre auszieht. Zu diesem Zweck wird die Röhre an der Stelle, an der wir die Düse haben wollen, in die Spitze der Flamme gehalten. Die Spitze ist nämlich der heißeste Teil der Flamme, während das Innere der Flamme kühler ist. Das Glasrohr muß beim Erwärmen ständig gedreht werden, damit es von allen Seiten gleichmäßig erwärmt wird. Nach einiger Zeit wird das Glas weich. Nun kann man das Glasrohr auseinanderziehen (Abb. 54/1a). Dabei wird es in der Flamme ständig gedreht. Entweder zieht man das Glasrohr so weit auseinander, bis die dünnste Stelle die benötigte Dicke hat, oder bis das Glas reißt. Mit einer Feile wird die Röhre dann dort abgeschnitten, wo die Öffnung die erforderliche Weite hat (Abb. 54/1b).

f) **Biegen von Röhren.** Zum Biegen hält man die Röhre wie beim Ziehen in die Spitze der Flamme. Dabei wird sie ständig gedreht. Sobald das Glas weich wird, biegt man die Röhre, wobei ein leichter Zug ausgeübt wird. Um eine gleichmäßige Biegung zu erhalten, muß ein genügend großer Teil der Röhre gleichmäßig erhitzt werden (Abb. 54/2a). Ist der erwärmte Teil nicht groß genug, so knickt sie ein, wie es Abb. 54/2b zeigt. Wird andererseits die Röhre zu tief in die Flamme gehalten, dann wird sie durch den heißen Mantel der Flamme an zwei Stellen besonders stark erhitzt, während der dazwischen liegende Teil durch das Flammeninnere nur weniger erwärmt wird. Beim Biegen der Röhre ergeben sich dann zwei Knickstellen wie in Abb. 54/2c. Das Biegen einer Glasröhre ist um so schwieriger, je weiter sie ist. Eine weite Röhre knickt leichter ein als eine enge.

g) **Zuschmelzen von Röhren.** Soll eine Röhre zugeschmolzen werden, dann dreht man das Ende in der Flamme, bis es sich schließt. Notfalls hilft man mit einem unbrennbaren Stäbchen nach.



Abb. 54/1. Ziehen von Glasröhren  
a) gezogene und  
b) abgeschnittene Röhre

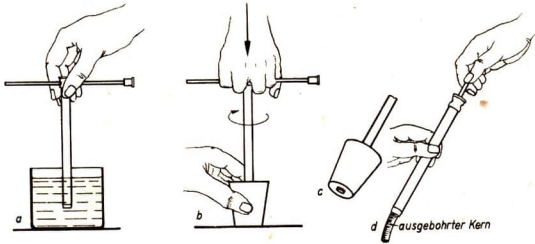


Abb. 54/2. Biegen von Röhren  
a) richtig gebogene Röhre  
b) eingeknickte Röhre  
c) Röhre mit zwei Knickstellen

6. **Arbeiten mit dem Korkbohrer.** Kork- oder Gummistopfen müssen zum Durchführen von Röhren oft einmal oder mehrmals durchbohrt werden. Dazu verwendet man *Korkbohrer*. Das eine Ende eines Stahlrohres ist zu einer Schneide geschliffen, am anderen ist ein Griff zur besseren Handhabung befestigt. Solche Rohre unterschiedlicher Weite bilden einen *Korkbohrersatz*. Sie werden zur Aufbewahrung ineinandergesteckt.

Vor dem Bohren benetzt man den Korkbohrer mit einer öligen Flüssigkeit, damit er besser gleitet (Abb. 55/1a). Dann setzt man ihn oben auf den Stopfen und drückt ihn mit einer drehenden Bewegung hinein, bis er an der Unterseite wieder erscheint (Abb. 55/1b und 1c). Der Stopfen wird dabei seitlich und nicht von unten

Abb. 55/1  
Handhabung  
des Kork-  
bohrers



gehalten, um Verletzungen zu vermeiden. Den Bohrkern stößt man mit einem Metallstab aus dem Bohrer (Abb. 55/1d).

Auch beim Einführen einer Glasröhre in den durchbohrten Stopfen kann man sich verletzen. Die Röhre wird daher vorher ebenfalls mit einer öligen Flüssigkeit angefeuchtet, damit sie besser gleitet. Dann faßt man sie dicht am Stopfen und drückt sie mit einer drehenden Bewegung in die Öffnung. Die Hände werden dabei mit einem Tuch geschützt. Beim Aufziehen von Schläuchen auf Glasröhren wird ähnlich verfahren.

Beim Arbeiten mit Glas und mit dem Korkbohrer bestehen gewisse Unfallgefahren. Wenn man aber sorgfältig arbeitet und die Regeln beachtet, werden Verletzungen und Unfälle vermieden. Das gilt für alle Versuche und Übungen.

#### 7. Fragen:

1. Welche Arten der Formung hast du bei den Arbeiten mit Glas angewendet?
2. Um welche Art der Formung handelt es sich beim Korkbohren?

### 7. Flüssigkeiten ändern ihre Form

**1. Die Oberfläche einer Flüssigkeit.** Die Oberfläche einer ruhenden Flüssigkeit erscheint stets eben und waagrecht. Es gibt weder Vertiefungen noch Erhebungen. Das gilt für einen Teich oder See bei Windstille genauso wie für ein Gefäß mit Wasser. Ändert man die Lage des Gefäßes und neigt es seitlich, so bleibt die Oberfläche trotzdem immer waagrecht.

Die Ursache für die stets *waagerechte Lage der Oberfläche* ist die Beweglichkeit der kleinsten Wasserteilchen. Wird ein Gefäß mit Flüssigkeit gefüllt, dann gleiten die Wasserteilchen in alle Vertiefungen und füllen sie so lange aus, bis alle Teilchen die tiefstmögliche Lage erreicht haben. Die Teilchen der obersten Schicht liegen dann in einer waagerechten Ebene.

Wir können uns das Verhalten der Teilchen einer Flüssigkeit veranschaulichen, indem wir ein weites Becherglas mit trockenem Sand, Schrotkugeln oder Erbsen füllen. Klopfen wir ein paarmal leicht gegen das Gefäß, so bewegen sich die Teilchen nach den tiefsten Stellen. Man erhält jedoch keine völlig waagerechte Oberfläche,



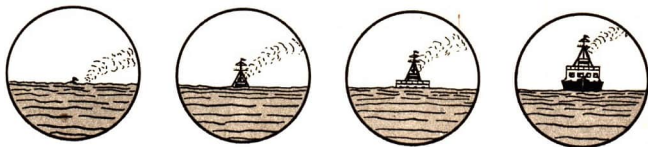


Abb. 56/1. Ein Schiff taucht hinter dem Horizont auf



Abb. 56/2. Die Krümmung der Meeresoberfläche im Schnitt

wie dies bei Wasser der Fall ist. Die Sandkörnchen, die Erbsen und die Kugeln sind nicht beweglich genug.

Auch die Meeresoberfläche erscheint waagrecht. Wer aber einmal an der Küste das Herankommen eines Dampfers beobachtet hat, der sah zuerst nur den Rauch des Schiffes. Dann tauchten die Mastspitzen auf, der Schornstein, die Deckaufbauten, bis schließlich der Rumpf sichtbar wurde (Abb. 56/1). Diese Beobachtung beweist, daß die Oberfläche ausgedehnter Flüssigkeitsmengen, wie Meere und große Seen, nicht eben ist. Die Erde ist angenähert eine Kugel. Die Meeresoberfläche paßt sich ihrer Krümmung an (Abb. 56/2). Das kann man auch am Globus erkennen, der ja eine verkleinerte Abbildung der Erde ist.

Taucht man eine Glasröhre ins Meer, so ist die Oberfläche im Innern der Röhre nur ein Ausschnitt aus der Oberfläche des Meeres. Somit ist auch die Oberfläche des Wassers im Innern der Röhre gekrümmt. Die Krümmung ist aber so gering, daß man sie nicht feststellen kann. Das gilt allgemein für die Oberfläche kleiner Wassermengen. Solche Oberflächen sind daher praktisch eben.

**Kleine Oberflächen von Flüssigkeiten bilden eine waagrechte Ebene. Die Meeresoberfläche ist gekrümmt.**

## 2. Verbundene Gefäße. Die

Abb. 56/3 zeigt eine gefüllte Teekanne aus Jenaer Glas. Der Tee hat in der Kanne und im Ausgießer die gleiche Höhe. Die Flüssigkeit in der Kanne und im Ausgießer stehen unter der Flüssigkeitsoberfläche miteinander in Verbindung. Man

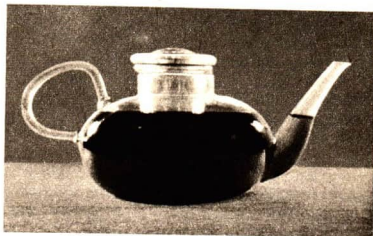


Abb. 56/3. Teekanne aus Jenaer Glas



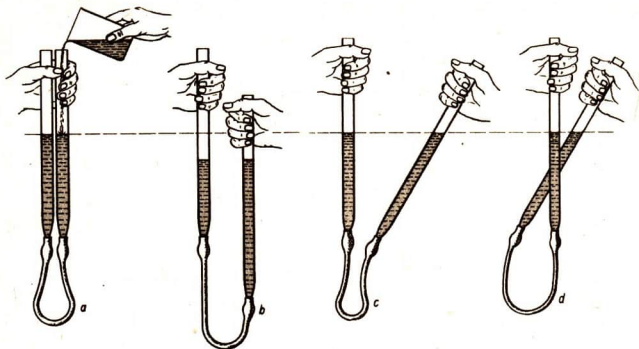


Abb. 57/1. Zwei Glasröhren als verbundene Gefäße

nennt Gefäße, die unter der Flüssigkeitsoberfläche miteinander in Verbindung stehen, **verbundene Gefäße**. Die Form und die Anzahl der Gefäße spielt dabei keine Rolle. Immer steht in ihnen die Flüssigkeit gleich hoch.

**In verbundenen Gefäßen liegt die Flüssigkeitsoberfläche in einer waagerechten Ebene.**

Ein einfacher Versuch zeigt die Richtigkeit dieses physikalischen Gesetzes. Zwei weite Glasröhren werden durch einen Schlauch miteinander verbunden. In die eine Röhre wird Wasser gefüllt (Abb. 57/1). Das Wasser fließt durch den Schlauch in die zweite Röhre, bis der Wasserspiegel in beiden Röhren gleich hoch steht. Man kann nun die Röhren parallel zueinander verschieben, man kann sie voneinander oder zueinander neigen, stets bleiben die Wasserspiegel in einer waagerechten Ebene. Wie weit darf die Neigung oder Verschiebung im höchsten Falle gehen?

Die Abbildungen 57/2 bis 59/1 zeigen einige verbundene Gefäße. Wie die Gießkanne (Abb. 57/2) sind auch die Kaffeekanne und alle anderen Kannen verbundene Gefäße (vgl. Abb. 56/3).

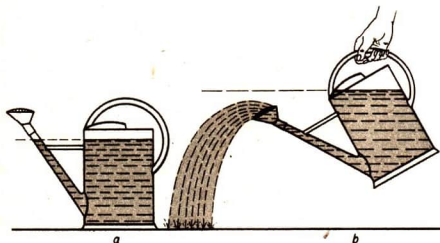


Abb. 57/2. Gießkanne im Schnitt

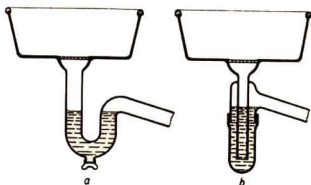


Abb. 58/1. Geruchverschluß am Ausguß  
im Schnitt

a) Knieform b) Zylinderform



Abb. 58/2  
Geruchverschluß  
am Wasserklosett  
im Schnitt

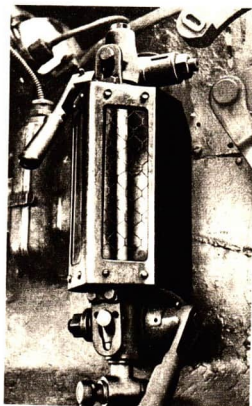


Abb. 58/3. Wasserstandsglas am  
Dampfkessel einer Lokomotive

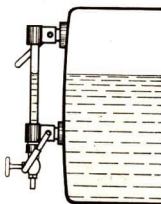


Abb. 58/4. Kessel  
und Wasserstandsglas  
im Schnitt

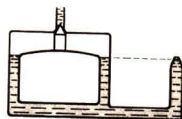


Abb. 58/5. Vergaser im Schnitt (schematisch)

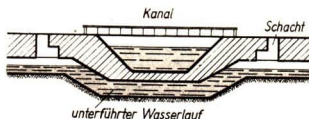


Abb. 58/6. Düker einer Abwässerleitung

**3. Kanalwaage und Wasserwaage.** Bei der Anlage von Entwässerungsgräben, bei Ausschachtungsarbeiten im Hausbau, bei der Verlegung von Wasserleitungsrohren u. a. muß man kontrollieren, ob eine Strecke waagrecht ist. Dafür benutzt man eine *Kanalwaage* (Abb. 59/1). Sie besteht aus zwei weiten Glasröhren, die durch ein enges Rohr, den *Kanal*, verbunden sind. Das Gerät ist auf einem Stativ befestigt. Die Glasröhren sind etwa bis zur Hälfte mit Wasser gefüllt. Durch Visieren über beide Flüssigkeitsspiegel wird die Waagrechte festgelegt.

*Mit der Kanalwaage wird eine waagrechte Gerade festgelegt.*

Ein sehr häufig verwendetes Gerät zum Festlegen einer Waagrechten ist die *Wasserwaage*. Der Maurer, der Zimmermann, der Ofensetzer und die Facharbeiter anderer Berufe verwenden sie bei ihrer Arbeit.

Der wichtigste Teil der Wasserwaage ist die *Röhrenlibelle* (Abb. 59/2). Diese ist ein leicht gebogenes Glasröhrchen mit einer Länge von einigen Zentimetern. Beide Enden sind verschlossen. Das Innere ist bis auf eine kleine Luftblase mit Wasser oder Alkohol gefüllt. Am mittleren Teil des Glasröhrchens sind Strichmarken angebracht. Liegt die Unterkante der Wasserwaage in der Waagrechten, so steht das Bläschen genau zwischen den beiden Strichen.

*Mit der Wasserwaage kann eine waagrechte Gerade festgelegt werden.*

Um zu prüfen, ob eine Ebene waagrecht ist, genügt ein Anlegen nicht. Durch das einmalige Anlegen stellt man

nur fest, ob die Ebene in einer Richtung waagrecht ist (Abb. 59/3a). Man muß daher mindestens zweimal prüfen, wobei die Wasserwaage bei der zweiten Messung um  $90^\circ$  gedreht wird (Abb. 59/3b). Um Meßfehler weitgehend zu vermeiden, sollte man jedes Anlegen zweimal durchführen, wobei die Wasserwaage jeweils um  $180^\circ$  gedreht wird (Abb. 59/3c und d).

Im allgemeinen haben die Wasserwaagen noch eine zweite Libelle. Sie ist an dem einen Ende der Holzleiste eingelassen und steht senkrecht zur Längskante. Mit Hilfe dieser Libelle wird die Lotrechte überprüft (Abb. 60/1).

*Mit der Wasserwaage kann auch eine senkrechte Gerade festgelegt werden.*

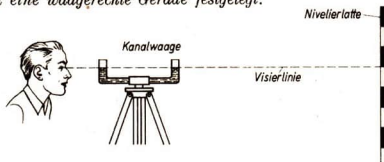


Abb. 59/1  
Kanalwaage

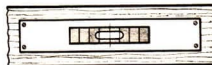


Abb. 59/2  
Röhrenlibelle

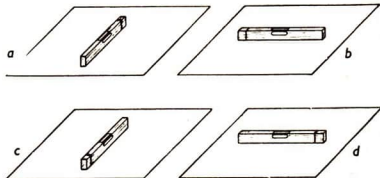


Abb. 59/3. Prüfen einer waagrechten Ebene

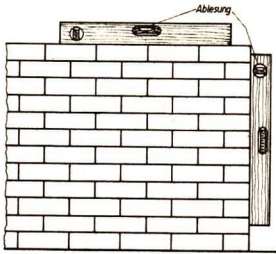


Abb. 60/1. Anwendung der Wasserwaage

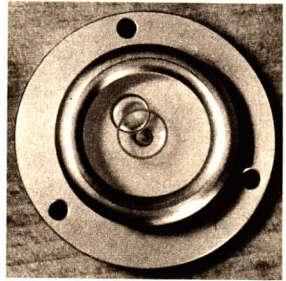


Abb. 60/2. Dosenlibelle

Eine besondere Form der Wasserwaage ist die *Dosenlibelle* (Abb. 60/2). Sie ist ein Schälchen mit einem leicht gewölbten Glasdeckel, in dessen Mitte ein Kreis markiert ist. Das Luftbläschen ist rund. Befindet es sich genau innerhalb des Kreises, so liegt die Dosenlibelle auf einer waagerechten Ebene.

Mit Hilfe der Dosenlibelle kann die Lage einer Ebene gleichzeitig nach allen Richtungen kontrolliert werden. Man verwendet sie an Geräten, bei denen eine waagerechte Ebene eingehalten werden muß, zum Beispiel bei Waagen für besonders genaue Messungen. Steht eine Waage nicht waagerecht, so zeigt sie die Stoffmenge nicht richtig an.

*Mit Hilfe der Dosenlibelle wird eine waagerechte Ebene festgelegt.*

4. **Schleusen.** Flüsse werden oft durch ein Wehr angestaut. Das geschieht dann, wenn der Fluß ein zu großes Gefälle hat und infolgedessen zu stark strömt, oder wenn die Tiefe der Fahrrinne durch das angestaute Wasser vergrößert werden soll.

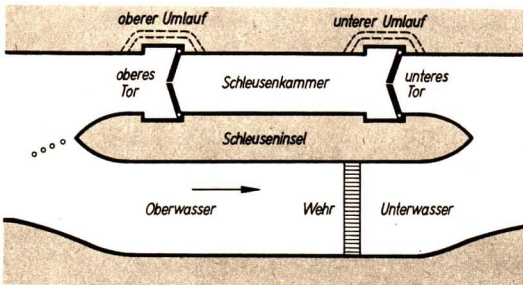


Abb. 60/3  
Staustufe  
mit Schleuse

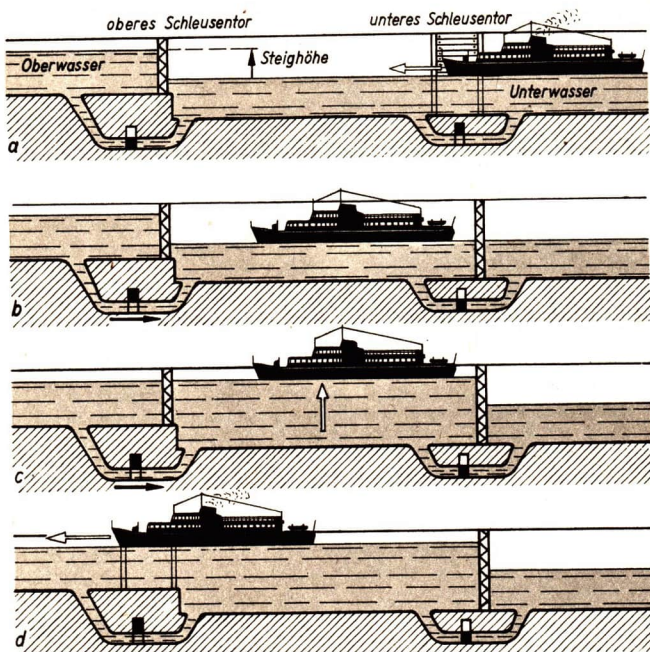


Abb. 61/1. Bergfahrt eines Schiffes

Man errichtet daher *Staustrufen* dort, wo die Schiffbarkeit eines Flusses erreicht oder verbessert werden soll. Damit die Schiffe an dem Wehr vorbeifahren können, baut man *Schleusen* (Abb. 60/3). Auch die Schleusen sind verbundene Gefäße.

*Durch eine Schleuse können Schiffe Höhenunterschiede überwinden.*

Jede Schleuse besitzt eine *Schleusenammer*, die durch *Schleusentore* gegen das *Oberwasser* und gegen das *Unterwasser* abgeschlossen sind. Zwischen der Schleusenammer und dem Ober- beziehungsweise dem Unterwasser sind *Umlaufkanäle* angelegt. Durch sie strömt das Wasser in die Schleusenammer oder aus ihr heraus. Mit *Schiebern* können sie dicht verschlossen werden. Die Abbildung 61/1 zeigt, wie ein Schiff flußaufwärts oder, wie der Schiffer sagt, in *Bergfahrt* die Schleuse passiert.



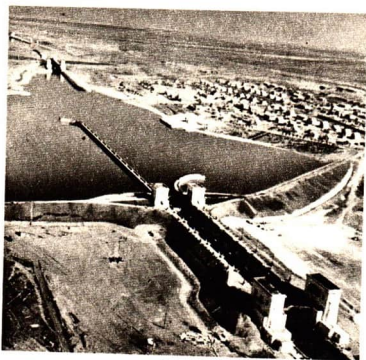


Abb. 62/1  
Lenin-Wolga-Don-Kanal

Die Größe der Schleuse ist von dem Höhenunterschied zwischen Oberwasser und Unterwasser und von der Größe der Schiffe abhängig, die durchgeschleust werden sollen. Kann der Höhenunterschied mit einer einzigen Schleuse nicht überwunden werden, so sind mehrere Schleusen zu einer *Schleusentreppe* vereinigt. Mit Hilfe einer Schleusentreppe kann ein Kanal sogar einen Höhenrücken überwinden. Schleusentreppen sind häufig auch dann notwendig, wenn der Kanal Flüsse mit verschiedenen

hohem Wasserspiegel verbindet. Eine großartige Leistung beim Bau eines solchen Kanals haben sowjetische Ingenieure und Arbeiter vollbracht. Sie bauten den 100 km langen *Lenin-Wolga-Don-Kanal* (Abb. 62/1). Er überwindet einen Höhenzug, der 44 m über dem Don und 88 m über der Wolga liegt. Dazu errichtete man auf der Don-Seite vier Schleusen, auf der Wolga-Seite neun (Abb. 62/2). Das Wasser wird aus einem Stausee auf die Höhe des Kanalscheitels gepumpt.

An Stelle der Schleusentreppen können auch *Schiffshebwerke* zur Überwindung von Höhenunterschieden an Kanälen und Flüssen gebaut werden. Eines der bekanntesten Schiffshebwerke ist das von Niederfinow am Oder-Havel-Kanal.

### 5. Fragen und Aufgaben:

1. Warum sieht man auf dem Meer zuerst nur die Rauchfahne eines Schiffes, dann den Schornstein und schließlich den Rumpf?
2. Zeichne eine Kaffeekanne im Schnitt  
a) stehend, b) beim Ausgießen!
3. Verbinde zwei Trichter mit einem Schlauch und führe die Versuche nach Abbildung 57/1 durch!
4. In der Nähe eines Teiches wird ein Loch gegraben. In einer bestimmten Tiefe sammelt sich Grundwasser an. Wie ist es zu erklären, daß die Wasseroberflächen im Loch und im Teich gleich hoch stehen?

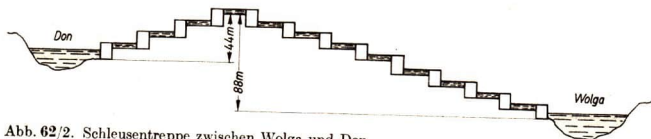


Abb. 62/2. Schleusentreppe zwischen Wolga und Don

5. Nenne Beispiele für verbundene Gefäße!
6. Erläutere den Gebrauch der Kanalwaage!
7. Prüfe die waagerechte Lage einer Tischplatte!
8. Prüfe die senkrechte Lage einer Mauer!
9. Warum ist eine Schleuse ein System verbundener Gefäße? Welchem Zweck dient sie?
10. Beschreibe die Durchfahrt eines Schiffes durch eine Schleuse a) in Talfahrt, b) in Bergfahrt!

## 8. Wasserversorgung

**1. Die Verwendung des Wassers.** Pflanzen, Tiere und Menschen brauchen das Wasser zum Leben. Menschen und Tiere nehmen das Wasser als Getränk oder als Bestandteil der Nahrungsmittel auf. Der Mensch benötigt etwa 2,5 l bis 3 l Wasser am Tag, das Schaf 1,5 l bis 3 l, das Pferd 20 l bis 30 l, die Kuh 30 l bis 55 l. Diese Zahlen sind nur Mittelwerte. Je nach dem Wetter, der Arbeit oder anderen Umständen können sie sich ändern. Die Pflanze benötigt das Wasser zum Wachstum. Sie entzieht es dem Boden.

Einen sehr großen Wasserbedarf hat die Industrie. Man bezeichnet das Wasser, das in der Industrie verwendet wird, als *Brauchwasser*. Schon vor Jahrhunderten wurden Mühlen und Pochhämmer durch Wasserkraft betrieben. Heute dient das Wasser als *Antriebsmittel* für die Turbinen der Kraftwerke. Daneben wird es aber auch als *Speisewasser* für Dampferzeugungsanlagen und für die Dampfkessel von Lokomotiven, als *Kühlmittel*, um zum Beispiel Dampf abzukühlen, und als *Lösungsmittel* zum Auflösen von Salzen verwendet. Die chemische Industrie braucht es auch als Rohstoff für die Gewinnung neuer Stoffe. Dieses Wasser muß besonders rein sein.

Im Haushalt wird das Wasser für die verschiedensten Zwecke verwendet, zur Zubereitung von Speisen und zur Reinigung.

Weiterhin ist das Wasser von großer Bedeutung für das *Löschen* von Bränden. Schließlich dient es als *Transportmittel*. Holz wird auf ihm gefloßt, Kähne und Schleppzüge ziehen über Flüsse und Kanäle, Segler gleiten über Seen, Dampfer fahren über das Meer.

*Das Wasser wird als Trinkwasser, als Brauchwasser für Industrie, Landwirtschaft und Haushalt, als Rohstoff für die Industrie, als Löschmittel und als Transportmittel genutzt (Abb. 64/1).*

**2. Die Gewinnung des Wassers.** Je nach dem Verwendungszweck muß das Wasser bestimmte Eigenschaften haben. Trinkwasser muß möglichst rein sein, damit es keine Krankheiten überträgt. Wasser für die Kessel von Dampfmaschinen und Lokomotiven muß frei von Zusätzen sein, die den Kesselstein bilden. Kesselstein setzt sich auch in jedem Wassertopf in der Küche ab. Er beeinträchtigt die Übertragung der Wärme auf das Wasser. Wasser als Rohstoff muß ebenfalls möglichst rein sein; denn Verunreinigungen und Zusätze würden es für diesen Zweck unbrauchbar machen. Je nach den Erfordernissen wird es in den Betrieben vor der Verwendung *aufbereitet*, das heißt von allen unerwünschten Zusätzen *gereinigt*.

In vielen Fällen wäre es am einfachsten, das Wasser aus *Flüssen* oder *Seen* zu entnehmen. Leider ist dieses Wasser meist nicht als Trinkwasser und häufig auch nicht

# Wasser

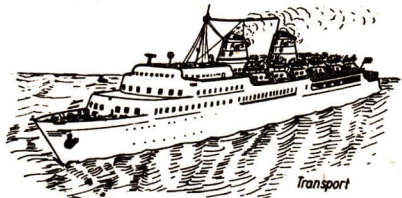
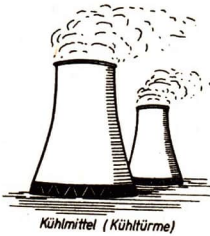
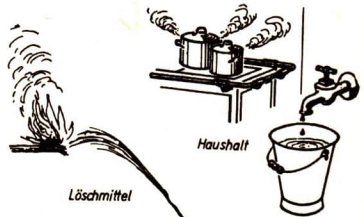
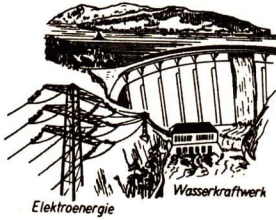


Abb. 64/1. Nutzung des Wassers

als Industrierwasser geeignet. Es enthält oft zahlreiche Krankheitskeime und andere Verunreinigungen. Das Fluß- beziehungsweise Seewasser muß durch *Filteranlagen* gereinigt werden. Da diese Reinigung jedoch nicht immer möglich ist, gewinnt man auch für größere Städte das Wasser aus *Quellen*, aus dem *Grundwasser* oder aus *Talsperren*.

*Quellwasser* ist im allgemeinen frei von gesundheitsschädlichen Stoffen. Es kann meist ohne besondere Reinigung als Trinkwasser verwendet werden. Seine Brauchbarkeit für die Industrie hängt von den Zusätzen ab, die es bereits in der Erde aufgenommen hat. Wasser in Kalkböden enthält zum Beispiel Stoffe, die den *Kesselstein* bilden. Soll dieses Wasser für Dampfmaschinen verwendet werden, so müssen diese Stoffe vorher entfernt werden. Bestimmte Zusätze verleihen dem Wasser eine heilkräftige Wirkung. Solche Quellen nennt man *Heilquellen*. Wasserreiche Quellen, die zur Versorgung eines größeren Ortes ausreichen, finden sich meist nur in Gebirgsgegenden.

Das *Grundwasser* sammelt sich unter der Erdoberfläche, vor allem in Sand- oder Kiesschichten. Auch in diesen Schichten fließt das Wasser ständig. Dabei halten die Sandkörnchen Verunreinigungen zurück, der Sand wirkt als Filter. Auch Krankheitskeime und andere gesundheitsschädliche Stoffe werden dadurch aufgefangen. Das Grundwasser kann aus diesem Grunde meist sofort als Trinkwasser verwendet werden. Es wird aus *Tiefbrunnen* gefördert. Die Grundwasservorräte sind oft sehr ergiebig, besonders im Gebiet der Urstromtäler.

Größere Industriestädte gewinnen ihr Wasser auch aus *Talsperren*, beispielsweise Dresden, Karl-Marx-Stadt und Plauen. Die Sperren werden in abgelegenen Gebirgstälern angelegt, die sich an einer Stelle gut durch eine Staumauer abschließen lassen (Abb. 65/1). In diese Stauseen führen die Quellen, Bäche und Flüsse das Wasser aus dem umliegenden Gebiet. Im Frühjahr, zur Zeit der Schneeschmelze, und in regenreichen Monaten steigt der Wasserspiegel schnell an.

*Wasser gewinnt man aus Quellen, aus dem Grundwasser und aus Flüssen, Seen sowie Talsperren.*

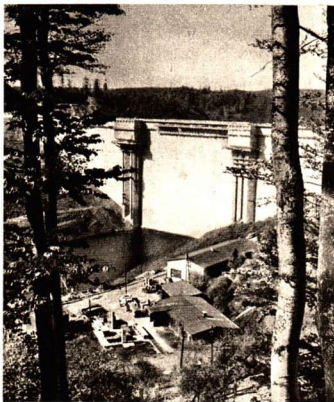
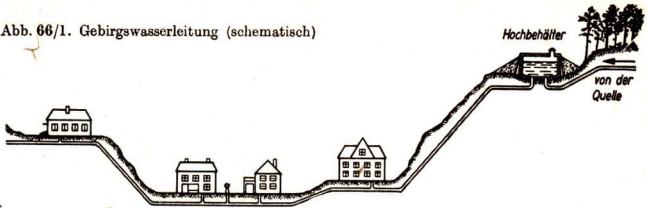


Abb. 65/1. Rappbodesperre im Harz zu Beginn des Füllens. Fassungsvermögen etwa 150 Millionen Kubikmeter

**3. Wasserleitungen. a) Gebirgswasserleitung.** Zur zentralen Versorgung von Haushalten und Industriebetrieben mit Wasser werden *Wasserleitungen* gebaut. Sie wirken nach dem Gesetz der verbundenen Gefäße. Sehr einfach ist die Anlage von



Abb. 66/1. Gebirgswasserleitung (schematisch)



*Wasserleitungen im Gebirge* (Abb. 66/1). Aus einer oder mehreren Quellen fließt das Wasser in Röhren in ein Sammelbecken, den *Hochbehälter*. Von dort führen Rohrleitungen talwärts zu den einzelnen Häusern und steigen in die verschiedenen Stockwerke empor. Die Leitung am gegenüberliegenden Hang kann fast bis in die Höhe des Behälters geführt werden. Nach dem Gesetz der verbundenen Gefäße müßte das Wasser sogar genau bis zur Höhe des Wasserspiegels im Behälter steigen. Infolge der Reibung des strömenden Wassers an den Rohrwänden erreicht man diese Höhe aber nicht.

b) **Wasserleitung im Flachland.** Da im Flachland die Anlage eines Hochbehälters auf einer natürlichen Erhöhung im allgemeinen nicht möglich ist, baut man *Wassertürme*. In ihrem oberen Teil ist der Hochbehälter untergebracht. Diese Wassertürme müssen höher sein als jedes Haus der Stadt. Von hier aus führen Leitungen zu allen Gebäuden. Die Abbildung 66/2 läßt erkennen, daß auch die Wasserleitung im Flachland ein System verbundener Gefäße ist.

Im Flachland kann man Quellen kaum zur Wassergewinnung nutzen. Hier muß Grundwasser oder Flußwasser verwendet werden. Da dieses meist nicht als Trinkwasser geeignet ist, wird es gereinigt. Man sagt auch, *das Wasser wird aufbereitet*. Zunächst pumpt man das Wasser aus dem Fluß in *Sickerteiche*. Aus ihnen sickert es durch mehrere Bodenschichten in *Tiefbrunnen*. Dabei wird es gereinigt. Dieses Verfahren der Trinkwassergewinnung nennt man *künstliche Grundwasserbereitung*. Eine weitere Reinigung erfolgt in *Filteranlagen*.

Durch die großen Tagebaue im mitteldeutschen Braunkohlenrevier hat sich im Laufe der Jahre der Grundwasserspiegel in diesem Gebiet stark gesenkt. Das Grundwasser muß ja ständig abgepumpt werden, damit die Gruben trocken bleiben. Die vielen Industriebetriebe im Raum zwischen Magdeburg und Leipzig verbrauchen

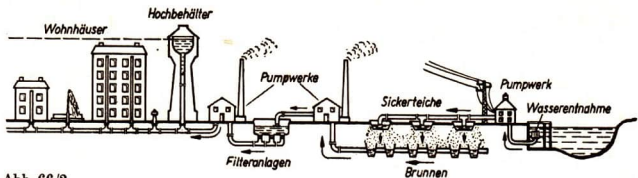
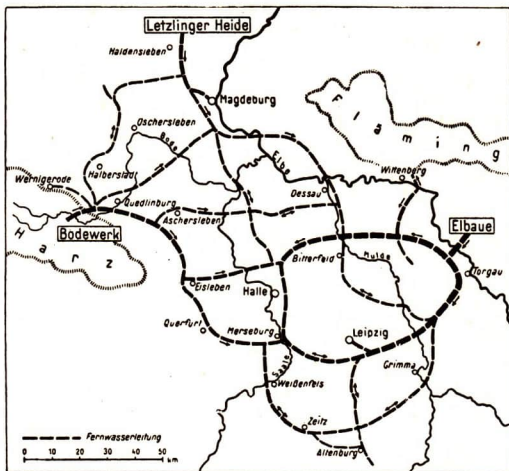


Abb. 66/2

Wasserleitung im Flachland mit Aufbereitungsanlage und Wasserturm (schematisch)



Abb. 67/1  
Mitteldeutsche  
Ring-  
wasserleitung



aber sehr viel Wasser, besonders unser größtes Chemiewerk, die Leunawerke „Walter Ulbricht“ bei Merseburg. Die Bevölkerung dieses großen Gebietes muß ausreichend Trinkwasser haben, die wertvollen Obst- und Gemüsekulturen der landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften benötigen Wasser zur Bereisung. Die Wasserversorgung in diesem Gebiet war gefährdet, da auch das Wasser der Flüsse kaum verwendet werden kann. Es ist durch Abwässer stark verunreinigt. Darum beschloß unsere Regierung den Bau einer großen *Ringwasserleitung* für das mitteldeutsche Gebiet (Abb. 67/1). Das Wasser kommt zum Teil aus der Rappbodesperre im Harz. Daneben werden in der Elbaue und in der Letzlinger Heide Grundwasservorräte durch Tiefbrunnen angezapft. Durch die neue Leitung soll dieses wichtige Industriegebiet unserer Republik mit gutem Wasser versorgt werden.

#### 4. Fragen und Aufgaben:

1. Wozu wird Wasser verwendet?
2. Beschreibe die Möglichkeiten der Wassergewinnung!
3. Beschreibe die Anlage einer Gebirgswasserleitung! Welchen Vorteil hat sie gegenüber einer Wasserleitung im Flachland?
4. Nenne die wichtigsten Anlagen einer Wasserleitung im Flachland! Welchem Zweck dienen sie?
5. Stelle aus einem Trichter, einem Schlauch und einer zur Düse ausgezogenen Glasröhre einen Springbrunnen her! Erkläre seine Wirkungsweise! Wiederhole den Versuch ohne Düse! Vergleiche Springhöhe und Dauer beider Versuche!

## 9. Wasser als Lösungsmittel

**1. Die Löslichkeit fester Stoffe.** Zum Tee nehmen wir gern Zucker. Das Zuckerstück zerfällt langsam in der Flüssigkeit und ist schließlich nicht mehr zu sehen. Scheinbar ist der Zucker verschwunden. Doch der süße Geschmack des Tees beweist, daß der Zucker noch vorhanden ist. *Er hat sich im Tee gelöst.* Aus dem Tee, dessen Hauptbestandteil das Wasser ist, und dem Zucker ist eine **Lösung** entstanden. Die Flüssigkeit, in der sich ein Stoff auflöst, nennt man das **Lösungsmittel**.

Eines der wichtigsten Lösungsmittel ist das Wasser. In der Natur, in der Landwirtschaft und im Haushalt werden viele Stoffe in Wasser gelöst. Aber auch in der Industrie wird Wasser in großem Maße als Lösungsmittel verwendet.

Lassen sich nun alle Stoffe in Wasser lösen? Um dies zu untersuchen, schütten wir in je ein Reagenzglas etwas Kochsalz, Zucker, Mehl und Gips. Dann füllen wir die Gläser zu etwa zwei Drittel mit Wasser auf. Wir verschließen nun die Öffnung mit dem Daumen und schütteln kräftig. Sodann stellen wir die Gläser ab. Kochsalz und Zucker sind nicht mehr zu sehen, sie haben sich völlig im Wasser gelöst. Mehl und Gips dagegen haben sich nicht gelöst. Sie wurden im Wasser nur *aufgeschlämmt*. Mehl und Gips trüben die Flüssigkeit. Sie setzen sich aber wieder ab, wenn die Aufschlammung eine Zeit ruhig stehenbleibt. Viele feste Stoffe lassen sich im Wasser lösen. Andere dagegen sind unlöslich.

**Wasser ist für viele feste Stoffe ein Lösungsmittel.**

In der Landwirtschaft ist die Löslichkeit fester Stoffe im Wasser von großer Bedeutung. Die Pflanzen können nämlich ihre Nährstoffe nur in gelöster Form durch die Wurzeln aufnehmen. Bei Trockenheit fehlt ihnen also einmal die Feuchtigkeit, zum anderen auch die Nahrung.

Die Düngemittel, die auf die Felder gebracht werden, sind verschieden gut löslich. Einige werden nach dem Streuen schnell vom Bodenwasser gelöst. Sie können daher von den Pflanzen sofort aufgenommen werden. Solche Düngemittel

können kurz vor der Aussaat gestreut oder als Kopfdüngung auf die jungen Pflanzen gegeben werden. Andere Düngemittel dagegen lösen sich nur langsam, dafür wirken sie um so länger. Schwerlösliche Düngesalze müssen aus diesem Grunde lange vor der Aussaat auf die Felder gebracht werden.

Zur *Bekämpfung von Schädlingen und Unkräutern* verwendet man in immer stärkerem Maße chemische Mittel. Diese werden als Salze geliefert und vor der Anwendung in Wasser ge-



Abb. 68/1. Schädlingsbekämpfung vom Flugzeug aus

löst. Die chemische Schädlings- und Unkrautbekämpfung durch Maschinen und Flugzeuge ist ein wichtiger Teil der Mechanisierung unserer Landwirtschaft (Abb. 68/1).

In ein Reagenzglas gießen wir 10 ml Wasser, dann geben wir eine kleine Menge Kochsalz hinzu und schütteln, bis es sich gelöst hat. Wir fügen weiter Salz in kleinen Mengen hinzu und lösen auch dieses. Den Versuch setzen wir so lange fort, bis ein Bodensatz von Salz im Reagenzglas verbleibt und sich nicht mehr löst.

Somit kann das Wasser nur eine bestimmte Menge Salz aufnehmen. Solange noch Salz gelöst werden kann, nennt man die Lösung *ungesättigt*. Wird aber kein Salz mehr gelöst, fällt also jede weitere Salzzugabe als Satz zu Boden, so ist die Lösung *gesättigt*. Gesättigte Lösungen kann man wieder in den ungesättigten Zustand zurückführen, indem man weiteres Lösungsmittel zugibt. Die Lösung wird *verdünnt*. Eine ungesättigte Lösung, bei der fast die Sättigungsgrenze erreicht ist, nennt man eine *konzentrierte* Lösung.

Eine ungesättigte Lösung kann zu einer gesättigten Lösung werden, wenn sie längere Zeit an der Luft steht. Dann verdunstet nämlich ein Teil des Lösungsmittels, während die Menge des gelösten Stoffes gleichbleibt. Der Vorgang kann dadurch beschleunigt werden, daß man die Lösung erwärmt. Dann verdunstet das Wasser schneller, so daß schließlich die vorhandene Flüssigkeitsmenge nicht mehr ausreicht, um allen gelösten Stoff in Lösung zu halten. Ein Teil sinkt in fester Form zu Boden. Die verbleibende Lösung ist gesättigt.

**Eine Lösung, die noch Stoff aufnehmen kann, ist ungesättigt. Je nach der Menge des bereits gelösten Stoffes spricht man von verdünnter oder konzentrierter Lösung. Nimmt die Lösung keinen Stoff mehr auf, dann ist sie gesättigt.**

Die Löslichkeit der verschiedenen Stoffe in der gleichen Menge Wasser ist unterschiedlich. Wir geben in ein Reagenzglas 5 g Zucker, in ein zweites 5 g Kochsalz, in ein drittes 5 g Salpeter und in ein viertes 5 g Alaun. Außen markieren wir mit einem Fettstift oder einem Klebestreifen, wie hoch die Stoffe die Gläser füllen. Dann gießen wir in jedes Glas 10 ml Wasser und schütteln kräftig. Der Versuch zeigt, daß sich in der gleichen Wassermenge unterschiedliche Stoffmengen lösen. Würde man den Versuch mit 100 ml Wasser bei Zimmertemperatur durchführen, so könnte man etwa 205 g Zucker, aber nur 90 g Salpeter, 35 g Kochsalz und 6 g Alaun in dieser Flüssigkeitsmenge lösen. Andere Stoffe haben im Wasser eine noch geringere Löslichkeit.

**Die Löslichkeit der Stoffe ist unterschiedlich.**

Wird das Lösungsmittel erwärmt, dann nimmt die Löslichkeit der festen Stoffe meist zu. Besonders deutlich zeigt sich das bei Alaun, der doch bei Zimmertemperatur nur in sehr geringer Menge gelöst wurde. Bei Kochsalz dagegen nimmt die Löslichkeit bei Erwärmung nur geringfügig zu.

**Die Löslichkeit fester Stoffe nimmt bei Erwärmung meist zu.**

Eine sehr verbreitete *natürliche Lösung* ist das *Meerwasser*. Es enthält auf 1 Liter Wasser etwa 35 g gelöste Salze. Den Hauptanteil hat dabei das Kochsalz. Daneben sind aber auch noch andere Salze enthalten.

Vor vielen Millionen Jahren verdunstete das Wasser aus Teilen des Meeres, sie trockneten aus. Die Salze lagerten sich dabei in mächtigen Schichten ab. Heute

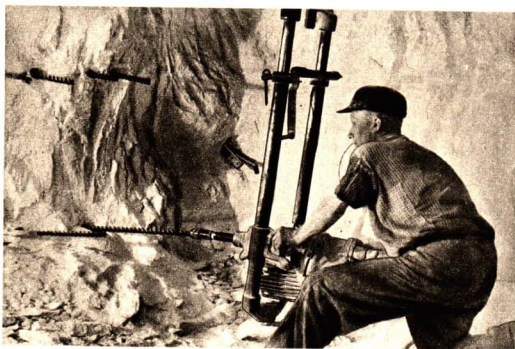


Abb. 70/1. Abbau von Kalisalz

werden sie als Steinsalz oder als Kalisalze abgebaut (Abb. 70/1). Das Steinsalz dient als Gewürz und als Rohstoff für die Industrie. Die Kalisalze sind ein wertvolles Düngemittel. Sie werden aber auch als Rohstoff für die Industrie verwendet.

Das Süßwasser enthält ebenfalls gelöste Stoffe, aber wesentlich weniger als das Meerwasser. Die verschiedenen Salze verleihen ihm einen bestimmten Geschmack, der von der Art der Salze abhängig ist. Auch das Süßwasser ist somit eine Lösung.

*Meerwasser und Süßwasser sind Lösungen.*

**2. Wasser als Lösungsmittel bei technischen Verfahren.** An zwei Beispielen soll die Bedeutung des Wassers als Lösungsmittel in der Industrie gezeigt werden: bei der Zuckergewinnung und bei der Kochsalzgewinnung.

Zucker wird bei uns aus der Zuckerrübe gewonnen. Die Rüben gelangen in Wagen und in Eisenbahnwaggons zur Fabrik. Dort werden die Rüben gereinigt und anschließend geschnitzelt. Die Rübenschnitzel schüttet man in große verschließbare Behälter und gibt Wasser zu. In diesen Behältern verbleiben sie eine Zeitlang, wobei sie erwärmt werden. Dabei laugt das Wasser die Rübenschnitzel aus, es löst aus ihnen den Zucker. So entsteht eine Zuckerlösung, aus der schließlich der Zucker gewonnen wird.

Salz wird bergmännisch abgebaut (vgl. Abb. 70/1). In der Deutschen Demokratischen Republik gibt es große Vorkommen am Harz und an der Werra. Hier wird das Salz in fester Form gewonnen. Bei tieferen Lagern leitet man Wasser durch Bohrlöcher zum Salz. Dieses löst sich im Wasser. Die Salzlösung, *Sole* genannt, wird nach oben gepumpt. Manchmal trifft man bei Bohrungen auch auf natürliche Sole. Sie entsteht, wenn Salzlager durch Grundwasser aufgelöst werden. Man dampft die Sole entweder ein und stellt so das Siedesalz her, oder sie wird zur weiteren Verarbeitung direkt in chemische Werke geleitet.



**3. Wasser als Lösungsmittel für Flüssigkeiten und Gase.** Es gibt auch Flüssigkeiten, die in Wasser löslich sind. Einige Flüssigkeiten lösen sich sehr leicht, andere dagegen nicht.

Wir gießen in je ein Reagenzglas 1 ml Spiritus, Öl, Benzin und Essigessenz. Dazu geben wir in jedes Glas 4 ml Wasser und schütteln. Öl und Benzin lösen sich nicht im Wasser, während Spiritus und Essigessenz in Lösung gehen. Dabei gibt es für die löslichen Flüssigkeiten keine Sättigungsgrenze. Wasser und lösliche Flüssigkeiten lassen sich in jedem Verhältnis lösen.

**Einige Flüssigkeiten sind im Wasser löslich.**

Beim Öffnen des Verschlusses einer vollen Seltersflasche sprudeln Bläschen auf. Daran erkennen wir, daß ein Gas entweicht. Ehe die Flasche geöffnet wurde, waren keine Bläschen zu sehen. Das Gas war also im Wasser gelöst. Als der Druck in der Flasche durch das Öffnen vermindert wurde, entwich das Gas aus der Lösung. Je höher der Druck ist, desto mehr Gas läßt sich im Wasser lösen.

Wir füllen einen Rundkolben mit Wasser und erwärmen ihn, ohne daß das Wasser zum Sieden kommt. Dabei steigen kleine Bläschen auf. Sie enthalten Luft, die vorher im Wasser gelöst war. Durch die Erwärmung wird sie aus der Lösung getrieben. Die im Wasser gelöste Luft wird von den Fischen eingeatmet. In Flüssen und Seen wird diese Luft durch Wasserpflanzen und durch andere Vorgänge ständig erneuert. In Aquarien ist dies meist nicht in ausreichendem Maße der Fall. Deshalb leitet man einen Luftstrom durch das Wasser. Ein Teil der Luft geht dabei in Lösung.

Die Löslichkeit der Gase vermindert sich bei Erwärmung. Man kann Gas aus einer Lösung entfernen, indem man diese erwärmt.

**Gase lösen sich im Wasser. Die Löslichkeit nimmt ab, wenn der Druck vermindert oder die Lösung erwärmt wird.**

**4. Trennung von Stoffen.** Häufig müssen verschiedene Stoffe, die miteinander vermischt sind, getrennt werden. Feste Stoffe, die verschieden schwer sind und sich nicht in Wasser lösen, werden *aufgeschlämmt*. Das tut man zum Beispiel bei der Untersuchung des Bodens, um seine Zusammensetzung festzustellen und seine einzelnen Bestandteile zu erkennen. Eine Bodenprobe wird in einen großen Standzylinder gebracht, reichlich Wasser dazugeschüttet und einige Zeit kräftig gerührt. Dann läßt man den Zylinder stehen. Zuerst setzen sich die schwersten Teile am Boden des Glases ab. Je leichter die Bestandteile sind, desto später sinken sie zu Boden, desto höher liegen sie in der Aufschlammung (Abb. 71/1).

**Durch Aufschlännen zerlegt man ein Gemisch verschieden schwerer fester Stoffe in seine Bestandteile.**

Will man die Stoffe zur Untersuchung voneinander trennen, so muß nach dem Aufschlännen gewartet werden, bis sich die schwersten Stoffe als Bodensatz abgesetzt haben. Von diesem wird die Flüssigkeit, in der noch der leichtere Stoff schwebt, abgegossen (Abb. 72/1). Dieses

Abb. 71/1. Aufgeschlammte Bodenprobe





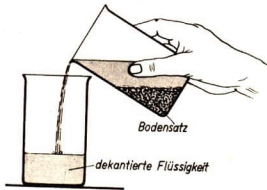


Abb. 72/1  
Dekantieren

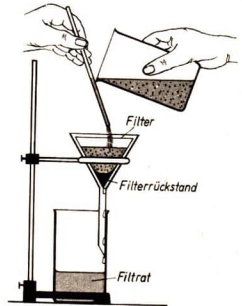


Abb. 72/2. Filtrieren



Abb. 72/3. Falten eines Rundfilters

Verfahren nennt man *Dekantieren*. Auch das Abgießen des Kaffees vom Satz ist ein Dekantieren. Um das Gemisch einwandfrei zu trennen, müssen Aufschlänmen und Dekantieren mehrfach wiederholt werden.

Wir mischen Kohlepulver mit sauberem Sand, schütten das Gemisch in ein Becherglas und schlänmen auf. Der Sand setzt sich schnell am Boden ab, das

Kohlepulver schwebt im Wasser. Nun dekantieren wir. Dabei achten wir darauf, daß der Bodensatz nicht aufgerührt wird.

Das Kohlepulver aber können wir durch Dekantieren allein nicht wieder zurückgewinnen. Wir müssen daher noch ein anderes Verfahren anwenden. Wir gießen die dekantierte Flüssigkeit durch ein *Filter*, wir *filtrieren* (Abb. 72/2). Wie ein feines Sieb hält das Filter die Kohleteilchen als *Filterrückstand* fest. Klar tropft die Flüssigkeit als *Filtrat* aus dem Filter in das untergestellte Becherglas.

Beim Filtrieren mußt du folgende Hinweise beachten: Das Filterpapier wird gefaltet, wie es Abbildung 72/3 zeigt. Nach dem Einlegen in den Trichter wird es mit einigen Tropfen Wasser angefeuchtet, damit es gut anliegt. Das Becherglas wird so unter den Trichter gestellt, daß der Stiel des Trichters die Wand des Glases berührt. Zum Eingießen in das Filter verwenden wir einen Glasstab, an dem die Flüssigkeit

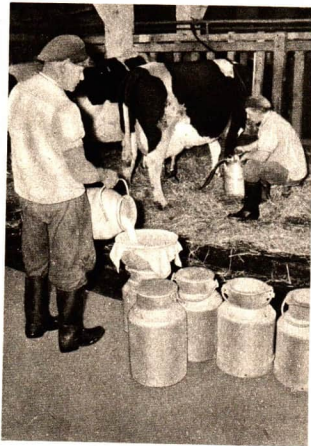


Abb. 72/4. Filtrieren von Milch

entlangläuft und nicht spritzt. Das Filter darf nur bis 1 cm unter den Rand gefüllt werden. Sind mehrere Füllungen notwendig, so wird stets erst wieder dann nachgegossen, wenn das Filter leer ist.

Beim Filtrieren von Bohnenkaffee läuft die Flüssigkeit durch ein Filterpapier. Das kochende Wasser löst hierbei bestimmte Bestandteile des Kaffeepulvers. Die unlöslichen Bestandteile bleiben in dem Filter zurück. In landwirtschaftlichen Betrieben wird die Milch sofort nach dem Melken filtriert (Abb. 72/4). Über das Filtrieren des Wassers durch Sand- und Kiesschichten wurde schon gesprochen.

**5. Eindampfen.** Filtriert man eine Kochsalzlösung, so wird das Salz durch das Filter nicht zurückgehalten. Aus einer Lösung kann man somit die gelösten Stoffe nicht durch Filtrieren zurückgewinnen. Lösungsmittel und gelöster Stoff lassen sich nur durch *Verdunsten* und *Eindampfen* trennen.

Durch Verdunstung kann man im allgemeinen den gelösten Stoff nur aus kleineren Flüssigkeitsmengen zurückgewinnen. Bei größeren wäre dieses Verfahren zu langwierig. Allerdings wird in wärmeren Ländern dadurch Salz gewonnen, daß man Meerwasser in flache Becken laufen und verdunsten läßt. Man nennt diese Anlagen *Salzgärten* (Abb. 73/1). Doch stellt dieses Verfahren eine Ausnahme dar. In der Produktion werden größere Lösungsmengen eingedampft.

In Laboratorien werden kleine Lösungsmengen in eine Porzellanschale geschüttet und dann erwärmt (Abb. 73/2). Dabei wird ständig umgerührt. Ist die Flüssigkeit fast verdampft, so wird der Brenner entfernt. Der Rest verdampft durch die Hitze der Schale.

**Beim Eindampfen wird das Lösungsmittel durch Erwärmen verdampft. Der gelöste Stoff bleibt zurück.**

Durch Eindampfen wird beispielsweise Salz aus der Sole gewonnen, wie es schon auf S. 70 erläutert wurde.

*Aufschlännen, Dekantieren, Filtrieren, Lösen und Eindampfen sind Arbeitstechniken, durch die man Stoffgemische trennen kann.*



Abb. 73/1  
Salzgärten an der Küste von Kolumbien

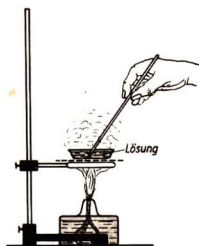


Abb. 73/2  
Eindampfen einer Lösung

## 6. Fragen und Aufgaben:

1. Untersuche Waschpulver, Scheuersand, Gips, Suppenwürze und andere Stoffe auf ihre Löslichkeit!
2. Untersuche die Löslichkeit verschiedener Düngemittel!
3. Erläutere die Begriffe „gesättigte“ und „ungesättigte Lösung“!
4. Stelle eine ungesättigte Kochsalzlösung her! Gieße sie in eine flache Schale (Uhrglas) und laß sie mehrere Tage stehen! Beobachte täglich!
5. Schlämme eine Bodenprobe auf!
6. Stelle ein Gemisch aus Mehl und feinem Sand her! Trenne es wieder!
7. Stelle ein Gemisch aus Zucker und feinem Sand her! Trenne es wieder!
8. Ein Raum von der Größe deines Klassenzimmers sei mit Meerwasser gefüllt. Welche Salzmenge ist darin enthalten? Brauchst du für diese Salzmenge einen Eimer oder einen Sack?

## 10. Kräfte zwischen den kleinsten Teilchen

1. **Kohäsion.** Wird ein Stück Holz mit dem Hobel bearbeitet, dann lösen sich Späne. Beim Raspeln sind die abfallenden Holzteilchen wesentlich kleiner. Noch feinere nimmt die Feile weg. Jedes dieser Teilchen ist immer noch der Stoff Holz.

Auch von anderen Stoffen kann man kleine Teile bei der Bearbeitung abtrennen. Glas wird geschliffen, dabei entsteht Glasstaub; Stahl wird gefeilt, winzige Stahlspäne fallen dabei ab. Zucker und Salz kann man zu Pulver zermahlen, Kreide zerreiben, Aluminium abschaben. So lassen sich von allen Stoffen sehr kleine Teile entfernen. Aber selbst das winzigste Pulverstäubchen setzt sich noch aus sehr vielen kleinen Teilchen zusammen, die man mit dem bloßen Auge nicht mehr sehen kann. Alle Stoffe bestehen aus sehr kleinen Teilchen, die man **Moleküle** nennt.

**Alle Stoffe bestehen aus kleinsten Teilchen, aus Molekülen.**

Um ein Stück Kreide zu zerbrechen, braucht man eine bestimmte Kraft. Mehr Kraft muß man aufwenden, wenn man einen Holzstab durchbrechen will. Einen Stahlstab kann man ohne Hilfsmittel nicht in zwei Teile zerlegen.

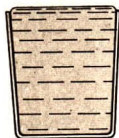
*Die kleinsten Teilchen der Stoffe halten also mehr oder weniger fest zusammen.* Bei Stahl ist die Kraft, die zwischen den kleinsten Teilchen wirkt, sehr groß; denn es ist auch eine große Kraft notwendig, um einen Körper aus Stahl in zwei Teile zu zerlegen. Bei Kreide dagegen ist diese Kraft viel kleiner. Kreide kann man leichter zerbrechen. Man nennt diese Kraft, die zwischen den kleinen Teilchen eines Stoffes wirkt, **Kohäsion**.

**Die Kohäsion ist die Kraft, durch die die kleinsten Teilchen eines Stoffes zusammengehalten werden.**

Einen Glasstab auseinanderzuziehen, ist ohne technische Hilfsmittel nicht möglich. Erwärmt man ihn aber, so kann man ihn bei einer bestimmten Temperatur sehr leicht auseinanderziehen. Das zeigt, daß durch die Erwärmung die Kohäsion geringer wird. Auch glühender Stahl kann mit wesentlich geringeren Kräften geformt werden als Stahl von Zimmertemperatur. Die Kohäsion und damit die Festigkeit der Stoffe hängt somit von ihrer Temperatur ab.

Bei den Flüssigkeiten ist die Kohäsion bei weitem nicht so stark wie bei den festen Körpern. Die Moleküle der Flüssigkeiten können leicht gegeneinander ver-

Abb. 75/1. Gefülltes Wasserglas mit nach oben gewölbtem Flüssigkeitsspiegel



schoben werden. *Daher nimmt eine Flüssigkeit stets die Form des Gefäßes an* und die Oberfläche der Flüssigkeit ist immer eben. Die Moleküle haften wohl aneinander, lassen sich aber mit geringer Kraft trennen.

Ihr habt die Kohäsion schon ausgenutzt, als ihr nämlich Seifenblasen habt fliegen lassen. Die Kohäsion zwischen den einzelnen Teilchen ist dabei groß genug, daß sich eine verhältnismäßig große Wasserhaut bilden kann.

Ein Glas Wasser wird bis zum Rande gefüllt. Es ist nun möglich, noch mehr Wasser zuzutropfen, ohne daß das Glas überläuft. Die Oberfläche der Flüssigkeit wölbt sich über den Rand des Glases hinaus (Abb. 75/1). Infolge der Kohäsion halten die Wasserteilchen zusammen. Wird aber eine bestimmte Höhe überschritten, dann reicht die Kohäsion nicht mehr aus, die Teilchen zusammenzuhalten. Das Wasser fließt am Gefäß herunter.

**2. Adhäsion.** Bei den Anweisungen zum Filtrieren war gesagt worden, daß beim Ausgießen ein Glasstab verwendet werden soll. Gießt man nämlich langsam ein volles Glas Wasser aus, so läuft das Wasser am Glase entlang und nicht in den Filter. Bei der Verwendung eines Glasstabes fließt es an diesem entlang.

Die Ursache für diese Erscheinung muß eine Kraft sein, die zwischen dem Wasser und dem Glas als unterschiedlichen Stoffen wirkt. Diese Kraft nennt man **Adhäsion**. Damit sie wirksam wird, müssen die Teilchen verschiedener Körper in sehr enge Berührung gebracht werden.

**Die Adhäsion ist eine Kraft, die die kleinsten Teilchen unterschiedlicher Stoffe zusammenhält.**

Wir befeuchten eine Glasscheibe und legen eine zweite darauf. Dann versuchen wir, die beiden Scheiben auseinanderzuziehen, ohne sie gegeneinander zu verschieben. Dazu ist eine große Kraft notwendig. Durch die Adhäsion zwischen dem Wasser und dem Glas werden die beiden Scheiben zusammengehalten. Auch die Kohäsion zwischen den Wasserteilchen wirkt dabei mit.

Die Adhäsion wird zum Beispiel beim Leimen und beim Malen ausgenutzt. Auch das Schreiben mit Kreide, Bleistift, Tinte und Schreibmaschine beruht auf der Adhäsion. Kleinste Teilchen der Kreide, der Bleistiftmine, der Tinte oder der Farbe des Farbbandes haften infolge der Adhäsion am Schreibmaterial.

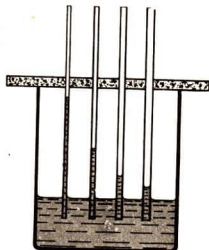
Taucht man einen sauberen und einen eingefetteten Glasstab in Wasser und zieht sie wieder heraus, so haftet am eingefetteten Glasstab kaum Wasser. Der saubere Glasstab dagegen ist mit einer Wasserschicht überzogen. Man sagt: *Das Wasser benetzt den Glasstab*. Der Versuch läßt erkennen, daß die Adhäsion zwischen den einzelnen Stoffen unterschiedlich ist. Wasser benetzt ölige oder fettige Stoffe kaum. Gegenstände, die vor Nässe geschützt werden sollen, packt man daher in *Ölpapier*. Dieses Papier ist mit einer öligen Flüssigkeit getränkt. Eisenteile, die der Feuchtigkeit ausgesetzt sind, ölt oder fettet man ein. Dann kann kein Wasser haften, und das Eisen rostet nicht.



Taucht man einen Stab in Quecksilber, so haften beim Herausziehen keine Quecksilberteilchen am Stab. Das Quecksilber ist eine Flüssigkeit mit großer Kohäsion, aber nur mit geringer Adhäsion. Darum benetzt es eingetauchte Gegenstände nicht.

**Die Adhäsion zwischen den einzelnen Stoffen ist unterschiedlich.**

**3. Kapillarität.** Bei der Raummessung von Flüssigkeiten mußte die Randkrümmung berücksichtigt werden. Sie tritt infolge der Adhäsion zwischen der Flüssigkeit und dem Glas auf. Die Randkrümmung wird um so deutlicher, je enger das Gefäß ist. Ist die Röhre sehr eng, so tritt die Adhäsion noch stärker in Erscheinung. Sie bewirkt, daß die Oberfläche des Wassers im Röhrchen höher steigt als die des übrigen Wassers Abb. (76/1). Je enger das Röhrchen ist, desto höher steigt das Wasser in ihm. Das Gesetz der verbundenen Gefäße ist zwar auch hier noch gültig, aber es kommt eine neue Gesetzmäßigkeit hinzu. Man bezeichnet die Eigenschaften einer Flüssigkeit, in engen Röhrchen über den Flüssigkeitsspiegel hochzusteigen, als **Kapillarität**. Die feinen Röhrchen werden **Kapillaren** oder **Haarröhrchen** genannt.



**Die Kapillarität ist das Aufsteigen einer Flüssigkeit in einem Haarröhrchen.**

Abb. 76/1. Kapillaren

Jeder Schüler nützt die Kapillarwirkung aus, wenn er einen Tintenkleks mit dem Lössblatt aufsaugt. Zwischen den Fasern des Lössblattes befinden sich feine Zwischenräume, die als Kapillaren wirken. In ihnen steigt die Flüssigkeit, die Tinte, nach oben.

Die Kapillarität wird vielfach ausgenutzt. So beruht beispielsweise auf der Kapillarität die Wirkungsweise des Doctes, wie er bei der Spirituslampe verwendet wird. Der Brennstoff steigt infolge der Kapillarität in den Zwischenräumen zwischen den Doctfasern nach oben. — Beim Aufwischen des Fußbodens saugen die Zwischenräume der Faser des Lappens die Feuchtigkeit auf.

Andererseits gibt es aber auch Wirkungen der Kapillarität, die nicht erwünscht sind und die man deshalb unterdrücken muß. Da beispielsweise beim Ziegelstein die Kapillarität wirkt, müssen Hauswände gegen Feuchtigkeit geschützt werden. Als Schutz gegen Regen und Luftfeuchtigkeit wird das Haus verputzt. Gegen die Bodenfeuchtigkeit legt man in eine Schicht der Grundmauer geteerte Pappe in die Fugen ein. Dadurch kann die Feuchtigkeit nicht weiter nach oben steigen.

Enthält das Schreibpapier Kapillaren, wie es bei Zeitungspapier und beim Lösspapier der Fall ist, so läßt es sich schlecht beschreiben. Die Tinte verläuft. Man verwendet deshalb tintenfestes, geleimtes Papier. Mit Hilfe des Leims sind die Kapillaren verschlossen worden.

Wegen der Kapillarität dringt die Feuchtigkeit ins Holz ein, so daß es verfault. Man behandelt deshalb Holzpfosten, die in die Erde eingesetzt werden, mit wasserabweisenden Mitteln, zum Beispiel mit Karbolineum. Kähne werden geteert, damit kein Wasser ins Holz dringt.

Im Erdboden sind zwischen den Bodenteilchen kleine Zwischenräume, die wie Kapillaren wirken. Hier ist die Kapillarität einerseits erwünscht, andererseits muß

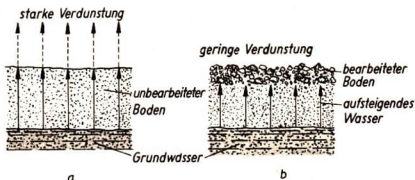


Abb. 77/1. Kapillarität des nicht bearbeiteten und des bearbeiteten Bodens

Erdoberfläche, so steigt auch das Wasser ebenso hoch und verdunstet ungenutzt (Abb. 77/1a). Durch das Bearbeiten des Bodens, durch Hacken, Grubbern, Schälen oder Eggen werden die Kapillaren der obersten Bodenschicht zerstört. Dadurch kann das Wasser nicht mehr an die Oberfläche gelangen und verdunstet (Abb. 77/1b). Es bleibt zur Nutzung für die Pflanze im Boden. Bei der Bearbeitung des Bodens entstehen zwar auch Hohlräume, sie sind aber so groß, daß sie nicht mehr als Kapillaren wirken.

*Die Kapillarität ist von größter Bedeutung für den Feuchtigkeitsgehalt des Ackerbodens.*

#### 4. Fragen und Aufgaben:

1. Wie gießt man einen vollen Becher aus, ohne daß Flüssigkeit an ihm herunterläuft?
2. Schneide eine rohe Kartoffel durch und drücke die Schnittflächen wieder aneinander! Versuche, die Stücke auseinanderzuziehen!
3. Fülle ein Becherglas mit Wasser! Hänge einen Wollfaden über den Rand, daß er in die Flüssigkeit taucht! Beobachte das Herabtropfen des Wassers und erkläre es!
4. Tauche ein Stück Zucker mit einer Ecke in Kaffee oder gefärbtes Wasser! Was beobachtest du? Erkläre deine Beobachtung!
5. Stelle einen Ziegelstein zu etwa einem Drittel in ein Gefäß mit Wasser! Laß ihn einige Zeit stehen! Untersuche dann den oberen Teil des Steines!
6. Warum und wie wird Mauerwerk gegen Feuchtigkeit isoliert?
7. Schneide eine weißblühende Pflanze (Margerite) ab und stelle sie in rote Tinte! Beobachte nach einiger Zeit die Blütenblätter!
8. Fülle einen Blumentopf mit trockener Erde! Stelle ihn in einen Untersatz mit Wasser! Untersuche die Feuchtigkeit der obersten Erdschicht am nächsten Tag!
9. Welche Bedeutung hat die Bodenbearbeitung für die Landwirtschaft?

## 11. Eigenschaften und Verwendung von Gasen

1. Gase können verdichtet werden. Ein Fußball muß prall sein, wenn man damit spielen will. Mit Hilfe einer Pumpe wird Luft in die Gummiblase gedrückt, bis sie prall gefüllt ist. Dabei wird die Luft zusammengedrückt. Man sagt auch, sie wird *verdichtet*.

Dasselbe geschieht, wenn wir einen Luftballon aufblasen. Allerdings darf dabei die Verdichtung der Luft nicht zu groß werden, da sonst die dünne Gummihaut

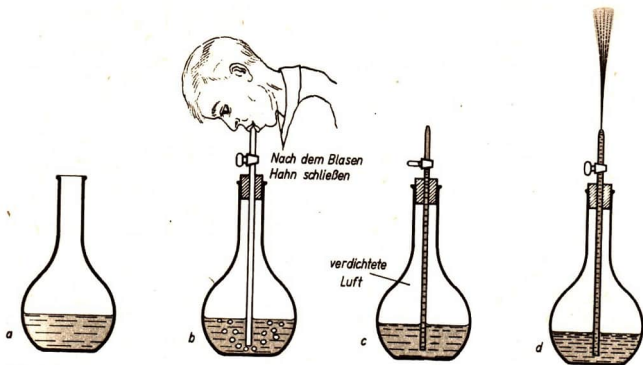


Abb. 78/1. Verdichtete Luft drückt beim Ausdehnen Wasser aus der Flasche

platzt. Auch andere Gase, zum Beispiel unser Stadtgas, können verdichtet werden. Wir müssen dazu eine Kraft aufwenden.

**Gase können durch eine Kraft verdichtet werden.**

Läßt man die Öffnung eines gefüllten Luftballons frei, so entweicht das verdichtete Gas mit hörbarem Zischen. Läßt man dabei den Ballon los, so treibt ihn das ausströmende Gas wie eine Rakete. Er fliegt hin und her, bis das gesamte Gas entwichen ist. Auch aus einem Loch im Fahrradschlauch entweicht die Luft zischend. Kann ein verdichtetes Gas ausströmen, so *entspannt es sich*.

Folgender Versuch zeigt die Verdichtung und die Ausdehnung der Luft: Eine Flasche wird etwa zu einem Viertel mit Wasser gefüllt und mit einem durchbohrten Stopfen verschlossen (Abb. 78/1). Durch den Stopfen führt bis ins Wasser ein Glasrohr, das mit einem Hahn versehen und zur Spitze ausgezogen ist. Bläst man in das Rohr, so wird Luft durch das Wasser in die Flasche gedrückt. Infolgedessen wird die schon vorhandene Luft verdichtet. Sofort nach dem Blasen wird der Hahn verschlossen. Öffnet man ihn wieder, so spritzt Wasser aus der Flasche. Die verdichtete Luft dehnt sich wieder aus und drückt dabei das Wasser durch die Röhre nach außen.

**Verdichtete Gase dehnen sich wieder aus, sobald dies möglich ist.**

**2. Anwendungen.** Die Möglichkeit, Gase zusammenzupressen, wird vielseitig genutzt. Kinder und auch Erwachsene nehmen zum Baden gern Gummitiere und Luftringe mit, um sich von ihnen auf dem Wasser tragen zu lassen. Unsere Nationale Volksarmee führt Schlauchboote mit, um Flüsse und Seen schnell überschreiten zu können. Die Schlauchboote sind luftleer leicht zu transportieren und im Bedarfsfalle in kurzer Zeit einsatzbereit (Abb. 79/1).

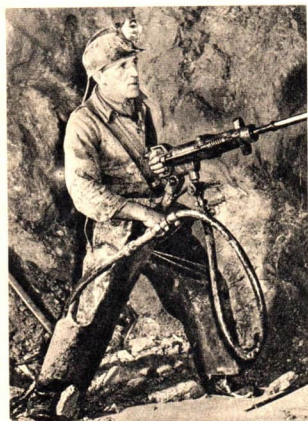
Abb. 79/1

Schlauchboot im Einsatz bei einer Überschwemmung

Verdichtete Luft ist außerdem elastisch. Das nutzt man beispielsweise bei Bällen, bei Luftmatratzen und bei der Bereifung von Fahrzeugen aus. Autos und Motorräder, Fahrräder und Roller, Traktoren und Anhänger rollen auf luftbereiften Rädern. Dadurch werden die Straßen und das Material der Fahrzeuge geschont. Außerdem rollt ein luftbereiftes Fahrzeug meist leichter als ein anderes.

Bei Spezialfahrzeugen für schwieriges Gelände muß man allerdings auf die Luftbereifung verzichten. Panzer und Raupenschlepper bewegen sich auf Raupenketten.

Die Motoren der Kraftfahrzeuge, die Dampfmaschinen und die Turbinen arbeiten mit verdichteten Gasen. Indem sich diese ausdehnen, bewegen sie die Maschinenteile. Auch die Kraft ausströmender Gase wird als Antriebsmittel ausgenutzt. Auf diese Weise werden die Turbinenfahrzeuge und die Raketen angetrieben.



Verdichtete Luft bezeichnet man in der Technik als Druckluft oder als Preßluft. Durch ihre Kraft werden viele technische Geräte betrieben. So werden beim Brückenbau, im Schiffs- und Maschinenbau Druckluflthämmer verwendet. Der Bergmann bohrt mit dem Druckluftbohrer Bohrlöcher in die Kohle (Abb. 79/2). Die Bremsen der Eisenbahn- und großer Lastkraftwagen werden mit Hilfe von Druckluft betätigt. Die Druckluft schließt die Türen vieler Omnibusse und der S-Bahn in Berlin. Sie zersprüht die Farbe aus den Farbspritzpistolen der Maler und Lackierer und sie wirkt im Sandstrahlgebläse zum Reinigen von Mauern und zum Putzen von Gußstücken (Abb. 80/1).

Abb. 79/2. Bergmann mit Druckluftbohrer





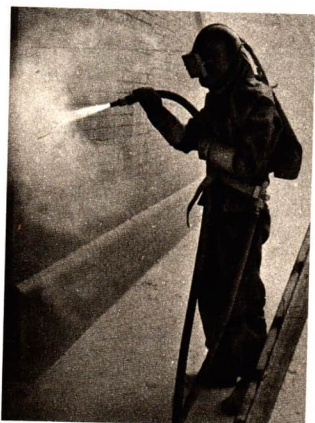


Abb. 80/1. Sandstrahlgebläse

### Kennzeichnung der Gasflaschen

| Gas                                              | Anstrich |
|--------------------------------------------------|----------|
| Sauerstoff                                       | blau     |
| Stickstoff                                       | grün     |
| Azetylen                                         | gelb     |
| Wasserstoff, Propangas und andere brennbare Gase | rot      |
| Kohlendioxyd                                     | grau     |

Andere Gase, wie Sauerstoff, Wasserstoff und Azetylen, preßt man zur Aufbewahrung und zum Transport in dickwandige Stahlflaschen. Mit diesen Gasen arbeitet der Schweißer. Andere Gase, die in Stahlflaschen aufbewahrt werden, sind das Propangas, das zum Kochen verwendet wird, und das Kohlendioxyd, das in Gaststätten benötigt wird. Die Stahlflaschen müssen richtig behandelt werden, damit Unfälle ver-

mieden werden. Sie müssen so aufgestellt werden, daß sie nicht umfallen können. Die Stahlflaschen könnten durch die Erschütterung platzen. Es besteht auch die Gefahr, daß der Verschluß abbricht. Dann würde die Flasche wie ein Raketen- geschoß davonrasen, oder es gäbe eine schwere Explosion. Werden die für die Benutzung von Gasflaschen geltenden Vorsichtsmaßnahmen beachtet, dann besteht keine Unfallgefahr.

Damit die Flaschen nicht verwechselt werden, sind sie entsprechend ihrem Gas- inhalt durch unterschiedliche Farben gekennzeichnet.

**3. Die Fahrradpumpe.** Die *Luftbereifung* des Fahrrades besteht aus dem Fahrrad- schlauch und dem Mantel. Er schützt den Schlauch vor Beschädigungen.

Zum Verdichten der Luft benutzt man die *Fahrradpumpe* (Abb. 80/2). Im *Pumpen- zylinder* gleitet der Kolben. Er wird durch die *Kolbenstange* bewegt, die in einem Handgriff endet. Der Kolben trägt zur Abdichtung eine *Ledermanschette*.

Beim Herausziehen des Kolbens hebt sich die Manschette etwas von der Wand des Pumpenzylinders ab. Dadurch kann die Luft am Kolben vorbeiströmen

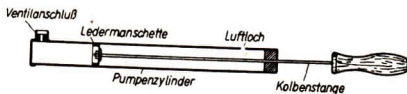


Abb. 80/1. Längsschnitt durch eine Fahrradluftpumpe

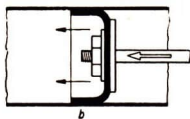
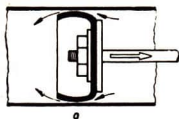


Abb. 81/1. Wirkungsweise der Ledermanschette

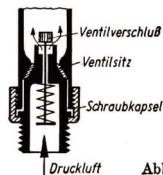
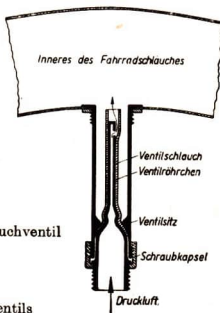


Abb. 81/3. Wirkungsweise eines Patentventils



(Abb. 81/1a). Beim Hineindrücken dagegen legt sich die Ledermanschette an die Rohrwand an, so daß keine Luft hinter den Kolben dringen kann (Abb. 81/1 b). Der Kolben schließt somit luftdicht ab. Er verdichtet die Luft im Pumpenzylinder und preßt sie durch das Ventil in den Schlauch.

Das Ventil verhindert das Zurückströmen der Luft aus dem Schlauch. Es besteht aus einem Metallröhrchen, das an dem einen Ende bis auf eine seitliche Öffnung verschlossen ist (Abb. 81/2). Sie wird vom Ventilschlauch verdeckt, der über das Röhrchen gestreift ist. Beim Aufpumpen des Schlauches wird die Luft durch das Röhrchen und die Öffnung gedrückt. Sie hebt den Ventilschlauch etwas ab und strömt in den Fahrradschlauch. Ein Zurückströmen verhindert der eng anliegende Ventilschlauch. Das Schlauchventil öffnet sich nur nach innen, also nur nach einer Seite. Das ist das Kennzeichen jedes Ventils.

Häufig verwendet man beim Fahrrad auch sogenannte Patentventile (Abb. 81/3). Sie haben keinen Ventilschlauch. Die Öffnung wird durch eine Scheibe verschlossen, die von einer Feder gegen die Öffnung gedrückt wird. Beim Aufpumpen drückt die Luft gegen die Scheibe. Dadurch wird die Feder zusammengedrückt; das Ventil öffnet sich nach innen. Die Luft strömt in den Schlauch. Wirkt der Druck der Luft aus der Pumpe nicht mehr, so dehnt sich die zusammengedrückte Feder wieder aus und verschließt die Öffnung. Ähnlich sind auch die Ventile an den Bereifungen der Kraftfahrzeuge gebaut.

#### 4. Fragen und Aufgaben:

1. Nenne Fahrzeuge, bei denen Luftbereifungen verwendet werden!
2. Wo wird Druckluft benutzt?
3. Wie werden Gasflaschen gekennzeichnet? Warum muß man mit ihnen vorsichtig umgehen?

## 12. Die drei Aggregatzustände

**1. Gemeinsame Eigenschaften der Körper.** Wir wissen bereits, daß die Körper viele Eigenschaften haben, durch die sie sich unterscheiden. Bestimmte Eigenschaften aber sind allen Körpern gemeinsam, sowohl den festen wie auch den flüssigen und den gasförmigen. Sie sollen hier zur Wiederholung nochmals zusammengestellt werden:

**Jeder Körper besteht aus Stoff.**

Der Körper setzt sich aus kleinen Teilchen zusammen. Die Kohäsion hält diese Teilchen mehr oder weniger stark zusammen. Die Eigenschaften des Stoffes bewirken, daß die Körper elastisch oder plastisch, zähe oder spröde, weich oder hart sind. Durch Erwärmung des Körpers können die Eigenschaften verändert werden.

**Jeder Körper nimmt einen Raum ein.**

Das Volumen eines Körpers wird durch Raummessung ermittelt.

**Die Körper können einander verdrängen. An einer Stelle kann immer nur ein Körper sein.**

Die Verdrängung spielt beispielsweise bei der spanlosen Formung und bei der Arbeit mit Druckluft eine Rolle.

**2. Die Aggregatzustände.** Wasser ist bei Zimmertemperatur flüssig. Im Winter gefriert es zu Eis und ist dann fest. Tritt Tauwetter ein, wird es wieder flüssig. Dabei bleibt es immer derselbe Stoff. Eis ist nichts anderes als festes Wasser. Im Topf siedet Wasser. Als Wasserdampf steigt es hoch. Hält man einen kalten Deckel über den Topf, so werden aus dem Wasserdampf wieder Wassertropfenchen. Auch der Wasserdampf ist Wasser, diesmal in gasförmigem Zustand.

Wie das Beispiel zeigt, kann das Wasser fest, flüssig oder gasförmig sein. Das hängt nur von der Temperatur ab. Man bezeichnet die *Arten des Zustandes*, in dem sich das Wasser befinden kann, als **Aggregatzustände**.

Auch die meisten anderen Stoffe können ihren Aggregatzustand ändern. Die Metalle schmelzen beim Erwärmen, sie werden flüssig. Bei sehr hohen Temperaturen verdampfen sie. Benzin und Spiritus gehen in den gasförmigen Zustand über. Öl erstarrt in der Kälte, es wird fest.

**Man unterscheidet den festen, den flüssigen und den gasförmigen Aggregatzustand. Der Aggregatzustand der Körper ist veränderlich.**

**3. Die Unterscheidung der Aggregatzustände.** *Feste Körper* haben eine bestimmte Form. Ein Ziegelstein bleibt immer ein Quader, ein Ball eine Kugel, eine Konservendose ein Zylinder. Man kann den Körper stellen oder legen, man kann ihn in die verschiedensten Lagen versetzen, immer behält er seine Form bei. Auch sein Rauminhalt verändert sich nicht. Länge, Breite und Höhe bleiben stets gleich.

**Feste Körper haben einen bestimmten Rauminhalt und eine bestimmte Form.**

*Flüssige Körper* dagegen ändern ihre Gestalt je nach dem Gefäß, in dem sie sich befinden. Man kann ein Liter Wasser in einen engen Standzylinder, in einen runden Kolben oder in eine weite Schüssel gießen (vgl. auch Abb. 9/1). Immer nimmt das Wasser die Form des Gefäßes an. Aber stets bleibt es 1 l Wasser. Der Rauminhalt verändert sich dabei nicht.

**Flüssige Körper haben einen bestimmten Rauminhalt, aber keine bestimmte Form. Sie nehmen die Gestalt des Gefäßes an, in dem sie sich befinden.**

*Gase* lassen sich in jedem beliebigen Gefäß auffangen. Sie passen sich seiner Gestalt an. Fußball, Fahrradschlauch, Luftmatratzen beispielsweise geben der eingepumpten Luft eine bestimmte Form. Außerdem füllt eine bestimmte Luftmenge jeden Raum aus, in dem sie sich befindet.

**Gasförmige Körper haben keinen bestimmten Rauminhalt und keine bestimmte Form. Sie passen sich der Form des Gefäßes an, in dem sie sich befinden.**

#### **4. Fragen und Aufgaben:**

1. Welche gemeinsamen Eigenschaften haben alle Körper?
2. Welche Eigenschaften kennzeichnen die verschiedenen Aggregatzustände?
3. In welchem Aggregatzustand lassen sich Metalle am einfachsten formen?
4. Führe Beispiele an, bei denen ein Körper von einem Aggregatzustand in den anderen übergeht!
5. Erwärme einen Schmelzlöffel mit Stearinresten einer Kerze! Gieße das geschmolzene Stearin in eine Porzellanschale! Beobachte den Übergang von einem Aggregatzustand in den anderen!



## II. Wärmelehre

### 13. Die Temperaturmessung

**1. Die Temperatur.** Häufig haben wir schon die Worte *warm, heiß, kühl* oder *kalt* gebraucht. Wir wollten damit ausdrücken, wie wir einen Körper, mit dem wir in Berührung kommen, empfinden. So wird kochendes Wasser als *heiß* bezeichnet. Die Winterluft empfindet man als *kalt*. Das Wasser im Schwimmbecken oder im Teich wird im Sommer als *warm* empfunden. Im Frühjahr dagegen sind der Erdboden und die Gewässer noch recht *kühl*.

Für viele Zwecke braucht man aber genaue Angaben, wie *warm* oder wie *kalt* ein Körper ist. So muß das Wasser beim Einkochen einen bestimmten *Wärmezustand* haben, damit die Früchte nicht verderben. Der Gärtner im Treibhaus muß für einen gleichbleibenden *Wärmezustand* der Luft sorgen, denn nur dann können die Pflanzen gut gedeihen. Den *Wärmezustand* eines Körpers bezeichnet man als seine *Temperatur*.

Auch bei vielen anderen Vorgängen ist die *Temperatur* von Bedeutung. So dürfen eingemietete Kartoffeln weder zu *warm* noch zu *kalt* lagern. Der menschliche Körper hat eine bestimmte *normale Temperatur*. Abweichungen von dieser *Temperatur* sind ein Zeichen dafür, daß die Gesundheit gefährdet ist. In der chemischen Industrie ist die *Produktion bestimmter Stoffe* nur möglich, wenn sie eine bestimmte *Temperatur* haben.

**Die Temperatur ist der Wärmezustand eines Körpers.**

**2. Das Thermometer.** Unsere Empfindungen für *warm* und *kalt* sind nicht geeignet, die *Temperatur* eines Körpers richtig anzugeben. Gehen wir an einem warmen Sommertag in einen Hausflur, so empfinden wir ihn *kühl*. Kommen wir jedoch aus der kalten Winterluft in den gleichen Hausflur, so kommt er uns *warm* vor. Obwohl im Hausflur im Sommer und im Winter eine fast gleichmäßige *Temperatur* herrscht, haben wir jedoch sehr unterschiedliche Empfindungen. Unser *Wärmeempfinden* versagt außerdem bei hohen und niedrigen *Temperaturen*.

Zum Messen der *Temperatur* benötigt man wie bei allen Messungen ein Meßgerät. Wir haben alle schon einmal ein *Thermometer* benutzt. Es besteht aus einer *Kapillarrohre*, die an ihrem unteren Ende zum *Thermometergefäß* stark erweitert ist. In dem *Thermometergefäß* befindet sich eine Flüssigkeit, die je nach der *Temperatur* mehr oder weniger weit in der *Kapillare* hochsteigt. Als *Thermometerflüssigkeit* verwendet man Quecksilber, gefärbten Alkohol und Toluol, eine benzinartige Flüssigkeit. Damit störende äußere Einflüsse ausgeschaltet sind, ist die *Kapillare* annähernd luftleer gepumpt und oben zugeschmolzen. Zum Schutz ist das Glasgefäß auf einem Brettchen oder in einem Gehäuse befestigt, an dem auch die *Skala*

zum Ablesen der Temperatur aufgetragen ist.

Auf Grund der jeweiligen Höhe des Flüssigkeitsfadens kann die entsprechende Temperatur unabhängig von persönlichen, unsicheren Empfindungen an der Skale unmittelbar abgelesen werden. *Jeder Flüssigkeitshöhe entspricht eine bestimmte Temperatur.* Die ersten Flüssigkeitsthermometer wurden vor etwa 200 Jahren verwendet. Verschiedene Physiker entwickelten damals unterschiedlich geteilte Skalen. Heute ist allgemein die 1742 von *Celsius*, einem Professor in Upsala (Schweden), vorgeschlagene Skale gebräuchlich.

*Celsius* ging bei der Festlegung seiner Skale von zwei bestimmten Temperaturen aus, die durch zwei physikalische Vorgänge genau festgelegt sind. Er benutzte hierzu die *Temperaturen für das Gefrieren und das Sieden des Wassers.*

Hält man ein Thermometer mehrmals in ein Gefäß mit schmelzenden Eisstückchen, so sinkt die Quecksilbersäule stets bis zum gleichen Punkt (Abb. 85/1). Man bezeichnet diesen Punkt als den *Schmelzpunkt des Eises* oder *Gefrierpunkt des Wassers*; er wird auch *Eispunkt* genannt. Der Gefrierpunkt des Wassers wurde als *Fixpunkt* festgelegt und mit Null Grad ( $0^{\circ}$ ) bezeichnet. Bringt man nun das Thermometer wiederholt so in eine Kochflasche mit siedendem Wasser, daß es sich knapp über dem Wasser befindet, dann steigt das Ende des Quecksilberfadens immer wieder bis zum gleichen Punkt an, zum *Siedepunkt des Wassers* (Abb. 85/2). Der Siedepunkt des Wassers wurde als der andere Fixpunkt festgelegt und mit  $100^{\circ}$  bezeichnet. Diese Festlegung des Fixpunktes ist notwendig, um überall und zu jeder Zeit die Thermometerskalen überprüfen zu können.

Der Abstand zwischen beiden Fixpunkten ist in hundert gleiche Teilabstände, in *Grade*, unterteilt. Ein Teilabstand heißt ein Grad. Die so gefundene Teilung wird über die Skale hinaus fortgesetzt. Dadurch können auch Temperaturen über  $100^{\circ}$ , und unter  $0^{\circ}$  gemessen werden. Hinter die Angabe der Gradzahl setzt man noch den Buchstaben C, damit man weiß, daß es sich um die Celsiusskale handelt. Die Grade über Null werden mit + (plus), die Grade unter Null mit - (minus) gekennzeichnet. Das Pluszeichen wird jedoch meist weggelassen. Bei einer Temperaturangabe ohne Vorzeichen ist somit immer eine Temperatur über  $0^{\circ}\text{C}$  gemeint.  $5^{\circ}\text{C}$  bedeutet  $+5^{\circ}\text{C}$ . Temperaturangaben unter Null müssen stets mit - versehen sein, um Verwechslungen zu vermeiden.

**Die Celsiusskale hat als Fixpunkte den Eispunkt ( $0^{\circ}\text{C}$ ) und den Siedepunkt ( $100^{\circ}\text{C}$ ) des Wassers.**

**Der Abstand der Fixpunkte ist in hundert Grade eingeteilt. Der Abstand zweier benachbarter Teilstriche heißt ein Grad Celsius.**

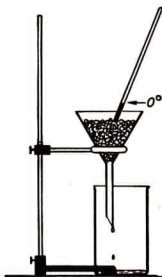


Abb. 85/1. Bestimmen des Gefrierpunktes des Wassers



Abb. 85/2. Bestimmen des Siedepunktes des Wassers

Steigt oder sinkt die Flüssigkeitssäule von einem Teilstrich bis zum anderen, dann bedeutet das eine Temperaturänderung um einen Grad. Bei Angabe von Temperaturänderungen benutzt man an Stelle von  $^{\circ}\text{C}$  die Abkürzung grd.

*Beispiel:* Die Temperatur stieg von  $-4^{\circ}\text{C}$  um 9 grd auf  $5^{\circ}\text{C}$ .

**3. Thermometerarten.** Der Meßbereich eines Thermometers richtet sich nach seinem Verwendungszweck. So haben *Zimmerthermometer* meist einen Meßbereich von  $-20^{\circ}\text{C}$  bis  $50^{\circ}\text{C}$ .

Die Außentemperatur mißt man mit einem *Außenthermometer*. Damit es nicht verwittert, sind Flüssigkeitsgefäß und Skale auf einer Milchglasscheibe angebracht. Der Meßbereich muß nach der Minusseite weiter als der eines Zimmerthermometers reichen, da im Winter Temperaturen von weniger als  $-20^{\circ}\text{C}$  auftreten können. Das Außenthermometer soll so angebracht sein, daß es nicht direkt vom Sonnenlicht getroffen wird. Dadurch würden sich falsche Werte für die wirkliche Außentemperatur ergeben. Man soll es daher möglichst an der Nordseite eines Gebäudes anbringen.

In Wetterstationen benutzt man *Minimum-Maximum-Thermometer*. Ihr Meßbereich erstreckt sich wie bei anderen Außenthermometern meist von  $-30^{\circ}\text{C}$  bis  $50^{\circ}\text{C}$  (Abb. 86/1). In einem U-förmigen Rohr befindet sich Quecksilber. Über dem Quecksilberfaden steht die eigentliche Thermometerflüssigkeit. Der linke Schenkel ist damit vollständig gefüllt, der rechte nur teilweise. Neben den beiden Schenkeln verlaufen zwei Skalen in entgegengesetzter Richtung. Ändert sich die Temperatur, so wird der Quecksilberfaden verschoben. In einem Schenkel sinkt der Quecksilberfaden, im anderen steigt er. Mit diesem Thermometer kann man für Wetterbeobachtungen die jeweils tiefste und höchste Temperatur während 24 Stunden festhalten. Je ein Stift in jedem Schenkel wird vom Quecksilber mitgeschoben. Geht das Quecksilber zurück, so verändern die Stifte ihre Lage nicht mehr. Die unteren Enden der Stifte geben dann die tiefste beziehungsweise höchste Tages-temperatur an.

Für die Kontrolle der Körpertemperatur benutzt man das *Fieberthermometer*. Seine Skale umfaßt den Temperaturbereich von  $35^{\circ}\text{C}$  bis  $42^{\circ}\text{C}$  (Abb. 86/2). Zur möglichst genauen Temperaturbestimmung ist bei diesem Thermometer die Kapillare enger als bei anderen Thermometerarten. Bei Erhöhung um 1 grd verschiebt sich das Quecksilberfadenende um eine verhältnismäßig große Strecke. Deshalb kann der Abstand von Grad zu Grad noch in Zehntelgrade unterteilt werden. Die normale Körpertemperatur liegt zwischen  $36^{\circ}\text{C}$  und  $37^{\circ}\text{C}$ . Die Temperatur von  $37^{\circ}\text{C}$  ist rot hervorgehoben. Erreicht bei einer Messung der Körpertemperatur der Quecksilber-

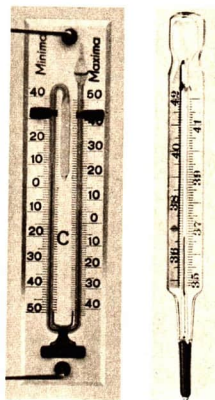


Abb. 86/1. Maximum-Minimum-Thermometer  
Abb. 86/2. Fieberthermometer

faden diese Marke oder steigt er sogar darüber hinaus, dann ist damit ein krankhafter Zustand angezeigt. Liegt die Temperatur unter  $36^{\circ}\text{C}$ , so spricht man von *Untertemperatur*. Eine Untertemperatur deutet ebenfalls auf eine Krankheit hin.

Damit der Quecksilberfaden nach dem Messen nicht sofort zurückgeht, sondern die Temperatur genau abgelesen werden kann, ist ein Glasstachel am Kapillaranfang angebracht. Geht das Quecksilber zurück, so reißt es an diesem Stachel ab (Abb. 87/1).

*Technische Thermometer* sind in schützenden Metallgehäusen untergebracht. Sie haben unterschiedliche Meßbereiche, die je nach dem Verwendungszweck zwischen  $-20^{\circ}\text{C}$  und  $600^{\circ}\text{C}$



Abb. 87/1



Abb. 87/2

Abb. 87/1. Stachel im unteren Teil der Kapillare

Abb. 87/2. Technisches Thermometer

Abb. 87/3. Einkochthermometer, a) Gesamtansicht, b) Thermometer, c) Ausschnitt aus der Thermometerskala

Abb. 87/4. Badethermometer

Abb. 87/5. Stabthermometer, a) Ausschnitt aus einer Gradscale, b) Ausschnitt aus einer Zehntelgradscale

Abb. 87/3

Abb. 87/4

Abb. 87/5

87



liegen. Sie werden in der chemischen Industrie und in anderen Produktionszweigen zur Messung der Temperaturen von Gasen und Flüssigkeiten verwendet. Ihre Wirkungsweise ist dieselbe wie die der bereits beschriebenen Thermometer (Abb. 87/2).

Die Abb. 87/3 bis 87/5 zeigen einige Thermometerarten, die im Haushalt und in der Forschung verwendet werden.

In der folgenden Tabelle sind einige wichtige Temperaturwerte zusammengestellt.

*Einige wichtige Temperaturen in °C*

|                                       |                   |
|---------------------------------------|-------------------|
| Inneres der Sonne                     | mehrere Millionen |
| Oberfläche der Sonne                  | etwa 6000         |
| Elektrischer Lichtbogen               | etwa 4000         |
| Flamme des Schweißbrenners            | etwa 2700         |
| Gasflamme (Bunsenbrenner)             | etwa 1700         |
| Kohlenfeuer                           | etwa 1300         |
| Kerzenflamme                          | etwa 1300         |
| Weißglut des Baustahls                | etwa 1300         |
| Rotglut des Baustahls (dunkelrot)     | etwa 700          |
| Siedepunkt des Wassers                | 100               |
| Menschlicher Körper                   | etwa 37           |
| Gefrierpunkt des Wassers              | 0                 |
| Kochsalz-Eis-Gemisch (Kältemischung)  | —21               |
| Tiefste Temperatur am Kältepol        | etwa —83          |
| Tiefste künstlich erzielte Temperatur | etwa —273         |

**4. Temperatur und Wärmemenge.** Soll die Temperatur eines Körpers erhöht werden, muß ihm Wärme zugeführt werden. Ein kleines dünnwandiges Becherglas wird mit 10 ml Wasser gefüllt, dessen Temperatur 20 °C beträgt. Man hält nun das Glas eine Minute lang über eine Kerzenflamme. Mißt man anschließend die Wassertemperatur, so erhält man einen Wert von etwa 50 °C. Durch Zuführung einer bestimmten Menge an Wärme wurde die Temperatur des Wassers um 30 grd erhöht. Führt man derselben Wassermenge eine Minute lang die Wärme von zwei Kerzenflammen zu, dann mißt man danach eine Wassertemperatur von etwa 80 °C. Je größer also die zugeführte Wärmemenge ist, um so höher steigt die Temperatur des erwärmten Körpers.

Erwärmt man nun 20 ml Wasser mit einer Kerzenflamme, so ergibt sich nach der gleichen Zeit nur eine Temperaturerhöhung um etwa 20 grd. Auch bei zwei Kerzenflammen erwärmen sich 20 ml Wasser nicht so stark wie die 10 ml Wasser beim ersten Versuch. Bei einer noch größeren Stoffmenge würde sich die Temperatur noch weniger erhöhen, wenn man die Stoffmenge in der gleichen Weise wie bei den anderen Versuchen erwärmt. Je größer somit die Stoffmenge ist, um so geringer wird sie durch eine bestimmte Wärmemenge erwärmt.

Die Versuche zeigen: Eine bestimmte Stoffmenge nimmt bei Zuführung verschiedener Wärmemengen unterschiedliche Temperaturen an. Ebenso werden unterschiedliche Temperaturen erreicht, wenn verschiedenen Stoffmengen die gleiche

Wärmemenge zugeführt wird. *Temperatur und Wärmemenge sind somit zwei Begriffe, die man streng unterscheiden muß.* Bezeichnet man einen Körper als heiß oder kalt, dann sind das Aussagen über seine Temperatur. Diese kann mit einem Thermometer gemessen werden. Damit aber ein Körper heiß wird, muß man ihm eine gewisse Wärmemenge zuführen. Diese Wärmemenge wird beispielsweise beim Verbrennen oder mit Hilfe des elektrischen Stromes gewonnen.

#### 5. Fragen und Aufgaben:

1. Beschreibe die Wirkungsweise eines Thermometers!
2. Um wieviel Grad hat sich die Temperatur verändert, wenn sie zuerst  $18^{\circ}\text{C}$  und dann  $26^{\circ}\text{C}$ ,  $11^{\circ}\text{C}$  und  $-2^{\circ}\text{C}$ ,  $-12^{\circ}\text{C}$  und  $-9^{\circ}\text{C}$ ,  $-5^{\circ}\text{C}$  und  $4^{\circ}\text{C}$  betrug?
3. Wie ändert sich die Temperatur, wenn
  - a) dem gleichen Körper verschiedene Wärmemengen oder
  - b) unterschiedlichen Stoffmengen die gleiche Wärmemenge zugeführt wird?

## 14. Wärmequellen

1. Die Entstehung der Wärme. Worauf ist es nun zurückzuführen, daß es im Sommer wärmer als im Winter ist? Die Erwärmung der Erdoberfläche und der Gegenstände, die sich darauf befinden, rührt bekanntlich von der Sonne her. Sie ist unsere wichtigste *Wärmequelle*. Die Stoffe, aus denen die Sonne besteht, sind gasförmig und tausendfach heißer als die Kohlenglut im Ofen. Deshalb leuchtet die Sonne trotz der großen Entfernung von 150 000 000 km so hell. Die Sonnenstrahlung ist so kräftig, daß davon der Erdboden, die Meere, die Gebäude und die Pflanzenwelt erwärmt werden.

Ehe der Mensch das Feuer zu nutzen wußte, war die Sonne seine einzige Wärmequelle. Im Laufe der Zeit lernte er, bestimmte Stoffe, wie Holz und Kohle, als Wärmequellen zu verwerten. Heute werden in der Industrie, in der Landwirtschaft und im Haushalt viele Stoffe als Wärmequellen verwendet: die *glühenden Heizdrähte* in der Kochplatte und im Bügeleisen, die *brennenden Briketts*, die *Stadtgasflamme* und der eingeschaltete *Infrarotstrahler* im Küchenhaus. Dies sind nur einige Wärmequellen. Sicher sind dir noch viele andere bekannt.

*Ein Körper, der Wärme aussendet, ist eine Wärmequelle.*

Eine im Haushalt und in der Industrie wichtige Wärmequelle ist das *Feuer*. Es entsteht, wenn bestimmte Stoffe, wie Kohle, Holz, Stadtgas usw., unter Luftzufuhr verbrennen. Solche Stoffe heißen *Brennstoffe*. Man unterscheidet:

*feste Brennstoffe:* zum Beispiel Holz, Torf, Braunkohle und Steinkohle,  
*flüssige Brennstoffe:* beispielsweise Öl, Petroleum, Spiritus und Benzin und  
*gasförmige Brennstoffe:* wie Stadtgas und Propan.

Werden diese Stoffe entzündet, brennen sie. Unter Aussendung von Wärme verändern sich die brennenden Stoffe.

#### Durch Verbrennen von Stoffen entsteht Wärme.

Befühlt man das Blatt einer Säge nach ihrer Benutzung, dann stellt man fest, daß es heiß ist. Auch andere Werkzeuge, wie Feilen und Bohrer, werden heiß, wenn



Abb. 90/1. Kühlung beim Drehen

man sie benutzt. Durch die Erwärmung können sich die Eigenschaften der Stoffe verändern. Wird zum Beispiel ein Bohrer sehr heiß, so verliert er seine Härte und ist daher schnell stumpf. Aus diesem Grunde werden in der metallverarbeitenden Industrie die Werkstücke und die Werkzeuge bei der Bearbeitung fortwährend durch ein Gemisch von Öl und Wasser gekühlt (Abb. 90/1). Lassen wir uns langsam an einer Kletterstange heruntergleiten, so erwärmen sich unsere Hände. Infolge der *Reibung* zwischen der Kletterstange und den Händen entsteht Wärme. Dies gilt für alle Vorgänge, bei denen Körper aneinander reiben. Deshalb müssen die Lager von Wellen und Achsen geschmiert werden. Auf diese Weise wird die Reibung herabgesetzt und eine zu starke Erwärmung vermieden.

Andererseits kann die *Reibungswärme* auch ausgenutzt werden, zum Beispiel beim Zündholz, beim Feuerzeug und beim Gasanzünder (Abb. 90/2). Der Feuerstein des Gasanzünders gleitet über eine Reibfläche. Dadurch erwärmt er sich so stark, daß glühende Teilchen von ihm abgerissen werden. Diese entzünden das Gas. Der Urmensch entfachte bereits auf ähnliche Weise Feuer. Er rieb verschiedene Hölzer so lange aneinander, bis dicht neben der Reibstelle liegende, leicht entflammare Stoffe sich entzündeten.

*Biegt* man einen Draht mehrmals kurz hintereinander an der gleichen Stelle, so erwärmt er sich ebenfalls. Desgleichen wird ein Blech warm, wenn es längere Zeit mit dem Hammer kräftig *geschlagen* wird. Zur Prüfung der Festigkeit von Werkstoffen werden diese in *Zerreißmaschinen* gedehnt, bis sie auseinanderreißen. Die Bruchstelle erwärmt sich dabei (vgl. Abb. 42/2).

Bei allen geschilderten Vorgängen: beim *Reiben*, beim *Schlagen*, beim *Biegen*, beim *Dehnen* und beim *Trennen*, wird die Form der Körper verändert. Dabei werden entweder Teilchen abgerissen, oder die kleinsten Teilchen, aus denen der Stoff besteht, werden im Innern des Körpers gegeneinander verschoben. Als Folge der Formänderung wird der Körper warm.

**Durch Formänderung von Körpern beim Reiben, Schlagen, Biegen oder Trennen entsteht Wärme.**

Im Haushalt, in der Industrie und in der Landwirtschaft werden viele Geräte verwendet,

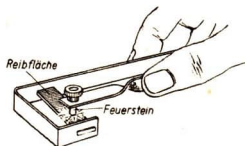
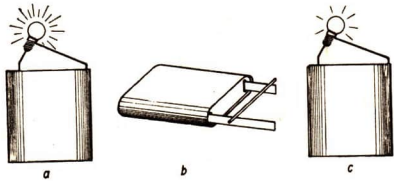


Abb. 90/2. Gasanzünder

Abb. 91/1. Erwärmen eines Drahtes mit Hilfe des elektrischen Stromes, a) die Glühlampe leuchtet normal, b) ein dünner Draht wird über die beiden Anschlüsse gelegt, c) die Glühlampe leuchtet nur noch schwach.



bei denen mit Hilfe des elektrischen Stromes Wärme gewonnen wird. Legt man auf die beiden Anschlüsse einer neuen Taschenlampenbatterie einen dünnen Draht, so beobachtet man nach geraumer Zeit, daß der Draht warm geworden ist (Abb. 91/1). Hält man nun an die beiden Anschlüsse eine kleine Glühlampe, so leuchtet sie nur noch schwach. Die Batterie hat sich somit teilweise entladen. Das zeigt, daß der Draht durch den elektrischen Strom der Batterie erwärmt wurde.

Ein ähnlicher Vorgang spielt sich in allen *elektrischen Wärmegegeräten* ab. Man läßt auch bei ihnen den elektrischen Strom durch dünne Drähte fließen. Diese werden im allgemeinen so stark erwärmt, daß sie glühen. Elektrische Wärmegegeräten sind zum Beispiel das Bügeleisen, die elektrische Kochplatte, der elektrische Löt-kolben, das Heizkissen, der Tauchsieder und die elektrischen Heizöfen.

**Mit Hilfe des elektrischen Stromes kann Wärme gewonnen werden.**

**2. Wichtige Brennstoffe.** Der älteste bekannte *Brennstoff* ist das *Holz*. Auch heute noch ist Holz ein wichtiger Brennstoff. Wollte man jedoch alle Öfen und auch große Kesselanlagen nur mit Holz feuern, so wäre sehr viel Holz nötig. Holz wächst aber nur langsam nach, und die Waldbestände würden zu stark abnehmen. Holz



Abb. 91/2. Braunkohlentagebau



ist aber nicht nur als Brennstoff von Bedeutung, sondern es ist auch ein sehr wertvoller Rohstoff für viele Industriezweige. Durch Zerfasern und Zerschleifen gewinnt man Zellstoff und Zellulose. Daraus stellt man unter anderem Papier, Kunstfasern und Verbandstoffe her. Weiterhin wird beim Haus- und Möbelbau und bei der Herstellung vieler Gebrauchsgegenstände Holz verarbeitet. Um also die Versorgung der Industrie mit Holz als Rohstoff zu sichern, darf es nur zu einem geringen Teil als Brennstoff verwendet werden. Außerdem sollte hierfür nur solches Holz benutzt werden, das als Nutzholz ungeeignet ist.

Einer der wichtigsten Bodenschätze in unserer Republik ist die *Kohle*. Kohle kommt in der Natur als *Braunkohle* und als *Steinkohle* vor. Beide entstanden vor Millionen von Jahren aus versunkenen Wäldern. Die Braunkohle wird meist aus Tagebauen gefördert (Abb. 91/2). Große Braunkohlenlager befinden sich bei uns im Gebiet von Halle, Zeitz, Meuselwitz und Hoyerswerda. Da die Braunkohle der wichtigste Rohstoff für die chemische Industrie ist, aber auch in großem Maße als Brennmaterial, insbesondere für Kraftwerke, benötigt wird, sieht der Siebenjahrplan der Deutschen Demokratischen Republik eine gewaltige Steigerung der Braunkohlenförderung vor. Die Abb. 92/1 veranschaulicht, in welchem starkem Maße die Förderung gegenüber 1948 anwachsen wird. Große Industrieanlagen werden zu diesem Zweck gebaut, zum Beispiel das Kombinat „Schwarze Pumpe“. Unsere Republik hat die größte Braunkohlenproduktion der Welt.

Im Gegensatz zur Braunkohle wird die Steinkohle meist im Untertagebau gebrochen. Unsere Republik hat nur geringe Steinkohlenvorkommen, und zwar im Zwickauer Revier.

Die unmittelbar aus der Grube gewonnene Rohbraunkohle ist zum Heizen nur wenig geeignet. Sie hat einen zu hohen Wassergehalt. Daher wird die Rohbraunkohle zunächst veredelt. In Brikettfabriken wird die Rohbraunkohle gereinigt, getrocknet und schließlich zu *Briketts* gepreßt. Diese heizen wesentlich besser. Nach neuen Verfahren, die in unserer Republik entwickelt wurden, können Briketts

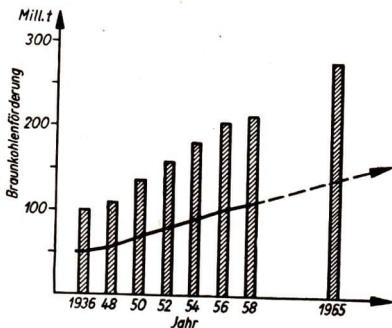


Abb. 92/1. Braunkohlenförderung

durch Schwelen zu *Koks* veredelt werden. Dadurch erhält man eine noch größere Heizkraft. Dieser Koks wird in Calbe zur Gewinnung von Eisen benötigt. Das bedeutendste Werk zur Verkokung von Braunkohle steht in Lauchhammer. Beim Schwelen der Briketts wird gleichzeitig Stadtgas gewonnen, das zum Heizen verwendet werden kann.

Braunkohle ist aber nicht nur ein wichtiger Brennstoff, sondern auch der wichtigste Rohstoff der chemischen Industrie. Aus ihm werden Plaste, Treibstoff, Teer, Farben, Arzneimittel und vieles

andere hergestellt. Da in der chemischen Industrie die Kohle weit besser ausgenutzt wird als durch Verbrennen, sind unsere Wissenschaftler ständig bemüht, neue Energiequellen zu erschließen, damit mehr Braunkohle für die chemische Industrie zur Verfügung steht.

Vielfach dient in Industriebetrieben, auf Schiffen und bei größeren Heizungsanlagen Öl als Brennstoff. Dieses Heizöl wird aus Erdöl gewonnen, das ebenso wie die Kohle vor längerer Zeit auf der Erde entstanden ist. Große Mengen tierischer und pflanzlicher Reste wandelten sich im Laufe der Jahrtausende in Erdöl um. Es wird dadurch gewonnen, daß man bis in die tiefen, ölhaltigen Erdschichten Bohrlöcher treibt. Durch diese Bohrlöcher quillt dann das Öl hoch (Abb. 93/1). Es wird in Raffinerien gereinigt und zu Benzin, Schmieröl, Dieselöl, Schmierfett und Heizöl weiter verarbeitet. Das Heizöl erzeugt beim Verbrennen eine sehr große Wärme. Es ist vorteilhafter als Kohle, da es besser ausgenutzt werden kann und keine Asche hinterläßt.

Auch in der Deutschen Demokratischen Republik gibt es Erdölvorkommen. Sie sind zwar nicht so ergiebig wie die Vorkommen anderer Länder, aber unsere Vorkommen sollen soweit erschlossen werden, daß im Laufe des Siebenjahresplanes eine wesentliche Steigerung erreicht werden kann. Daneben soll der Import von Erdöl aus der Sowjetunion bedeutend erweitert werden. In sozialistischer Zusammenarbeit zwischen der Deutschen Demokratischen Republik, der Sowjetunion und der Volksrepublik Polen wird deshalb eine lange Rohrleitung gebaut, mit der das Erdöl aus der Sowjetunion bis zu uns befördert werden kann (Abb. 93/2). In Schwedt an der Oder, der Endstation der Erdölleitung, entsteht ein neues, riesiges Werk zur Verarbeitung des Erdöls. Dadurch wird in großem Maße die Versorgung mit Brennstoff und den Erzeugnissen aus Erdöl verbessert.



Abb. 93/1. Bohrturm

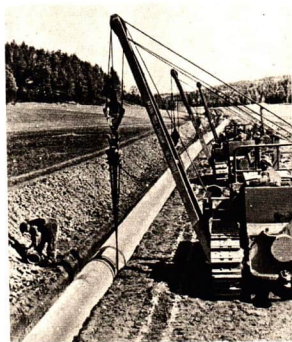


Abb. 93/2. Verlegen einer Ölleitung, auch Pipeline genannt

Abb. 94/1  
Steigerung  
der Erdgas-  
gewinnung  
im Sieben-  
jahrplan

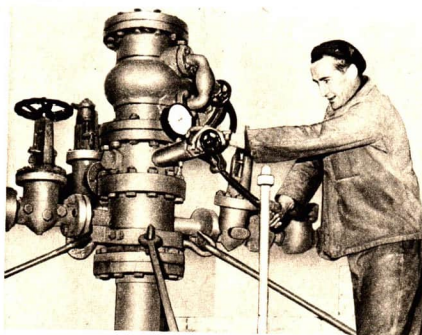
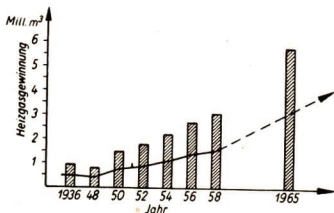


Abb. 94/2. Erdgassonde

Zur Erwärmung von Werkstücken in Fabriken und zu Kochzwecken wird vielfach Gas als Brennstoff verwendet. Es erzeugt ebenfalls viel Wärme. Dieses Gas entsteht als Nebenprodukt bei der Verkokung der Kohle unter anderem in der Großkokerei Lauchhammer und im Kombinat „Schwarze Pumpe“. Außerdem wird das Gas in besonderen Gaswerken gewonnen. In diesem Falle ist es das Hauptprodukt. Das Gas wird in großen Gasbehältern gesammelt und durch weitverzweigte Rohrnetze den Verbrauchern zugeführt (vgl. Abb. 9/2). In manchen Orten dient das Gas auch noch zur Straßenbeleuchtung. In ländlichen Bezirken wird Gas in Stahlflaschen verwendet. Hierzu wird vorwiegend Propangas verwendet.

In zunehmendem Maße beutet man heute auch *Erdgasvorkommen* aus, wie sie sich beispielsweise in Nordthüringen befinden (Abb. 94/1). Das sind Gase, die in tiefen Erdschichten aufgefangen, gereinigt und dem Leitungsnetz zugeführt werden (Abb. 94/2).

Heizgase sind leicht entzündlich. Vermischen sie sich mit Luft, dann besteht Explosionsgefahr. Meist sind sie zudem giftig. Gase werden deshalb in Spezialflaschen und -behältern aufbewahrt und transportiert. Im Umgang mit Gasen muß man vorsichtig und gewissenhaft sein.

**3. Öfen und Heizungen.** Wohnräume erwärmt man unter anderem mit Hilfe von *Kachelöfen*. Diese Öfen erwärmen sich langsam, da die Kacheln nur langsam die Wärme aufnehmen. Ist der Ofen aber warm, so gibt er eine lange Zeit die aufgespeicherte Wärme wieder ab. Er speichert somit die Wärme. Die Wärme des Feuers und der heißen Rauchgase wird beim Kachelofen dadurch gut ausgenutzt, daß die Gase durch viele Züge geleitet werden, ehe sie in den Schornstein abziehen (Abb. 95/1). Sie geben ihre Wärme auf dem langen Wege zum größten Teil an die Kacheln ab. Bei Kachelöfen darf die Luftzufuhr durch Schließen der

Türen nicht zu früh unterbrochen werden. Einmal verbrennen die Kohlen dann nur unvollständig, und wertvolle wärmespendende Gasmengen ziehen nutzlos in den Schornstein. Zum anderen können sich die noch nicht verbrannten Gase teilweise in den Zügen versetzen. Es besteht dann Explosionsgefahr, wenn beim Öffnen der Ofentür die Flammen wieder hochschlagen. Schließlich können giftige Gase durch Ritzen des Ofens in die Wohnung strömen und so zu Vergiftungen führen.

Auch *Gasöfen* und *elektrische Öfen* dienen zur Raumbeheizung. In Gasöfen werden durch die heißen Gasflammen großflächige Lamellen erwärmt. Zwischen ihnen streicht die Zimmerluft hindurch und nimmt Wärme auf. Auf diese Weise wird die Luft im Raum sehr schnell erwärmt.

*Elektrische Speicheröfen* werden nachts eingeschaltet und speichern dann die Wärme auf. Tagsüber geben diese Öfen bei abgeschaltetem Strom die Wärme wieder an den Raum ab. Die elektrischen Speicheröfen werden nur nachts in Betrieb gesetzt, weil sie viel Strom verbrauchen. Nachts wird in Industrie und Verkehr wenig elektrischer Strom benötigt. In den Spitzenbelastungszeiten dagegen dürfen solche Öfen nicht eingeschaltet werden. Besonders in dieser Zeit müssen wir alle mit elektrischer Energie sparsam umgehen, damit die Industrie ausreichend versorgt wird.

Der *Kochherd* soll gegenüber dem Zimmerofen möglichst schnell und stark die Wärme, insbesondere an die Herdplatte, abgeben. Darum sind Rost und Feuerraum kleiner und liegen nur wenig unter der Herdplatte. Dadurch wird das Feuer breit unter der Herdplatte entlanggeführt, so daß sich diese schnell und gleichmäßig erwärmt. Das Feuer wird um so besser ausgenutzt, je kräftiger der Zug ist. Er läßt aber schnell nach, wenn Asche, Flugstaub und Ruß nicht genügend entfernt wurden. Der Zug darf aber auch nicht zu stark sein, da sonst ein Teil der Schwelgase unverbrannt entweichen würde (Abb. 95/2).

Sauber, schnell arbeitsbereit und wirtschaftlich ist der *Gaskocher*. Die Abbildung 95/3 zeigt den *Brenner* eines Gaskochers. Aus einer Düse strömt das Gas. Dabei wird

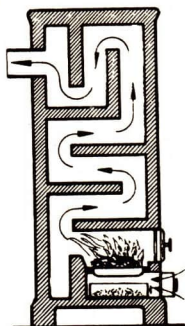


Abb. 95/1. Schnitt durch einen Kachelofen mit horizontalen Zügen

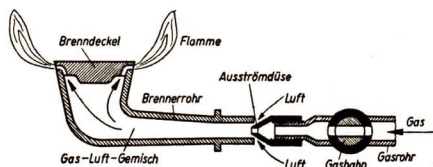
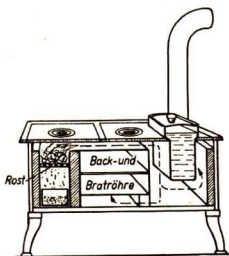


Abb. 95/3. Brenner eines Gaskochers

Abb. 95/2. Feuerraum eines Herdes



Luft mitgerissen und mit dem Gas vermischt. Die Düse muß so eingestellt sein, daß gerade genügend Luft zur Verbrennung angesaugt wird. Bei falschem Gas-Luft-Gemisch sinkt entweder die Temperatur der Flamme oder die Flamme schlägt zurück. Damit die Gasflamme möglichst breit und gleichmäßig unter dem Topfboden verteilt ist, wird sie durch den Brenndeckel in viele Einzelflämmchen zerlegt. Am besten wird die Wärme der Gasflamme ausgenutzt, wenn die Größe des Topfbodens mit der Flammenbreite übereinstimmt. Durch Drosseln der Gaszufuhr kann die Flamme den jeweiligen Erfordernissen angepaßt werden. So sollte die Flamme auf klein gestellt werden, wenn Wasser oder eine Speise, die bereits kochen, weiterkochen sollen. Auf diese Weise kann Gas gespart und trotzdem der gleiche Zweck erreicht werden. Die kleine Flamme verbraucht nur etwa ein Zehntel der Gasmenge der vollen Flamme. Da das Stadtgas giftig ist, achte man stets darauf, daß der Kocher in Ordnung ist und sachgemäß bedient wird. Die Hähne am Kocher und der Haupthahn sind zu schließen, wenn der Kocher nicht benutzt wird. Nachts sollte auch der Hahn am Zähler geschlossen werden.

Der *Bunsenbrenner* wirkt ähnlich wie der Gasbrenner des Kochers (Abb. 96/1). Die Flamme wird jedoch nicht zerteilt. Das Gas-Luft-Gemisch kann mit einer Hülse geregelt werden, die auf dem Brennrohr drehbar gelagert ist. Beim Drehen der Hülse werden die Luftlöcher mehr oder weniger freigegeben. Dadurch wird die

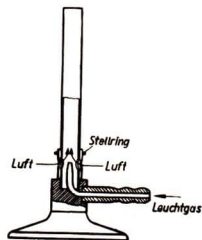


Abb. 96/1. Bunsenbrenner

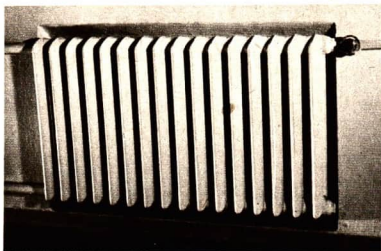
Luftzufuhr verändert. Das günstigste Gas-Luft-Gemisch ist dann vorhanden, wenn die Flamme bläulich leuchtend und lautlos brennt.

Von großer Wirtschaftlichkeit und Sicherheit sind die *elektrischen Herde* (Abb. 96/2). Durch Schalter können wahlweise die einzelnen Kochplatten des Herdes und die Backröhre eingeschaltet werden. Die Schalter sind so gebaut, daß damit verschiedene Temperaturen der Platten eingestellt werden können. In jeder Platte sind zwei Heizdrähte in feuerfesten Stoff eingegossen. Bei Stellung III durchfließt der Strom beide Drähte, wodurch die Platte stark erwärmt wird. Bei Stellung II ist nur einer der Heizdrähte eingeschaltet, so daß die Platte weniger stark erwärmt wird, bei Stellung I ist nur der andere Draht eingeschaltet, so daß die Platte noch schwächer erwärmt wird. Mit Hilfe dieses Schalters kann ebenso wie beim Gaskocher die Temperatur eingestellt werden,



Abb. 96/2. Moderner elektrischer Herd

Abb. 97/1. Radiator



die gerade notwendig ist. Soll Wasser oder eine Speise zum Kochen gebracht und dann am Kochen gehalten werden, so wird man den Schalter auf III stellen, bis das Wasser siedet. Dann schaltet man auf II oder, wenn möglich, sogar auf I. Auf diese Weise kann elektrische Energie gespart werden. Die Wärme wird von der Kochplatte dann am nutz-

bringendsten auf den Topf übertragen, wenn dessen Boden mit seiner ganzen Fläche die Platte berührt und genauso groß ist wie diese.

Zur Verminderung des Schmutzanfalles und zur günstigeren Ausnutzung der Brennstoffe werden in zunehmendem Maße *zentrale Beheizungsanlagen* gebaut. Bei den sogenannten *Etagenheizungen* befindet sich in der Küche oder in einem Nebenraum der Wohnung ein Heizkessel, in dem Wasser erwärmt wird. Dieses gelangt durch Rohrleitungen in die Heizkörper, in die *Radiatoren*, der einzelnen Räume (Abb. 97/1). Durch die besondere Bauart der Radiatoren erhält man eine große Heizfläche. Jeder Heizkörper kann gesondert abgestellt werden.

Noch zweckmäßiger sind *Zentralheizungen*, durch die ganze Gebäude beheizt werden. Meistens steht dann der Heizkessel in einem feuerfest gebauten Keller- oder Kellerraum. Die Heizkessel sind vielfach so eingerichtet, daß darin verschiedene Brennstoffe, wie Braunkohle, Briketts und Steinkohle unter günstigster Ausnutzung der entstehenden Wärme verbrannt werden können. Bei Ölheizung befindet sich am Kessel ein Gebläse, durch das das Öl in den Feuerraum hineingesprüht und dort verbrannt wird.

In der Nähe von Kraftwerken oder Industrieanlagen, in denen größere Mengen heißer Gase oder heißen Wassers anfallen, werden diese zur zentralen Beheizung von Gebäuden ausgenutzt. Auf diese Weise wird der Nutzen dieser Betriebe erhöht. Größere Komplexe von Neubauten werden von einem besonderen *Fernheizwerk* aus beheizt. Neben der Arbeitserleichterung und der Beseitigung des Ascheanfalles in den Wohnungen wird durch die Zentralheizung auch die Brandgefahr wesentlich verringert.

**4. Wärmegeräte.** In vielen Produktionszweigen werden Wärmegeräte eingesetzt. In größeren Werkstätten verwendet man elektrisch oder gasbeheizte *Muffelöfen*, um Werkstücke bis zur Rotglut zu erhitzen. Sie können bekanntlich dann besser bearbeitet werden. Die Muffelöfen ähneln der Backröhre eines elektrischen Kochherdes. Sie sind aber größer und aus feuerfesten keramischen Stoffen gebaut (Abb. 98/1).

In Töpfereien, in der Porzellanherstellung und in Ziegeleien werden bei großen Anlagen kohlebeheizte, bei kleineren Anlagen elektrisch beheizte *Brennöfen* verwendet (Abb. 98/2). Diese Brennöfen wirken ähnlich wie die Muffelöfen.

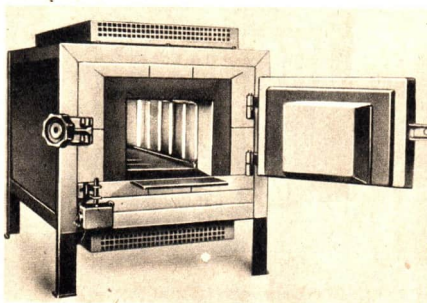


Abb. 98/1. Muffelofen

Viele unserer landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften verfügen über elektrisch beheizte *Futterdämpfer* (Abb. 98/3). Am unteren Ende des zylindrischen Gefäßes ist ein Heizkörper wasserdicht eingebaut, der wie eine elektrische Kochplatte wirkt. Der darüber befindliche Behälterteil nimmt das Wasser auf. Über dem Wasserraum

hängt ein durchlöcherter Einsatz, in den die Kartoffeln entleert werden können. Das Oberteil seitlich gekippt werden.

*Brutstränke* werden ebenfalls elektrisch beheizt (Abb. 99/1). Durch Regler kann die Stärke des elektrischen Stromes und damit die notwendige Temperatur

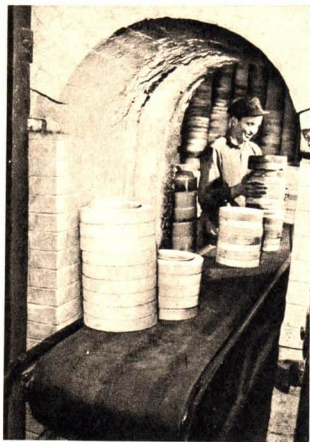


Abb. 98/2. Blick in einen Brennofen



Abb. 98/3. Elektrischer Futterdämpfer



Abb. 99/2. Heizeinrichtung im Kükenhaus

Abb. 99/1. Brutschrank

genau eingestellt werden. Auf diese Weise erreicht man, daß im Brutschrank die für die Entwicklung der Eier erforderliche Temperatur herrscht, und daß sie immer gleich bleibt.

Junge Hühner, Gänse und Enten müssen wie andere junge Nutztiere während der ersten Lebenswochen zusätzliche Wärme erhalten. Dazu dienen beispielsweise die *Kükenhäuser*, *Wärmeglucken* usw. Sie werden meist durch Infrarotlampen, eine besondere Glühlampenart, oder andere Wärmestrahler beheizt (Abb. 99/2).

In den Werkstätten der LPG und in Schmieden müssen die Werkstücke zum Bearbeiten erwärmt werden. Im allgemeinen verwendet man hierzu *Schmiedefeuer*. Als Brennstoff dient Steinkohle. Die Verbrennungsluft wird mit Hilfe eines Gebläses zugeführt, so daß die Kohle mit heißer Flamme ver-



Abb. 99/3. Elektroschweißen



brennt. Die Werkstücke werden zwischen die brennenden Kohlen gelegt und können so bis zum Glühen erhitzt werden.

Werkstücke werden häufig durch *Schweißen* miteinander verbunden. Hierbei werden die Stellen, an denen sich die Teile verbinden sollen, so stark erhitzt, daß sie flüssig werden. An den Rändern der Werkstücke fließt das Metall dann ineinander. Nach dem Erstarren sind die Teile fest miteinander verbunden. Zur Erzeugung der nötigen Wärme verwendet man beim *Autogenschweißen* die heiße Flamme von verbrennendem Azethylen- oder Wasserstoffgas. Beim *Elektroschweißen* wird die Wärme durch einen starken elektrischen Lichtbogen erzeugt (Abb. 99/3).

#### 5. Fragen und Aufgaben:

1. Nenne Vorgänge, bei denen auf verschiedene Arten Wärme entsteht!
2. Warum gießt man beim Schleifen eines Gegenstandes Wasser auf den Schleifstein?
3. Welche Vorteile haben Zentralheizungen und elektrische Heizungsanlagen gegenüber einfachen Öfen?

### 15. Die Wärmeausdehnung

**1. Die Ausdehnung der flüssigen Körper.** Beim Thermometer wurde die Tatsache ausgenutzt, daß die Länge einer Flüssigkeitssäule zunimmt, wenn die Temperatur steigt. Erwärmung und Volumänderung der Flüssigkeit hängen offenbar eng zusammen.

Um diese Abhängigkeit näher zu untersuchen, füllen wir einen Kochkolben bis zum Rande mit kaltem gefärbtem Wasser.

Diesen Kolben verschließen wir mit einem durchbohrten Stopfen, durch den wir eine lange, enge Glasröhre stecken (Abb. 100/1). Da der Stopfen das Wasser verdrängt, steigt es etwas im Rohr hoch. Auf einem am Rohr befestigten Pappstreifen wird der augenblickliche Wasserstand markiert. Nun taucht man den Kochkolben in heißes Wasser. Infolgedessen erwärmt sich auch das Wasser im Kolben. Dabei beobachtet man ein Steigen der Wassersäule im Rohr. Da die Wassermenge selbst nicht verändert wurde, kann sich nur der *Rauminhalt der eingeschlossenen Wassermenge vergrößert haben* (Abb. 100/1). Verwendet man als Kolbenflüssigkeit gefärbten Spiritus oder Petroleum, so beobachtet man beim Erwärmen

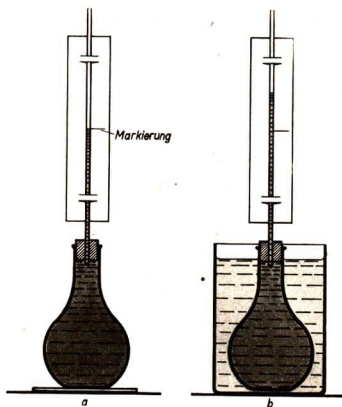


Abb. 100/1. Ausdehnung von Wasser beim Erwärmen

den gleichen Vorgang. Diese Flüssigkeiten steigen jedoch schon bei geringer Erwärmung erheblich im Rohr.

**Flüssigkeiten dehnen sich beim Erwärmen je nach dem Stoff verschieden stark aus.**

Entzieht man der eingeschlossenen Flüssigkeitsmenge wieder Wärme, indem man den Kolben in kaltes Wasser stellt, dann sinkt die Flüssigkeitssäule wieder im Steigrohr. Das Volumen der Flüssigkeitsmenge nimmt also beim Abkühlen ab.

**Beim Abkühlen ziehen sich die Flüssigkeiten zusammen.**

**2. Die Ausdehnung der gasförmigen Körper.** Der Kochkolben wird ausgeschüttet, so daß sich nun Luft in ihm befindet. Man taucht die Anordnung mit dem Rohr schräg nach unten in ein mit Wasser gefülltes Becherglas. Wird nun der Kochkolben vorsichtig mit einer Flamme erwärmt, so *entweichen Luftblasen* aus dem Rohr (Abb. 101/1a). Dies ist ein Zeichen dafür, daß sich das Luftvolumen infolge der Erwärmung vergrößert hat. Je stärker die Erwärmung ist, um so mehr nimmt das Volumen zu, was am stärkeren Entweichen von Luftblasen sichtbar wird. Läßt man nun den Kolben und die darin befindliche Luft sich abkühlen, so *dringt Wasser aus dem Becherglas in das Rohr*. Das Volumen der eingeschlossenen Luftmenge hat abgenommen (Abb. 101/1b). Das gleiche Ergebnis haben Versuche, bei denen der Kolben mit einem anderen Gas gefüllt ist.

**Gase dehnen sich beim Erwärmen stark aus, beim Abkühlen ziehen sie sich wieder zusammen.**

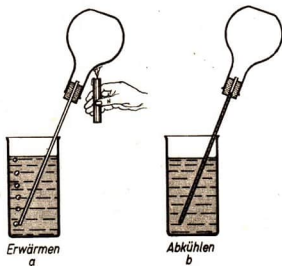


Abb. 101/1. Ausdehnung der Luft beim Erwärmen

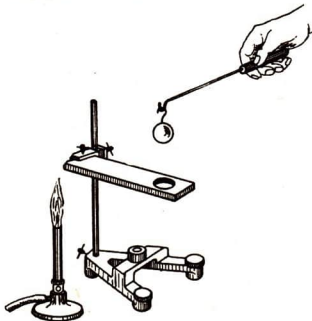


Abb. 101/2. Ausdehnen fester Körper beim Erwärmen

**3. Die Ausdehnung fester Körper.** Auch feste Körper dehnen sich aus, wenn sie erwärmt werden. Eine Metallkugel paßt bei Zimmertemperatur gerade noch durch eine Bohrung hindurch (Abb. 101/2). Erwärmt man die Kugel stark, so sitzt sie auf und fällt erst hindurch, wenn sie sich wieder etwas abgekühlt hat. Hierbei spielen sich jedoch zwei Vorgänge ab. Einmal zieht sich die Kugel infolge der Ab-

kühlung zusammen. Zum anderen vergrößert sich der Durchmesser der Bohrung; denn die Kugel gibt ja auch Wärme an das Eisen ab, so daß es sich erwärmt.

Der folgende Versuch zeigt ebenfalls die Längenänderung fester Körper bei Temperaturänderung. Zwischen zwei Stativen ist ein Draht gespannt, an dem in der Mitte ein Wägestück hängt. Wird der Draht erwärmt, sinkt das Wägestück merklich, weil sich der Draht ausdehnt. Bei der Abkühlung zieht sich der Draht zusammen und hebt den Körper wieder an.

**Feste Körper dehnen sich  
bei Erwärmung aus und  
ziehen sich bei Abkühlung  
zusammen.**

*Ausdehnung von Stäben beim Erwärmen  
um 100 grad*

Wie die Flüssigkeiten, so haben auch die verschiedenen Metalle und andere feste Stoffe eine unterschiedlich große Ausdehnung bei gleicher Erwärmung. Die nebenstehende Tabelle zeigt die sehr unterschiedliche Ausdehnung einiger fester Stoffe. Die genaue Kenntnis dieser Werte ist für die Technik von großer Bedeutung, da die Wärmeausdehnung stets berücksichtigt werden muß.

| Stoff<br>Stablänge 1000 mm | Ausdehnung in mm bei<br>Erwärmung um 100 grad |
|----------------------------|-----------------------------------------------|
| Zink                       | 3,0                                           |
| Aluminium                  | 2,2                                           |
| Messing                    | 1,9                                           |
| Kupfer                     | 1,6                                           |
| Eisen                      | 1,2                                           |
| Beton                      | 1,2                                           |
| Glas                       | 0,9                                           |
| Holz                       | 0,3                                           |

**4. Anwendungen der Wärmeausdehnung.** Bei der Wärmeausdehnung treten große *Kraftwirkungen* auf. Diese müssen stets beachtet werden, damit Zerstörungen vermieden werden. Dickwandige Einmachgläser und Flaschen erwärmt man langsam vor dem Einfüllen heißer Säfte oder Gelees. Anderenfalls springen die Gläser, weil sich die schnell erwärmten inneren Schichten der dicken Glaswände sofort stark ausdehnen, während die noch kühleren äußeren Schichten sich nicht verändern. Gläser, die plötzlichen starken Erwärmungen oder Abkühlungen standhalten sollen, sind deshalb aus dünnem Glas besonderer Zusammensetzung hergestellt. Dieser Forderung wird das bekannte Jenaer Glas gerecht.

Wie die obenstehende Tabelle zeigt, ist die Längenausdehnung kurzer fester Körper nur gering. Sobald es sich aber um größere Längen handelt, nimmt auch die Längenausdehnung beachtliche Werte an. Daher müssen zum Beispiel beim Bau von Brücken die möglichen Längenänderungen infolge von Temperaturschwankungen berücksichtigt werden. Sieht man sich die Auflager einer Brücke an, so beobachtet man, daß die Brücke nur an dem einen Ende unverrückbar mit dem Pfeiler verbunden ist. Das andere Ende ist auf Rollen gelagert (Abb. 103/1). Auf diese Weise kann die Brücke bei Längenänderungen nachgeben.

In langen, freiliegenden Rohrleitungen für heiße Gase und heiße Flüssigkeiten werden in bestimmten Abständen sogenannte *Dehnungsausgleicher* eingebaut. Das sind elastische Rohrschleifen, deren Krümmung sich bei Temperaturschwankungen leicht ändern kann (Abb. 103/2). Längenänderungen werden auf diese Weise ausgeglichen, so daß Rohrbrüche vermieden werden.

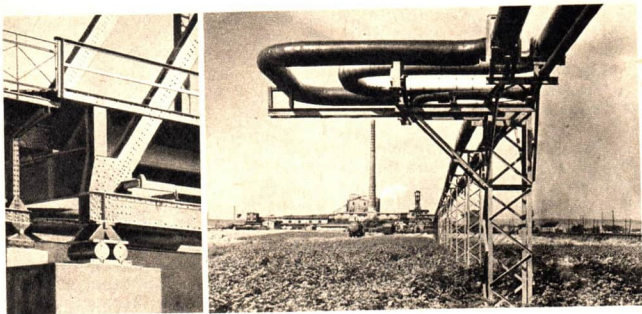


Abb. 108/1. Lagerung einer Brücke      Abb. 108/2. Dehnungsausgleicher

Werden die Lager von Wellen nicht genügend geschmiert, so vergrößert sich die Reibung. Infolgedessen erwärmt sich die Welle sehr stark und dehnt sich aus. Die Ausdehnung kann so groß werden, daß die Welle zunächst klemmt und schließlich festsitzt. Schäden an den Maschinen sind die Folge davon.

Die *Freileitungen* des elektrischen Versorgungsnetzes und des Telefonnetzes müssen immer etwas durchhängen. In der kalten Luft des Winters ziehen sie sich zusammen und reißen, wenn sie im Sommer zu straff gespannt wurden.

Die Spalten zwischen den Betonplatten der Autobahnen sind mit plastischem Teerpech gefüllt. Bei Wärmeausdehnung der Platten verengt sich der Spalt. Der Teer gibt nach und quillt teilweise heraus. Im Winter spielt sich der umgekehrte Vorgang ab. Durch die Teerpechfüllung wird vermieden, daß sich Wasser in den Spalten sammelt und dadurch Schäden entstehen. Fahrbahndecken aus Zement ohne Dehnungsfugen können im Winter reißen und sich im Sommer aufwölben.

Das Ausdehnen und auch das Zusammenziehen eines Körpers infolge von Temperaturänderungen ist mit großen Kraftwirkungen verbunden. Man verschleißt einen voll gefüllten Kochkolben mit einem undurchbohrten Stopfen und erwärmt vorsichtig den Kolben. Infolge der Volumvergrößerung des Wassers wird der Stopfen kräftig herausgedrückt. Auch beim Zusammenziehen treten, besonders an festen Körpern, große Kraftwirkungen auf. Sie werden beispielsweise dazu ausgenutzt, die *Radkränze von Eisenbahnradern* fest auf den Rädern zu befestigen. Im kalten Zustand ist der Durchmesser der Radkränze etwas kleiner als der der Räder. Erwärmt man nun den Radkranz, so paßt er gerade auf das Rad. Kühlt sich der Radkranz ab, so sitzt er fest auf dem Rad. Eine zusätzliche Befestigung ist nicht erforderlich.

Auch der Schmied nutzt die Wärmeausdehnung fester Körper aus. Er fertigt beispielsweise einen *Radreifen* so an, daß er im warmen Zustand gerade auf das Holzrad paßt. Bei Abkühlung zieht sich der Reifen wieder zusammen und sitzt straff. Dadurch gibt er dem ganzen Rad einen festen Halt.



Ähnlich verfährt man beim *Befestigen von Zahn-*  
*rädern* auf Wellen. Durch Erwärmen des Zahn-  
rades erweitert sich der Durchmesser der inneren  
Bohrung. Die Welle paßt dann gerade hinein. Nach  
dem Abkühlen des Zahnrades sitzt es äußerst fest  
auf der Welle.

5. Der Bimetallstreifen. Werden zwei gleich-  
große Streifen aus Eisen und Zink fest mitein-  
ander verbunden, dann entsteht ein Metallstreifen  
aus zwei unterschiedlichen Metallen, ein *Bimetall-*  
*streifen*. Erwärmt man ihn, so dehnen sich die  
Metalle unterschiedlich stark aus. Infolgedessen  
biegt sich der Bimetallstreifen nach der Eisenseite hin. Bei gleicher Erwärmung  
dehnt sich das Zink stärker aus als das Eisen (Abb. 104/1). Eine Erwärmung des  
Bimetallstreifens auf eine bestimmte Temperatur hat eine ganz bestimmte Krüm-  
mung des Streifens zur Folge. Daher kann man den Bimetallstreifen dazu ver-  
wenden, Stromkreise bei bestimmten Temperaturen ein- beziehungsweise aus-  
zuschalten. Das ist beispielsweise in Heizkissen der Fall.

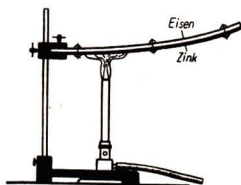


Abb. 104/1. Bimetallstreifen

Die meisten Körper dehnen sich beim Erwärmen aus und ziehen sich beim  
Abkühlen zusammen. Je nach dem Stoff ist die Ausdehnung verschieden groß.  
Das Ausdehnen und Zusammenziehen erfolgt mit großer Kraftwirkung.

6. Die Anomalie des Wassers. Als Thermometerflüssigkeit hatten wir Queck-  
silber, Alkohol und Toluol

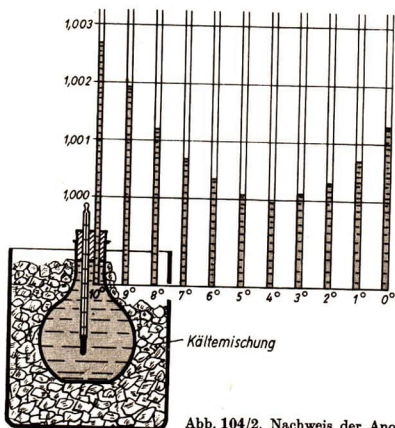


Abb. 104/2. Nachweis der Anomalie des Wassers

kennengelernt. Könnte man  
nicht auch Wasser dafür ver-  
wenden? Zur Untersuchung  
des Verhaltens von Wasser  
führen wir folgenden Versuch  
durch. Ein mit Wasser gefüll-  
ter Glaskolben wird mit einem  
doppelt durchbohrten Stopfen  
verschlossen. Durch die eine  
Bohrung führt man eine Kap-  
illare ein, an der ein Papp-  
streifen mit einer Millimeter-  
skale befestigt ist. In die  
andere setzt man ein Ther-  
mometer ein (Abb. 104/2).

Man bringt nun den Kol-  
ben in eine Mischung aus Eis-  
stückchen und Salz, in eine  
sogenannte *Kältemischung*.

Dadurch wird das Wasser im Kolben langsam abgekühlt. Beobachtet man gleichzeitig das Thermometer und das Steigrohr, so sieht man, daß mit der Abnahme der Temperatur auch ein Absinken der Flüssigkeitssäule zu beobachten ist. Unterschreitet die Temperatur jedoch  $4^{\circ}\text{C}$ , so steigt die Wassersäule wieder an. Das Wasser dehnt sich im Temperaturbereich von  $4^{\circ}\text{C}$  bis  $0^{\circ}\text{C}$  wieder aus. Man bezeichnet dieses Verhalten als *Anomalie des Wassers*.

**Eine Wassermenge hat bei  $4^{\circ}\text{C}$  ihr kleinstes Volumen. Bei weiterer Abkühlung dehnt sie sich wieder aus.**

Wenn eine bestimmte Wassermenge bei  $4^{\circ}\text{C}$  ihr kleinstes Volumen hat, dann ist die gleiche Raummenge Wasser bei  $4^{\circ}\text{C}$  schwerer als bei anderen Temperaturen. Bringt man in einen Standzylinder Eisstücke und taucht nach einiger Zeit langsam ein Thermometer hinein, so mißt man an der Oberfläche eine Wassertemperatur von  $0^{\circ}\text{C}$  und am Boden eine solche von  $4^{\circ}\text{C}$  (Abb. 105/1). Das Wasser von  $0^{\circ}\text{C}$  befindet sich über dem wärmeren Wasser.

Infolge der Anomalie des Wassers wechseln bei Abkühlung in stehenden Gewässern die Schichten mit unterschiedlicher Temperatur so lange, bis diejenigen mit einer Temperatur von weniger als  $4^{\circ}\text{C}$  an der Oberfläche verbleiben (Abb. 105/2). Am Grunde solcher Gewässer bleibt die Temperatur von  $4^{\circ}\text{C}$  erhalten. Sinkt die Lufttemperatur unter  $0^{\circ}\text{C}$ , so bildet sich nur an der Oberfläche Eis. Auf Grund dieser Tatsache war beziehungsweise ist die Entwicklung und der Fortbestand von Pflanzen und Tieren in Gewässern möglich.

## 7. Fragen und Aufgaben:

1. Warum muß jede Warmwasserheizung ein Ausdehnungsgefäß haben?
2. Warum müssen Gleitlager für Maschinenwellen gut geschmiert werden?
3. Ein 200 m langes Teilstück einer Oberleitung kühlt sich um  $20^{\circ}\text{C}$  ab. Um wieviel verkürzt es sich dabei? (Die Verkürzung beträgt 1,8 mm je 1 m und je  $100^{\circ}\text{C}$ ).

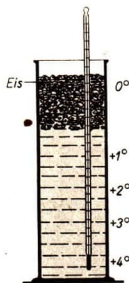


Abb. 105/1. Temperaturverteilung im Wasser

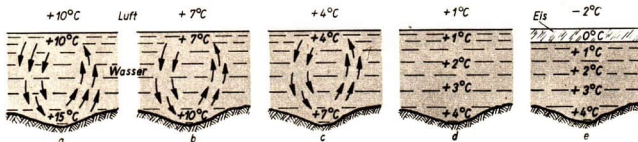


Abb. 105/2. Abkühlung des Wassers in einem Teich

## 16. Die Ausbreitung der Wärme

**1. Wärmeleitung.** Stellen wir einen Topf mit Wasser auf eine eingeschaltete Kochplatte, so steigt die Wassertemperatur. Von der Kochplatte wird die Wärme an den Topf und schließlich an das Wasser abgegeben. Beim Feilen erwärmt sich infolge der Reibung allmählich das ganze Werkstück. Die Wärme hat sich auch hier von der Wärmequelle aus über den ganzen Körper ausgebreitet. Der große Waschkessel wird nur an seiner Unterseite von den Flammen erfaßt, dennoch ist auch der obere Rand bald sehr warm. Die unmittelbare Übertragung der Wärme von einem Teil des Körpers zum anderen oder von einem Körper auf einen anderen, der ihn berührt, heißt **Wärmeleitung**.

Die genannten Beispiele zeigen außerdem, daß *die Wärme stets vom heißen Körper auf den kalten übertragen wird*. Dabei sinkt die Temperatur des wärmeren Körpers, während die des kälteren Körpers steigt. Der Kochplatte wird durch den elektrischen

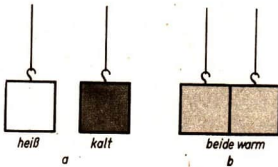


Abb. 106/1. Wärmeleitung

Strom ständig neue Wärme zugeführt, so daß die Abkühlung nicht zu merken ist. Wir können sie jedoch dann beobachten, wenn wir die Kochplatte abschalten. Sie kühlt sich dann so weit ab, bis sie die gleiche Temperatur wie der Topf hat. Dieser Wärmeausgleich findet immer und überall statt. Man hängt zwei Eisenwürfel mit verschiedener Temperatur so nebeneinander, daß sie sich mit je einer Fläche berühren (Abb. 106/1). Infolge der Wärmeleitung tritt bald ein Temperaturengleich ein.

Hängt man dagegen die Würfel in einem Abstand voneinander auf, so ist Luft zwischen ihnen. Der Körper mit der niedrigeren Temperatur erwärmt sich in diesem Falle kaum. Der wärmere Würfel kühlt sich aber bei diesem Versuch ebenfalls ab. Er gibt seine Wärme an die umgebende Luft ab. Damit also die Wärme weitergeleitet wird, müssen sich die Körper berühren. Deshalb braucht das Wasser in einem Topf, dessen Boden verbeult oder gewölbt ist, eine viel längere Zeit bis es siedet, weil die enge Berührung mit der Herdplatte oder der Platte des elektrischen Kochers fehlt. Die Flamme des Gaskochers dagegen erfaßt auch alle Stellen eines unebenen Topfbodens.

**Die Wärmeleitung erfolgt immer von Körpern oder ihren Teilen mit höherer Temperatur zu solchen mit tieferer Temperatur. Die Wärmeleitung dauert so lange, bis sich die Temperaturen ausgeglichen haben.**

**Zwischen zwei Körpern wird die Wärme nur dann durch Leitung übertragen, wenn sie sich berühren.**

Bei der Verbrennung gleicher Brennstoffmengen wird ein eiserner Ofen viel schneller warm als ein Kachelofen. Offenbar leitet Eisen die Wärme besser als der Stoff, aus dem die Kacheln bestehen.

Zur Untersuchung der Wärmeleitfähigkeit verschiedener Stoffe werden an einem Kupferdraht und an einem Glasstab von gleicher Länge und gleicher Dicke in gleichen Abständen Schrotkugeln mit Stearin angeklebt. Beide Stangen werden

so eingespannt, wie es die Abbildung 107/1 zeigt. Erwärmt man beide Stangen an der Berührungsstelle gleich stark, dann fallen die Schrotkugeln am Kupferdraht bald alle nacheinander ab. Es dauert dagegen lange, bis sich die erste Kugel vom Glasstab löst. Im Kupferdraht breitet sich die Wärme schnell aus, im Glasstab dagegen nur langsam. Man bezeichnet die Stoffe, in denen sich die Wärme schnell ausbreitet, als gute Wärmeleiter. Die Stoffe, die die Wärme nur langsam weiterleiten, sind schlechte Wärmeleiter.

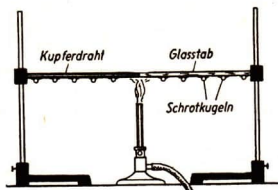


Abb. 107/1. Untersuchung der Wärmeleitfähigkeit

Führt man den gleichen Versuch mit einem Eisendraht und einem Kupferdraht durch, so ist festzustellen, daß die Wärmeleitung in beiden Metallen verhältnismäßig schnell vor sich geht. Am Kupferdraht fallen aber auch bei diesem Versuch die Kugeln noch eher ab als am Eisendraht. Somit ist auch bei den Metallen die Wärmeleitung unterschiedlich.

#### Die Wärmeleitung hängt vom Stoff ab.

*Gute Wärmeleiter sind alle Metalle, wie Silber, Kupfer, Aluminium, Zink, Eisen und Blei.*

*Schlechte Wärmeleiter sind Holz, Wolle, Papier, Asbest, Glas und Plaste.*

Zwischen den sich nicht berührenden Würfeln erfolgt keine feststellbare Wärmeleitung, weil die Luft zu den schlechten Wärmeleitern gehört. Dasselbe gilt auch für andere Gase.

Daß auch Wasser die Wärme schlecht leitet, zeigt der folgende Versuch: Man hält ein mit kaltem Wasser gefülltes Reagenzglas mit dem oberen Ende über eine Bunsenflamme (Abb. 107/2). Das Wasser erwärmt sich so stark, daß es siedet. Im unteren Teil bleibt es trotzdem kalt.

#### Gase und Flüssigkeiten sind schlechte Wärmeleiter.

Die Kacheln eines Ofens bestehen aus Stoffen, die die Wärme schlecht leiten. Sollen sie heiß werden, dann muß ihnen eine große Wärmemenge zugeführt werden. Infolge der schlechten Leitfähigkeit dauert es längere Zeit, bis der ganze Kachelofen warm ist. Andererseits leiten die Kacheln die einmal aufgenommene Wärme nur langsam wieder ab. Folglich bleiben sie lange warm.

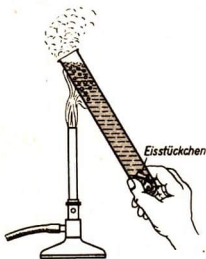


Abb. 107/2. Wasser ist ein schlechter Wärmeleiter. Das Stückchen Eis im unteren Teil des Reagenzglases schmilzt nur sehr langsam,



Schlechte Wärmeleiter brauchen lange Zeit zum Erwärmen, sie nehmen eine große Wärmemenge auf. Sie geben diese Wärmemenge nur langsam wieder ab.

Oft ist die Wärmeabgabe unerwünscht und muß vermieden werden. Zu diesem Zweck werden wärmeführende Körper durch schlechte Wärmeleiter von anderen Körpern *isoliert*. Die *Wärmeisolierung* ist zum Beispiel bei Gebäuden notwendig, damit im Winter die Zimmerwärme nicht nach außen abfließt. Die Baumaterialien selbst sind bereits schlechte Wärmeleiter. Die Wärmeisolierung wird aber noch dadurch erhöht, daß besonders Außenwände aus Hohlsteinen gemauert werden. In den Hohlräumen und Poren befindet sich Luft. Im Sommer wird auf diese Weise auch eine Übertragung der hohen Außentemperatur auf das Rauminnere verhindert. Bei Doppelfenstern wirkt die Luft zwischen den beiden Fenstern ebenfalls isolierend. Leichtbauhäuser oder Baubaracken werden aus fertigen, doppelwandigen Bauteilen montiert. Als Isolierstoff dient Glaswolle oder Holzwolle. Glas und Holz sind schlechte Wärmeleiter, außerdem enthalten sie viel Luft, die ebenfalls isolierend wirkt.

Betten und Kleidung bestehen aus Geweben, deren zahlreiche Hohlräume mit Luft erfüllt sind. Sie halten warm, weil sie eine Ableitung der Körperwärme weitgehend verhindern, erzeugen aber selbst keine Wärme. Die kleinen mit Luft gefüllten Zwischenräume im Gewebe wirken isolierend. Das Fell und das Federkleid der Tiere isolieren auf die gleiche Art den Tierkörper vor zu hohen und zu niedrigen Außentemperaturen.

In Industrieanlagen müssen heiße Gase und Flüssigkeiten vielfach durch Rohre geleitet werden. Damit möglichst geringe Wärmeverluste eintreten, werden solche Rohrleitungen mit *Glaswolle* umkleidet (Abb. 108/1). In gleicher Weise isoliert man Behälter für kalte Flüssigkeiten und Gase gegen eine Wärmeeaufnahme von außen. Rohrleitungen von Zentralheizungen werden häufig auch durch einen Mantel aus *Kieselgur* isoliert. Das ist ein sandähnlicher Stoff, der aus den Gehäusen mikro-

skopisch kleiner Kieselalgen besteht. In allen Gehäusen ist Luft enthalten. Daraus ist die gute Wärmeisolation zu erklären.

Geräte, bei denen es auf eine gute Wärmeleitung ankommt, werden aus Stoffen mit einer guten Wärmeleitfähigkeit hergestellt. So ist die Spitze des elektrischen

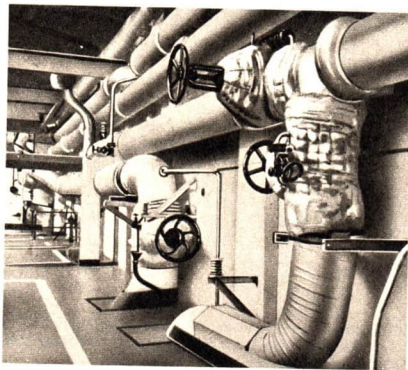


Abb. 108/1  
Schutzmäntel  
aus Glaswolle  
an Rohren  
eines chemischen  
Betriebes

Lötkolbens aus Kupfer, weil dieses Metall die Wärme schnell vom Heizkörper auf das Lötzinn überträgt.

In den Motoren der Kraftfahrzeuge entsteht durch die Verbrennung der Gase viel Wärme, da sie bei hohen Temperaturen verbrennen. Diese Wärme muß abgeführt werden, damit der Motor nicht überhitzt und damit beschädigt wird. Aus diesem Grunde werden die Motoren durch Luft oder durch Wasser gekühlt. Die *Luftkühlung* verwendet man beispielsweise bei Motorrädern. Der Zylinder des Motorradmotors hat Kühlrippen; dadurch wird die Oberfläche des Motors wesentlich vergrößert (Abb. 109/1). Die am Zylinder vorbeistreichende Luft nimmt Wärme auf, so daß der Zylinder gekühlt wird.

Bei den Motoren von Kraftfahrzeugen werden die Zylinder häufig von Wasser umspült. Dieses Wasser nimmt Wärme auf, die es im Kühler an die Luft abgibt. Da das Kühlwasser dauernd im Kreislauf fließt, gelangt ständig kühles Wasser an die Zylinderwände (vgl. S. 110).

**2. Wärmeströmung.** Wir wissen, daß für die zentrale Heizung eines Gebäudes meist *Warmwasserheizungen* verwendet werden. Mit ihr lassen sich gut die einzelnen Zimmer erwärmen. Auf S. 107 hatten wir aber festgestellt, daß Wasser ein schlechter Wärmeleiter ist. Sind die gefundenen Ergebnisse etwa doch falsch? Ein Versuch soll diese Frage beantworten helfen.

Ein geschlossenes Glasrohr von der Form eines Rechteckes wird mit Wasser gefüllt, dem Sägespäne beigegeben sind. An einer der unteren Knickstellen wird das Rohr erwärmt (Abb. 109/2). Dadurch dehnt sich das Wasser an dieser Stelle aus, wird leichter und steigt empor, wie es die Bewegung der Sägespäne zeigt. Von den nicht erwärmten Rohrteilen strömt kaltes Wasser nach. Dieses Wasser wird ebenfalls erwärmt und steigt hoch. Das anfangs erwärmte Wasser kühlt sich langsam wieder ab und sinkt im linken Rohrteil nach unten. *Das Wasser beginnt im Kreislauf zu strömen*, so daß allmählich das gesamte Wasser warm wird. Man bezeichnet diesen Vorgang als **Wärmeströmung**. Die Wärme wird mit Hilfe des strömenden Stoffes von einer Stelle zur anderen transportiert.

Erwärmt man das Wasser in der Mitte des waagrecht liegenden Rohrteiles, so tritt nur sehr langsam eine Strömung ein. Ein Thermometer im Einfüllstutzen zeigt erst nach langer Zeit eine geringe Erwärmung des Wassers an. Wird aber der Kreislauf des Wassers in Gang gebracht, dann zeigt das Thermometer schon nach kurzer Zeit eine merkliche Temperaturerhöhung an. *Die Wärme wird also in erster Linie durch Strömung innerhalb des Wassers übertragen.* Jetzt ist auch erklärlich, warum sich in dem auf S. 107 beschriebenen Versuch Wasser als schlechter Wärmeleiter erwies. Bei diesem Versuch war keine Strömung des Wassers möglich. In der Warm-

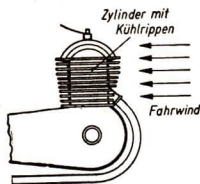


Abb. 109/1  
Kühlrippen eines Motors

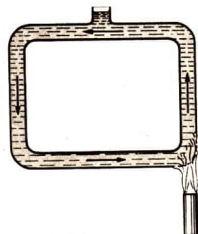


Abb. 109/2  
Wärmeströmung  
in einem Rohrrechteck

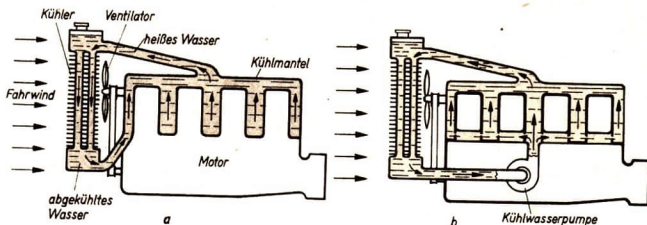


Abb. 110/1. Schematische Zeichnung des Kühlwasserkreislaufes

wasserheizung dagegen strömt ständig das Wasser und transportiert die Wärme vom Heizkessel in die einzelnen Zimmer.

Die Wasserkühlung des Motors bei Kraftwagen und Traktoren beruht ebenfalls auf der Wärmeströmung. Das im Motor erwärmte Wasser strömt in den oberen Teil des Kühlers. Dort gibt es seine Wärme an die durchstreichende Luft ab. Das kalte Wasser fließt unten wieder in den Motor zurück (Abb. 110/1a). Ein Ventilator, der vom Motor getrieben wird, verstärkt den Luftzug und beschleunigt dadurch die Abkühlung des Wassers. Bei größeren Motoren reicht dieser selbständige Kreislauf des Wassers zur Kühlung nicht aus. In diesen Motoren wird der Wasserkreislauf durch eine Wasserpumpe in schnelleren Umlauf versetzt (Abb. 110/1b). Die Kühlanlage eines Motors muß stets in einem einwandfreien Zustand sein, da wegen zu starker Erwärmung Schäden am Motor eintreten können.

Auch die Luft ist dann ein schlechter Wärmeleiter, wenn sie nicht strömen kann. Das gilt für alle Beispiele, die auf S. 108 beschrieben wurden. Hält man einen Bunsenbrenner oder eine Kerze waagrecht, so ist trotzdem die Flamme nach oben gerichtet. Man beobachtet, wie die Ruß- und Rauchteilchen nach oben wirbeln. Die Luft in der Umgebung der Flamme hat Wärme aufgenommen, dehnt sich aus und steigt infolgedessen hoch. Es entsteht eine aufwärts gerichtete Strömung, durch die die Wärme transportiert wird.

Auf Grund der Strömung erwärmter Luft wird vom Ofen das ganze Zimmer erwärmt. Am Ofen erwärmt sich die Luft und steigt nach oben. An der Decke strömt sie zum Fenster, kühlt sich dort ab und sinkt zu Boden. Am Boden strömt sie zum Ofen zurück. Diesen Kreislauf kann man an der Bewegung eines kleinen Luftballons beobachten (Abb. 110/2).

Durch Wärmeaufnahme dehnen sich Teile von Flüssigkeiten und Gasen aus, steigen empor und verursachen dadurch einen Kreislauf. Die Wärmeausbreitung in Flüssigkeiten und Gasen erfolgt hauptsächlich durch Strömung

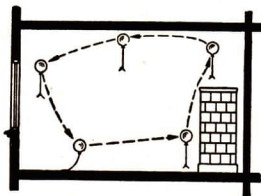


Abb. 110/2. Nachweis des Luftkreislaufes

Die Wärmeströmung wird auch zur Versorgung von Räumen mit Frischluft ausgenutzt. In Werkhallen, Viehställen und Laboratorien wird die Luft durch Beimengung von anderen Gasen und Schmutzteilen schnell zum Atmen unbrauchbar. Diese verunreinigte Luft ist durch die Körperwärme, durch Öfen oder durch andere Wärmequellen erwärmt worden und emporgestiegen. Dort kann sie durch hochgelegene Zuglöcher entweichen. Auf diese Weise wird vermieden, daß sich die verbrauchte Luft unter der Decke oder unter dem Dach sammelt und von oben her allmählich den ganzen Raum erfüllt. In Werkhallen beschleunigt man die Abführung der Luft häufig noch durch *Ventilatoren*. Durch tiefegelegene Öffnungen kann Frischluft nachströmen.

Der Wind ist eine Luftbewegung, die ihre Ursache in einer Wärmeströmung hat. Auf Grund der Sonnenstrahlung wird der Erdboden und die Luft dicht darüber mehr oder weniger stark erwärmt. Dabei erwärmen sich See- und Landgebiete verschieden stark. Aber auch die Erwärmung des Landgebietes weist Unterschiede auf. Sie sind auf die unterschiedliche Beschaffenheit des Bodens zurückzuführen. So erwärmen sich beispielsweise Acker- und Wiesenflächen stärker als Waldgebiete. Die erwärmte Luft steigt nun empor. Sie strömt in großen Höhen seitlich ab, wobei sie sich abkühlt und in anderen Gegenden wieder herabsinkt. Die nachströmenden Luftmengen bilden die *Winde*.

**3. Wärmestrahlung.** Erde und Sonne sind weit voneinander entfernt. Trotzdem wird die Erde von der Sonne erwärmt. Wärmeleitung kann nicht die Ursache sein. Auch die Wärmeströmung scheidet aus, da sich zwischen Erde und Sonne praktisch kein Stoff befindet. In diesem Falle erfolgt die Übertragung der Wärme durch *Wärmestrahlung*.

Hält man die Hand unter eine eingeschaltete Glühlampe, so empfindet man eine deutliche Wärmewirkung. Die vom Glas erwärmte Luft steigt nach oben, kann also die Hand nicht treffen. Eine Wärmeleitung durch Berührung liegt auch nicht vor. Somit strahlt auch die Glühlampe Wärme aus. Von einem Kachelofen und jeder anderen Wärmequelle gehen Wärmestrahlen aus; diese sind nicht sichtbar.

**Wärmestrahlung ist unsichtbar.** Sie erfolgt ohne leitende oder strömende Stoffe.

Hält man die Hand seitlich neben eine Wärmequelle, beispielsweise eine Bunsenflamme, so ist deutlich die Wärmestrahlung zuspüren (Abb. 111/1). Läßt man aber

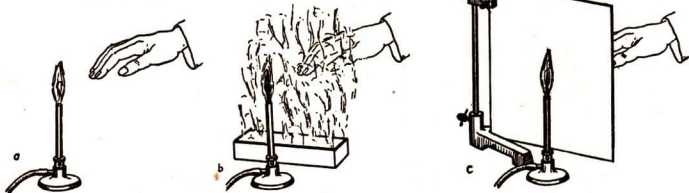


Abb. 111/1. Wärmestrahlung, a) kaum behindert, b) Rauch verschluckt Wärme, c) die Wärmestrahlung ist ganz unterbunden



Rauch zwischen der Flamme und der Hand aufsteigen, so läßt die Wärmeempfindung nach. Die Stoffteilchen des Rauches verschlucken somit einen Teil der Wärmestrahlung, man sagt, sie *absorbieren* einen Teil der Strahlung. Darum empfindet man auch die Sonnenstrahlung bei diesigem Wetter und staubreicher Luft als weniger heiß als bei klarem Wetter. Hält man ein Stück Pappe oder Eisenblech zwischen die Flamme und die Hand, so ist kaum noch eine Wärmestrahlung wahrzunehmen. Die Wärmestrahlen können feste Körper nicht durchdringen. Diese Tatsache nutzt man beispielsweise aus, um Möbel mit Hilfe eines Ofenschirmes vor der starken Wärmestrahlung eiserner Öfen zu schützen.

**Durch unterschiedliche Stoffe wird die Wärmestrahlung verschieden stark absorbiert.**

Mittels der in Abbildung 112/1 wiedergegebenen Versuchsanordnung kann weiterhin nachgewiesen werden, daß die Wärmestrahlen von einem Spiegel zurückgeworfen werden. Obwohl sich die Hand hinter einem Schirm befindet, empfindet man deutlich die Wärmestrahlung. Die gleiche Wirkung, jedoch in schwächerem Maße, erzielt man bei der Verwendung einer weißen und glatten Pappe.

**Spiegelnde und helle Körper werfen die Wärmestrahlung zurück.**

Man stellt in gleichen Abständen vor eine Wärmequelle eine weiße Pappe und eine schwarze Pappe auf. Berührt man nach einiger Zeit beide Pappen, so ist deutlich zu merken, daß sich die schwarze Pappe erwärmt hat, die weiße Pappe dagegen kaum.

**Dunkle Körper nehmen die Wärmestrahlen auf. Sie werden davon selbst erwärmt.**

Zwischen die Wärmequelle und die schwarze Pappe stellt man eine Scheibe aus Fensterglas. Trotz der Scheibe wird die Pappe warm. Die Glasscheibe dagegen ändert ihre Temperatur kaum. Offenbar durchdringen die Wärmestrahlen das Glas fast ungehindert. Das gleiche ist auch beim Durchgang von Wärmestrahlen durch Wasser zu beobachten.

Bei allen beschriebenen Versuchsanordnungen war Luft zwischen den einzelnen Körpern. Die Wärmestrahlung wurde durch sie kaum behindert. Ebenso wird die Erde von den Sonnenstrahlen stark erwärmt, ohne daß die umgebende Luft in gleichem Maße Wärme aufnimmt. Diese wird erst dadurch warm, daß von der Erdoberfläche die Wärme durch Wärmeleitung und dann durch Strömung auf die Luft übertragen wird.

Auf diesen Vorgängen beruht unter anderem die Wirkung eines Treibhauses. Die Sonnenstrahlen gehen fast ungehindert durch die Scheiben hindurch. Sie erwärmen den Boden des Treibhauses, und zwar die dunklen Teile des Erdbodens besonders stark. Die Luft des Treibhauses erwärmt sich nun durch Leitung und

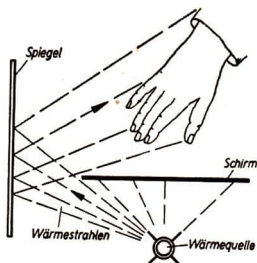


Abb. 112/1. Nachweis des Zurückwerfens von Wärmestrahlen

Strömung vom Boden aus. Durch die isolierende Wirkung der Fenster gegen Wärmeleitung kann sich die Luft im Innern des Treibhauses nur langsam wieder abkühlen.

*Glas, Wasser und Luft lassen Wärmestrahlen fast ungehindert hindurch. Sie erwärmen sich dabei selbst wenig.*

Im Sommer ist helle Kleidung günstiger, da sie die Sonnenstrahlung stark zurückwirft und sich daher selbst nur wenig erwärmt. Kühlschränke und die Kühlwagen der Eisenbahn werden aus dem gleichen Grunde weiß gestrichen. Dunkle Vorhänge hinter einem Fenster werden warm, wenn sie direkt von der Sonne beschienen werden. Die Fensterscheibe selbst dagegen erwärmt sich kaum. Dunkle Asphaltstraßen erwärmen sich stärker als die helle Betondecke der Autobahn. In Gebäuden, deren Dächer mit Dachpappe gedeckt sind, ist es wesentlich wärmer als in ziegelgedeckten Gebäuden.

Beim *Thermosbehälter* werden alle drei Arten der Wärmeausbreitung weitgehend verhindert, damit sich die Temperatur des Inhaltes, zum Beispiel der Speisen und Getränke, möglichst wenig verändert. Die Wärmeleitung wird dadurch verringert, daß man das Glasgefäß doppelwandig herstellt (Abb. 118/1). Der Raum zwischen den beiden Wandungen ist luftleer. Ein luftleerer Raum ist ein noch schlechterer Wärmeleiter als die Luft. Da sich kein Stoff zwischen dem äußeren und dem inneren Gefäß befindet, ist eine Übertragung der Wärme durch Strömung ebenfalls nicht möglich. Die Strahlung wird schließlich dadurch vermieden, daß die Doppelwandung mit einem spiegelnden Überzug aus einer sehr dünnen Kupfer- oder Silberschicht versehen wird. Von ihr werden die Wärmestrahlen zurückgeworfen.



Abb. 118/1. Glasgefäß der Thermosflasche

#### 4. Fragen und Aufgaben:

1. Weshalb schützen Topflappen beim Anfassen heißer Gegenstände vor dem Verbrennen der Finger?
2. Warum wird Tischlerleim in einem Wasserbad erwärmt?
3. Miß die Temperatur der Zimmerluft am Fußboden und knapp unter der Zimmerdecke! Begründe deine Beobachtung!
4. Welche Folgen kann eine Verstopfung des Kühlers eines Traktors oder eines Kraftwagens haben?
5. Bei einer Skiwanderung im Gebirge kann man trotz gesenkten Kopfes leicht und schnell einen Sonnenbrand im Gesicht bekommen. Begründe diese Tatsache!
6. Stelle zwei Schüsseln mit Wasser von gleicher Temperatur in die Sonne! Das Wasser in der einen Schüssel soll klar sein, in der anderen dunkel getrübt. Miß nach geraumer Zeit die Temperatur und begründe die Beobachtung!
7. Erkläre auf Grund der Abbildung 118/2 die Wirkungsweise einer Warmwasserheizung!

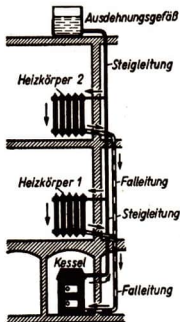


Abb. 118/2 Warmwasserheizung

## 17. Schmelzen und Erstarren

1. Das Schmelzen. Erwärmt man Eis, so wird es zu Wasser. Eis und Wasser sind der gleiche Stoff. Die beiden stofflich gleichen Körper *Eis und Wasser unterscheiden sich lediglich durch ihren Aggregatzustand*. Auch das feste Stearin einer Kerze wird flüssig, wenn es von der heißen Flamme erwärmt wird. Den Übergang eines festen Körpers in den flüssigen Zustand nennt man Schmelzen. Die meisten festen Körper schmelzen, wenn die ihnen zugeführte Wärme groß genug ist.

**Führt man einem Körper genügend Wärme zu, so geht er vom festen Aggregatzustand in den flüssigen über. Dieser Vorgang heißt Schmelzen.**

Nachdem die Kerze verlöscht ist, wird das Stearin wieder fest. Dasselbe geschieht mit dem Wasser, wenn man es unter  $0^{\circ}\text{C}$  abkühlt. Ein Körper kühlt sich immer dann ab, wenn seine Umgebung kälter als der Körper selbst ist. Er gibt dann Wärme an die Umgebung ab. Ist die Wärmeabgabe groß genug, so geht der Körper vom flüssigen in den festen Aggregatzustand über. Man bezeichnet diesen Vorgang als Erstarren.

**Geben flüssige Körper genügend Wärme ab, so gehen sie in den festen Aggregatzustand über. Dieser Vorgang heißt Erstarren.**

Sowohl das Schmelzen als auch das Erstarren des Wassers erfolgen stets bei der gleichen Temperatur, nämlich bei  $0^{\circ}\text{C}$ . Dies ist ein weiterer Grund, warum Wasser als Thermometerflüssigkeit nicht geeignet ist; denn Temperaturen unter  $0^{\circ}\text{C}$  treten häufig auf. In Polargegenden herrschen oft Temperaturen von  $-45^{\circ}\text{C}$  und weniger. Da Quecksilber jedoch bei  $-39^{\circ}\text{C}$  erstarrt, können Quecksilberthermometer bei diesen Temperaturen ebenfalls nicht mehr verwendet werden. Das Quecksilber würde bei diesen niedrigen Temperaturen fest werden. Auch Quecksilber schmilzt und erstarrt stets bei einer bestimmten Temperatur. In Polargegenden verwendet man daher beispielsweise Alkoholthermometer. Alkohol erstarrt, je nach seiner Zusammensetzung, bei etwa  $-114^{\circ}\text{C}$ .

Das gleiche gilt für andere Stoffe. Erwärmt man zum Beispiel Paraffin, so findet man, daß es bei  $54^{\circ}\text{C}$  schmilzt. Dann hält man ein Thermometer in flüssiges Paraffin und liest die Temperatur ab, wenn es am Thermometer gerade erstarrt. Es zeigt sich, daß das Paraffin bei der gleichen Temperatur, nämlich  $54^{\circ}\text{C}$ , fest wird. Bei den meisten Metallen liegen die Temperaturen, bei denen sie aus dem festen in den flüssigen Aggregatzustand übergehen, wesentlich höher. So schmelzen Eisen bei  $1557^{\circ}\text{C}$  und Kupfer bei  $1083^{\circ}\text{C}$ . Bei den gleichen Temperaturen gehen diese Metalle wieder in den festen Zustand über.

Ein Stoff schmilzt somit bei einer bestimmten Temperatur, die man als *Schmelzpunkt* bezeichnet. Ebenso erstarrt der gleiche Stoff bei derselben Temperatur wieder, wenn er sich abkühlt. Man nennt diese bestimmte Temperatur darum auch den *Erstarrungspunkt* (vgl. die Tabelle auf S. 115).

**Viele Stoffe schmelzen und erstarren bei bestimmten gleichen Temperaturen. Diese Temperatur heißt Schmelzpunkt oder Erstarrungspunkt.**

Es haben jedoch nicht alle Stoffe einen bestimmten Schmelzpunkt. Manche Stoffe zersetzen sich bei starker Erwärmung, sie lassen sich nicht schmelzen.

### *Schmelzpunkte und Erstarrungspunkte einiger Stoffe in °C*

|           |      |                |      |             |      |
|-----------|------|----------------|------|-------------|------|
| Graphit   | 3540 | Gold           | 1063 | Schwefel    | 119  |
| Diamant   | 3500 | Silber         | 961  | Paraffin    | 54   |
| Wolfram   | 3380 | Messing (etwa) | 900  | Butter      | 32   |
| Platin    | 1773 | Soda           | 850  | Eis         | 0    |
| Eisen     | 1535 | Aluminium      | 659  | Meerwasser  | —2,5 |
| Quarz     | 1477 | Zink           | 419  | Milch       | —11  |
| Kalkstein | 1340 | Blei           | 327  | Quecksilber | —39  |
| Kupfer    | 1083 | Zinn           | 232  | Alkohol     | —114 |

Wieder andere Stoffe, zum Beispiel Glas, haben keinen feststehenden Schmelzpunkt. Vor dem eigentlichen Schmelzen werden sie weich. So erweicht Glas bei Temperaturen von 700 °C bis 800 °C. Dünnflüssig wird es zwischen 1300 °C und 1400 °C.

Vergleicht man in der Tabelle die Erstarrungspunkte für Wasser und Meerwasser miteinander, so hat das Meerwasser den niedrigeren Schmelzpunkt. Das hat seine Ursache darin, daß Meerwasser eine *Lösung* ist (vgl. S. 68). Ganz allgemein gilt:

**Bei Lösungen liegt der Erstarrungspunkt tiefer als die Erstarrungspunkte ihrer Bestandteile.**

Bei *Metalllegierungen* liegt der Schmelzpunkt stets tiefer als der höchste Schmelzpunkt der Bestandteile. Messing ist beispielsweise eine Legierung aus Kupfer und Zink. Es schmilzt bei etwa 900 °C. Kupfer hat dagegen als Schmelzpunkt die Temperatur von 1083 °C, Zink aber nur eine solche von 419 °C. Eine andere wichtige Legierung ist das Lötzinn. Es ist eine Legierung aus Blei (327 °C) und Zinn (232 °C) und schmilzt bereits bei 180 °C.

**Der Schmelzpunkt einer Legierung liegt tiefer als der höchste Schmelzpunkt seiner Bestandteile.**

**2. Schmelzwärme.** Jede Wärmezufuhr hat eine Erhöhung der Temperatur zur Folge. Diese ständige Temperaturzunahme erfolgt aber nur innerhalb des Temperaturbereiches, in dem sich die Zustandsform nicht ändert, für Eis beispielsweise bis 0 °C. Während des Schmelzens verändert sich die Temperatur jedoch trotz Wärmezufuhr nicht.

Ein Glaskolben wird mit zerstückeltem Eis gefüllt. Mit Hilfe eines Thermometers wird ständig die Temperatur gemessen. Sie wird alle zwei Minuten abgelesen und notiert. Beim Erwärmen steigt zunächst die Temperatur des Eises an. Sind 0 °C erreicht, dann beginnt das Eis zu schmelzen. Solange noch Eis vorhanden ist, bleibt die Temperatur trotz anhaltender Wärmezufuhr bei 0 °C stehen oder erhöht sich nur wenig. Dies ist darauf zurückzuführen, daß mit zunehmender Zeit das Thermometergefäß nicht mehr vollständig von schmelzendem Eis umgeben ist. Erst nach völliger Verflüssigung des Eises steigt die Temperatur des Wassers stark an (vgl. die Tabelle auf S. 116). Die Meßwerte zeigen das deutlich.



Sooft man diesen Versuch auch wiederholt, immer kommt man zu dem gleichen Ergebnis. *Die während des Schmelzens zugeführte Wärmemenge führt also nicht zu einer Temperaturerhöhung*, sondern ist für das Schmelzen erforderlich. Es ist eine bestimmte Wärmemenge notwendig, damit das Wasser aus dem festen in den flüssigen Aggregatzustand übergeht. Diese Wärmemenge nennt man Schmelzwärme. Mit Hilfe dieser Schmelzwärme wird die starke Kohäsionskraft beim festen Körper überwunden.

**Beim Schmelzen wird eine bestimmte Wärmemenge für den Übergang vom festen in den flüssigen Aggregatzustand gebraucht. Während des Schmelzens ändert sich die Temperatur nicht.**

Die Meßwerte können auch *zeichnerisch dargestellt* werden. Zu diesem Zweck zeichnet man auf Millimeterpapier zwei senkrecht zueinander stehende Geraden, die man als Achsen bezeichnet. Auf der waagerechten Achse werden die Werte für die Zeit abgetragen. Die senkrechte Achse versieht man mit den Temperaturwerten. Aus den Zeitangaben und den dazugehörigen Temperaturangaben ergeben sich die einzelnen Punkte, die den Kurvenverlauf bestimmen (Abb. 116/1).

Die Kurve verläuft während einiger Minuten auf der Zeitachse oder zumindest nahe der Achse. Dieses Kurvenstück veranschaulicht die Aufnahme der Schmelzwärme, durch die das Schmelzen bewirkt wird, ohne daß sich die Temperatur

*Temperaturverlauf beim Schmelzen von Eis*

| Zeitdauer<br>min | Temperatur<br>°C |
|------------------|------------------|
| 0                | — 1,0            |
| 2                | — 0,9            |
| 4                | 0                |
| 6                | 0                |
| 8                | 0                |
| 10               | 0                |
| 12               | 0,5              |
| 14               | 0,8              |
| 16               | 1,5              |
| 18               | 2,5              |
| 20               | 12,0             |
| 22               | 20,0             |

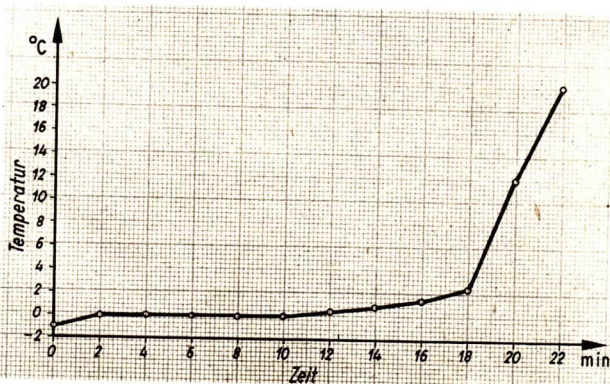


Abb. 116/1. Temperatur-Zeit-Diagramm für das Schmelzen des Eises

wesentlich verändert. Anschließend steigt die Kurve stark an. Versuche mit anderen Stoffen zeigen, daß sich ein ähnlicher Kurvenverlauf ergibt. Die Schmelzwärme hat zwar andere Werte; aber jeder Stoff hat eine bestimmte, ihm eigene Schmelzwärme.

Damit ein geschmolzener Stoff wieder erstarrt, muß ihm die Wärmemenge, die er beim Schmelzen aufgenommen hat, wieder entzogen werden. Diese Wärmemenge nennt man **Erstarrungswärme**. Sie wird beim Erstarren abgegeben, ohne daß sich die Temperatur dabei ändert.

**Für einen bestimmten Stoff sind Schmelzwärme und Erstarrungswärme gleich groß. Beim Schmelzen wird eine bestimmte Wärmemenge aufgenommen, beim Erstarren wird die gleiche Wärmemenge wieder abgegeben.**

Wasser hat gegenüber anderen Stoffen eine sehr große Schmelzwärme. Zum Schmelzen von Schnee und Eis ist daher eine große Wärmemenge notwendig. Der Schmelzvorgang verläuft nur langsam. Dieser Vorgang wird außerdem noch dadurch verzögert, daß Schnee und Eis als weiße Körper die Wärmestrahlung der Sonne in großem Maße zurückwerfen (vgl. S. 112). So tauen die Eis- und Schneemassen nicht plötzlich, sondern das Schmelzwasser kann im allgemeinen durch Bäche und Flüsse genügend abgeführt werden.

Das Lösen eines Stoffes in einer Flüssigkeit kann mit dem Schmelzvorgang verglichen werden. Auch zum Lösen eines Stoffes ist Wärme erforderlich. Die dafür nötige Wärmemenge, die **Lösungswärme**, wird meist dem Lösungsmittel entzogen, so daß dessen Temperatur sinkt. Bei der Mischung eines Teiles Kochsalz mit drei Teilen zerkleinerter Eisstücke entzieht das sich lösende Salz dem Eis soviel Wärme, daß die Temperatur auf  $-21^{\circ}\text{C}$  sinkt. Man bezeichnet daher eine solche Mischung als **Kältemischung**.

**3. Raumveränderung beim Schmelzen und Erstarren.** Da sich beim Erwärmen das Volumen der meisten Stoffe vergrößert, so nimmt das Volumen auch beim Schmelzen meist zu. Erstarrt ein Stoff, dann verkleinert sich sein Volumen. Man bezeichnet dies als **Schrumpfung**. Läßt man beispielsweise geschmolzenes Stearin erstarren, dann tritt eine Schrumpfung des Volumens ein. Die Oberfläche wölbt sich dabei ungleichmäßig nach innen. Die meisten Stoffe, darunter auch die Metalle, schrumpfen, wenn sie erstarren.

Ganz anders verhält sich jedoch das Wasser. Unterhalb von  $4^{\circ}\text{C}$  dehnt es sich bekanntlich aus. Dieser Vorgang setzt sich auch beim Erstarren fort. Zur Beobachtung dieser Erscheinung füllt man ein zylindrisches Glasgefäß 10 cm hoch mit kaltem Wasser und bringt es in eine Kältemischung. Nachdem das ganze Wasser vollständig erstarrt ist, mißt man die Eissäule. Sie hat nun eine Länge von ungefähr 11 cm. Der Unterschied von 1 cm ist ein Zehntel der Höhe, die die Wassersäule hatte (Abb. 117/1). Die Stoffmenge hat sich beim Gefrieren nicht geändert. Jedoch das Volumen dieser Stoffmenge ist größer geworden. Infolgedessen ist Eis leichter als die gleiche Raummenge Wasser und schwimmt daher auf dem Wasser.

**Wasser von  $0^{\circ}\text{C}$  dehnt sich beim Gefrieren etwa um ein Zehntel seines Volumens aus.**

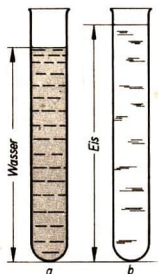


Abb. 117/1. Die Raumzunahme des Wassers beim Gefrieren

Die Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren ist die Ursache für die *Sprengwirkung des Eises*, denn die Ausdehnung ist mit einer großen Kraftwirkung verbunden. Stellt man eine vollständig mit Wasser gefüllte Flasche, die fest verschlossen ist, im Winter ins Freie, so wird sie von dem gefrierenden Wasser gesprengt.

Läßt man einen gut durchfeuchteten Lehmklumpen vollständig gefrieren und danach bei Zimmertemperatur wieder auftauen, so zerfällt er in kleine Krümel. Das gefrierende Wasser in den engen Hohlräumen zwischen den Lehmteilchen dehnt sich aus und zertreibt den Klumpen. Das gleiche geschieht im Winter mit den Erdschollen des Ackers. Hier wirkt sich die Sprengwirkung des Eises als äußerst nützlich aus. Die Krümelung ist um so besser, je feuchter der Boden beim Gefrieren ist. Daher ist das Ziehen der Winterfurche eine der wichtigsten landwirtschaftlichen Arbeiten.

Die Sprengwirkung des Eises ist eine der Ursachen für das *Verwittern der Gesteine* im Laufe der Jahre. In die Spalten des Gesteins dringt Wasser ein, das dort im Winter gefriert und den Stein zersprengt. Nach und nach zerfällt so das Gestein zu Geröll und Sand. Die Schutthalden an den Füßen von Felsen sind zum größten Teil das Ergebnis der Sprengwirkung des Eises. Eine weitere Ursache ist der tägliche Temperaturwechsel, der durch die Sonneneinstrahlung besonders groß wird. Das ständige Ausdehnen und Zusammenziehen wirkt im Laufe langer Zeiträume ebenfalls zerstörend.

Im Bauwesen muß die Sprengwirkung erstarrenden Wassers sehr genau beachtet werden, da sie sich nachteilig auswirken kann. So können frei liegende Wasserleitungen im Winter platzen, wenn sie nicht entleert werden. Deshalb verlegt man Leitungsröhre nach Möglichkeit im Inneren der Gebäude. Die Zuleitungen zu den Häusern müssen mindestens 70 cm tief in den Boden verlegt werden. Der Frost dringt nämlich in Mitteleuropa nur bis etwa 70 cm tief in den Boden ein. Fundamente von Gebäuden, Brückenpfeilern und Leitungsmasten müssen deshalb mindestens 80 cm tief in den Boden reichen. In dieser Tiefe gefriert dann die Feuchtigkeit unter den Fundamenten nicht mehr. Anderenfalls würde durch die Volumvergrößerung des Erdreiches beim Gefrieren das Mauerwerk gehoben werden, so daß gefährliche Risse und Verschiebungen entstehen könnten.

Muß im Winter ein Traktor oder ein Kraftwagen mit wassergekühltem Motor in Hallen, in denen die Temperatur unter 0 °C absinkt, oder gar im Freien abgestellt werden, dann muß das Wasser abgelassen werden. Gefriert nämlich das Wasser im Motor, so zersprengt es ihn. Von der chemischen Industrie wurden jedoch Frostschutzmittel entwickelt, die dem Kühlwasser zugesetzt werden. Dadurch sinkt der Gefrierpunkt des Wassers unter -20 °C ab. Das Kühlwasser braucht dann nicht mehr abgelassen zu werden.

**4. Die Gießtechnik.** Wie alle Flüssigkeiten passen sich auch geschmolzene Metalle der Gefäßform an. Diese Eigenschaft, alle Hohlräume auszufüllen, nutzt man beim *Gießen* aus. Die Metalle werden geschmolzen und in flüssigem Zustand in die fertigen Hohlformen gegossen. Nach dem Erstarren hat der Metallkörper die Form des Hohlraumes der Gießform.

Mit Hilfe des Gießens kann man auch Gegenstände mit komplizierten Formen herstellen. Eine Nacharbeit ist nur an denjenigen Teilen des Gußstückes notwendig, bei denen eine Genauigkeit eingehalten werden muß, die durch das Gießen nicht erreicht werden kann. *Das Gießen ist somit ein Verfahren der spanlosen Formung.*

Es hat den großen Vorteil, daß nur sehr wenig Abfall entsteht, der außerdem wieder eingeschmolzen werden kann.

Die Formen, die das Gußstück haben soll, werden in Sand oder in Metall nachgebildet. *Metallformen* werden auch als *Kokillen* bezeichnet. Sie haben den Vorteil, daß sie als *Dauerformen* immer wieder verwendet werden können. Die *Sandformen* müssen dagegen stets wieder neu hergestellt werden. Sie werden nach einem *Holzmodell* angefertigt, das der Form des Werk-

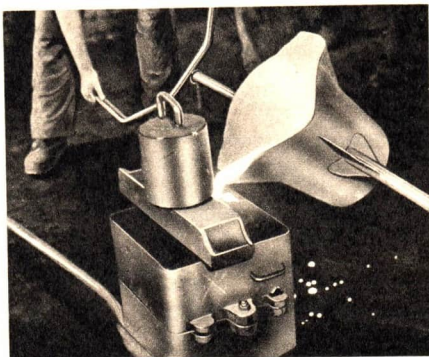


Abb. 119/1. Gießen mit dem Gießkübel

stückes genau entspricht. In einem zerlegbaren Kasten wird dieses Modell dicht mit feinkörnigem *Formsand* umkleidet. Danach werden der *Oberkasten* und der *Unterkasten* voneinander getrennt und das Holzmodell wieder herausgenommen. Nun können die Kästen wieder zusammengesetzt werden und bilden die fertige Gießform. Trichterförmige Kanäle, sogenannte *Steiger*, führen vom Hohlraum der Gießform nach außen. Sie dienen zum Eingießen des flüssigen Metalles und zur Ableitung der Luft (Abb. 119/1). Solange sich das flüssige Metall bei der Abkühlung zusammenzieht, fließt aus den Steigern Metall nach, so daß keine Hohlräume in der Gießform entstehen können. In der Abbildung 120/1 ist das Gießen in seinen wichtigsten Abschnitten schematisch wiedergegeben.

Nach dem Erstarren des Metalles kühlt es sich weiter ab. Dabei zieht sich das Gußstück noch mehr zusammen; man sagt auch, es schwindet. Damit aber der gegossene Körper nach dem endgültigen Erkalten die gewünschte Größe hat, muß er im festen, aber noch heißen Zustand eine etwas größere Form erhalten. Diese Forderung müssen die Modelltischler beim Anfertigen der Modelle berücksichtigen. Die Modelle sind um soviel größer, als das Schwinden ausmacht.

## 18. Verdampfen und Kondensieren

**1. Das Verdampfen.** Bei der Wärmezufuhr wird die Temperatur einer Wassermenge gleichmäßig erhöht. Erwärmt man eine mit Wasser gefüllte Kochflasche, so beobachtet man folgende Erscheinungen:

1. Die Temperatur des Wassers steigt gleichmäßig an. Das Wasser im Kolben gerät in *strömende Bewegung* (Abb. 121/1a).



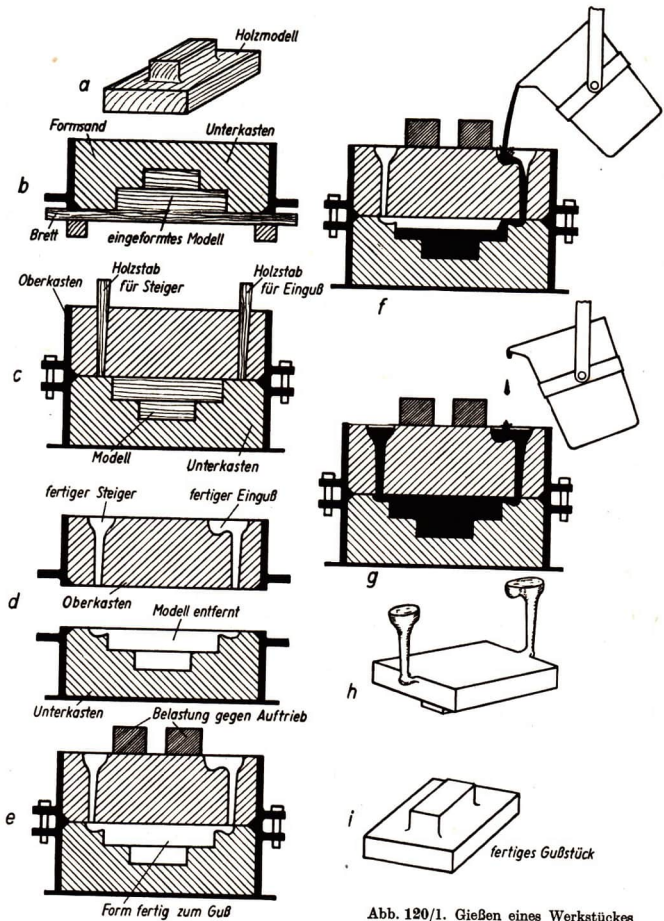


Abb. 120/1. Gießen eines Werkstückes

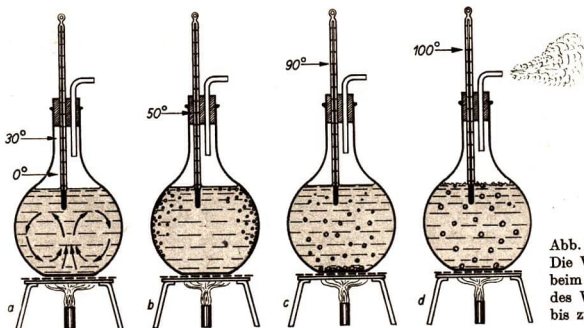


Abb. 121/1  
Die Vorgänge  
beim Erwärmen  
des Wassers  
bis zum Sieden

2. An der Innenwand der Kochflasche bilden sich kleine *Luftbläschen*. In frischem Wasser ist immer Luft gelöst, die beim Erwärmen des Wassers in Form von Bläschen entweicht. Diese Bläschen lösen sich schnell von der Wand und steigen an die Oberfläche empor. Bei etwa 60 °C hört die Bläschenbildung auf (Abb. 121/1 b).
3. Bei Temperaturen zwischen 80 °C und 95 °C bilden sich am Boden der Kochflasche *Dampfblasen*. Sie steigen empor, erreichen aber nicht die Oberfläche, weil sich der Wasserdampf in den kälteren Wasserschichten wieder zu Wasser verdichtet. Der Vorgang ist von einem singenden Geräusch begleitet (Abb. 121/1 c).
4. Bei noch höherer Temperatur hört das Singen auf. Alle Dampfblasen steigen jetzt bis zur Oberfläche empor. *Das Wasser verdampft*, wobei es stark brodelte. *Das Wasser siedet*. Aus dem seitwärts gebogenen Rohr entweicht Wasserdampf. Das Thermometer zeigt eine Temperatur von etwa 100 °C an (Abb. 121/1 d).

*Beim Sieden geht das Wasser vom flüssigen in den gasförmigen Zustand über.*

Dieser Vorgang heißt **Verdampfen**. Läßt man das Wasser längere Zeit sieden, so nimmt die Wassermenge ab. Der Raum über dem Wasser ist durchsichtig. Daraus folgt, daß der Wasserdampf unsichtbar ist. Was man aus einem Topf mit kochendem Wasser oder aus dem Schornstein einer Lokomotive ausströmen sieht, sind feinverteilte kleinste Wassertropfchen (vgl. S. 122).

Durch Wärmezufuhr verdampft jeder Stoff bei einer bestimmten ihm eigenen Temperatur. Sie wird als Siedepunkt bezeichnet.

Das Thermometer zeigt während des Verdampfens ähnlich wie beim Schmelzvorgang eine gleichbleibende Temperatur an (Abb. 121/2). Die zugeführte

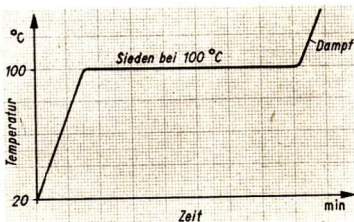


Abb. 121/2. Temperatur-Zeit-Diagramm für den Übergang von Wasser in Dampf

Wärme wird auch während des Siedens zur Änderung des Aggregatzustandes verbraucht. Um eine bestimmte Wassermenge vollständig in Dampf zu verwandeln, ist eine bestimmte Wärmemenge notwendig, die man als *Verdampfungswärme* bezeichnet.

Die durch das Sieden gewonnene Dampfmenge hat einen viel größeren Rauminhalt als das Wasser, aus dem sie entstanden ist. Man gewinnt aus 1 l Wasser etwa 1700 l Dampf.

Wird Wasser in einem Gefäß verdampft, das mit einem Deckel verschlossen ist, so beginnt nach einiger Zeit der Deckel zu klappen. Die Ursache ist die *Kraftwirkung des Dampfes*. Diese Kraft des Dampfes nutzt man beispielsweise bei der *Dampfmaschine* und bei den *Dampfturbinen* aus. Wenn die Kraft des Dampfes zu groß wird, kann der Kessel platzen. Man bringt deshalb an jedem Dampfkessel ein *Sicherheitsventil* an, durch das der Dampf rechtzeitig entweichen kann. Diesen Vorgang kann man beispielsweise bei einer Lokomotive beobachten.

Auch andere Stoffe verdampfen, wenn sie genügend stark erwärmt werden. Wie genaue Versuche ergeben haben, hat jeder Stoff einen ganz bestimmten, ihm eigenen *Siedepunkt*. So hat Terpentinöl eine

*Siedepunkte einiger Stoffe in °C*

|          |      |             |     |               |     |
|----------|------|-------------|-----|---------------|-----|
| Gold     | 2950 | Quecksilber | 357 | Wasser (rein) | 100 |
| Eisen    | 2880 | Leinöl      | 316 | Benzin        | 95  |
| Blei     | 1750 | Terpentinöl | 160 | Alkohol       | 78  |
| Schwefel | 444  | Meerwasser  | 104 | Äther         | 35  |

Siedetemperatur von 160 °C. Auch Metalle verdampfen, nur liegen ihre Siedepunkte wesentlich höher als die anderer Stoffe. Blei siedet beispielsweise bei 1750 °C. In der obigen Tabelle sind die Siedepunkte einiger wichtiger Stoffe wiedergegeben.

Durch Wärmezufuhr verdampft jeder Stoff bei einer bestimmten ihm eigenen Temperatur. Sie wird als *Siedepunkt* bezeichnet.

**2. Kondensieren.** Leitet man den aus der Kochflasche ausströmenden Dampf gegen eine kühle Glasscheibe, so beschlägt sie. Läßt man einige Zeit den Dampf gegen die Scheibe strömen, so beobachtet man schließlich, daß Wassertropfen an der Glasscheibe herunterlaufen. Der heiße Dampf hat somit an die kältere Glasscheibe Wärme abgegeben und ist dadurch vom gasförmigen Aggregatzustand wieder in den flüssigen übergegangen. Dieser Vorgang heißt **Kondensieren**. Auch das Verdampfen und das Kondensieren erfolgen stets bei der gleichen für den betreffenden Stoff typischen Temperatur, dem *Siedepunkt* oder *Kondensationspunkt*. Ebenso gibt eine bestimmte Dampfmenge beim Kondensieren die gleiche Wärmemenge an die Umgebung ab, die ihr beim Sieden zugeführt werden mußte. Diese freiwerdende *Kondensationswärme* ist gleich der *Verdampfungswärme*.

Durch Wärmeabgabe kondensieren gasförmige Stoffe bei einer bestimmten Temperatur, dem *Kondensationspunkt*.

*Siedepunkt* und *Kondensationspunkt* sind gleich.

*Verdampfungswärme* und *Kondensationswärme* eines bestimmten Stoffes sind gleich groß.

Das Verdampfen und das Kondensieren sind wie das Schmelzen und das Erstarren im täglichen Leben vielfach zu finden. Beim Wäschewaschen verdampft im Kessel

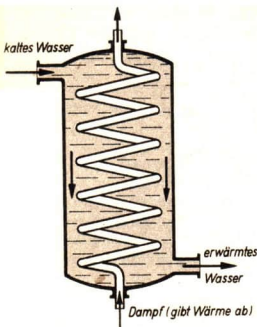


Abb. 123/1  
Wärmeaustauscher

das Wasser. Der Dampf kondensiert wieder am kalten Putz der Decke und der Wände.

In den Kraftwerken und den Industrieanlagen werden in *Dampferzeugern* große Mengen an Dampf gewonnen, der noch zusätzlich erhitzt wird, so daß er Temperaturen bis zu  $500^{\circ}\text{C}$  haben kann. Mit diesem Dampf werden Dampfmaschinen und Turbinen angetrieben. Der Dampf würde aber schlecht ausgenutzt werden, wenn man ihn danach einfach durch den Schornstein abziehen ließe. Viel Wärme würde dabei nutzlos verlorengehen. Dieser Dampf, der nach dem Durchströmen der Maschine meist noch Temperaturen von  $200^{\circ}\text{C}$  bis  $350^{\circ}\text{C}$  hat, wird zum Beispiel zur weiteren Ausnutzung in *Wärmeaustauscher* geleitet (Abb. 123/1). In einem kesselartigen Gefäß befindet sich eine Rohrschlange, durch die der heiße Dampf strömt. Die Rohrschlange wird von Wasser umspült. Dabei wird die Wärme des Dampfes auf das Wasser übertragen. Mit diesem heißen Wasser können beispielsweise Zentralheizungen versorgt werden.

Der nun stark abgekühlte Dampf wird schließlich so weit abgekühlt, daß er wieder zu Wasser kondensiert. Das Wasser wird erneut dem Kessel zugeführt. Auf diese Weise führt das Wasser einen Kreislauf aus.

**3. Die Destillation.** In der chemischen Industrie wird häufig reines Wasser gebraucht. Quellwasser und Grundwasser enthalten aber noch viele gelöste Stoffe, so daß es nicht unmittelbar verwendet werden kann. Das Wasser muß somit erst gereinigt werden.

Man erhitzt Quellwasser in einem Kochkolben bis zum Sieden. Der entweichende Dampf wird durch ein *Kühlrohr* geleitet und kondensiert. In Abbildung 123/2 ist ein Kühler wiedergegeben, wie er in Laboratorien vielfach verwendet wird. Durch das innere Rohr strömt der Dampf, während durch das äußere Rohr Kühlwasser geleitet wird. Untersucht man das kondensierte Wasser, kurz *Kondensat* genannt, so stellt man fest, daß es sehr rein ist. Die Verunreinigungen sind somit im Glas Kolben zurückgeblieben. Eine solche Trennung von Stoffen mit Hilfe des Verdampfens und

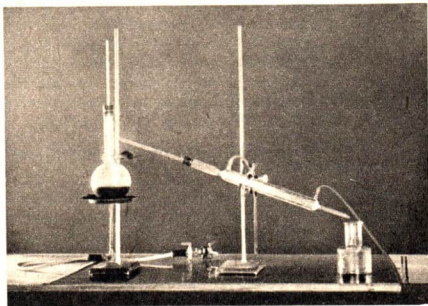


Abb. 123/2. Liebigkühler



Kondensierens heißt *Destillation*. Durch Destillation kann man gelöste Stoffe wieder von dem Lösungsmittel trennen. Das bei der Destillation von Wasser gewonnene Kondensat bezeichnet man als *destilliertes Wasser*.

**Durch Destillation können Lösungen getrennt werden. Die destillierten Stoffe sind sehr rein.**

**4. Verdunsten.** Vom Regen naß gewordenen Straßenpflaster trocknet nach kurzer Zeit. Wird Wäsche im Freien aufgehängt, so ist sie ebenfalls nach einiger Zeit trocken, besonders, wenn die Wäsche im Wind hängt. Da das Wasser nicht mehr zu sehen ist, andererseits nicht verschwunden sein kann, muß es in den gasförmigen Zustand übergegangen sein. Dabei lag seine Temperatur weit unter dem Siedepunkt. Diesen Vorgang, bei dem ein flüssiger Stoff bereits unterhalb der Siedetemperatur gasförmig wird, heißt *Verdunsten*. Beobachtet man Schüsseln mit Wasser während des Verdunstens, so stellt man fest, daß im Gegensatz zum Sieden keine Gasbläschen in der Flüssigkeit aufsteigen. Der Übergang in den gasförmigen Zustand vollzieht sich offenbar nur an der Oberfläche, an der die Flüssigkeit unmittelbar mit der Luft in Berührung steht. Deshalb verdunstet das Wasser in einer geschlossenen Flasche nicht.

**Verdampft eine Flüssigkeit nur an der Oberfläche und bei Temperaturen unterhalb des Siedepunktes, so bezeichnet man den Vorgang als Verdunsten.**

Eine Flüssigkeit, die schon bei normaler Zimmertemperatur sehr schnell verdunstet, ist der Äther. Die Ursache hierfür ist sein niedriger Siedepunkt (35 °C). Man füllt etwas Äther in ein Reagenzglas und gießt die gleiche Menge auf eine flache Schale. Der Äther auf der Schale ist sehr schnell verdunstet, während das Verdampfen im Reagenzglas wesentlich länger dauert. In der Schale ist nämlich die Oberfläche des Äthers wesentlich größer als im Reagenzglas.

**Eine Flüssigkeit verdunstet um so schneller, je größer die Oberfläche der Flüssigkeit ist.**

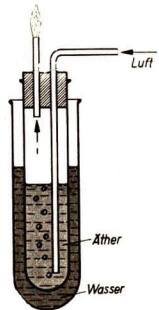
Nach Regenfällen bleiben oft Pfützen stehen, wenn das Wasser nicht schnell genug ablaufen oder versickern kann. Im Laufe der Zeit werden sie jedoch kleiner und verschwinden schließlich ganz. Das Wasser ist allmählich verdunstet. Bei trübem und kühlem Wetter dauert es oft sehr lange, bis das Wasser der Pfützen verdunstet. Scheint dagegen die Sonne, dann trocknen sie recht schnell ab. Durch das Erwärmen wird somit das Verdunsten der Flüssigkeit beschleunigt. Das gleiche ist auch deutlich zu beobachten, wenn man gleichzeitig je einen Tropfen Äther auf eine kalte und eine etwas wärmere Glasplatte bringt.

**Eine Flüssigkeit verdunstet um so schneller, je näher ihre Temperatur dem Siedepunkt liegt.**

Die Wäsche trocknet schneller, wenn ein kräftiger Wind weht. Wird somit der entstehende Wasserdampf schnell fortgeführt, so verdunstet das Wasser ebenfalls schneller. Diesen Vorgang können wir auch mit Hilfe von Äther nachweisen, indem wir etwas Äther auf die Glasplatte tropfen und darüber hinwegblasen.

**Eine Flüssigkeit verdunstet um so schneller, je schneller der entstehende Dampf fortgeführt wird.**

Abb. 125/1. Schnell verdunstender Äther kühlt das Wasser stark ab.



Auch die nasse Asphaltdecke einer Straße trocknet bei windigem Wetter und bei Sonnenschein schneller, Wäsche trocknet im Freien besser als auf dem Trockenboden des Hauses. Eine Tuschzeichnung wird dadurch eher trocken, daß man das Papierblatt vorsichtig erwärmt und leicht darüber hinbläst. Der frische Farbanstrich neuer Maschinen wird in Räumen getrocknet, die beheizt oder durch Gebläse mit Heißluft durchweht werden. Feuchtes Heu oder Getreide läßt man auf der Wiese beziehungsweise auf dem Feld stehen, weil es hier durch Wind und Sonne besser trocknet als in der Scheune. Man darf Heu und Getreide nicht feucht einlagern, da sonst Fäulnis und Brandgefahr entstehen.

Ein Brett aus frischem Holz wird allmählich schmaler, weil die Feuchtigkeit in den Kapillaren des Holzes verdunstet. Das Holz trocknet. Unsere volkseigenen Möbelfabriken haben meist *Trockenräume*, in denen das Holz vor der Verarbeitung durch Heißluft getrocknet wird. Dadurch wird der Trocknungsprozeß wesentlich abgekürzt, während früher das Holz sehr lange auf dem Trockenplatz liegen mußte, ehe es verarbeitet werden konnte. Das Trocknen des Holzes ist unbedingt notwendig. Würde nasses Holz verarbeitet werden, so würden später Risse im Möbelstück entstehen, sobald das Holz trocknet. Außerdem könnte sich das Möbelstück verziehen.

Da auch das Verdunsten ein Übergang von einem Aggregatzustand in einen anderen ist, ist dazu eine bestimmte Wärmemenge nötig. Diese Wärmemenge, die sogenannte *Verdunstungswärme*, wird der Umgebung entzogen. Diese kühlt sich infolgedessen ab. Kommen wir beim Baden aus dem Wasser, so fröstelt uns leicht, obwohl die Luft warm ist. Die Ursache hierfür ist das Verdunsten des Wassers. Die erforderliche Verdunstungswärme wird unserem Körper entzogen.

Die schnelle Verdunstung mancher Flüssigkeiten führt zu einer Abkühlung bis auf Temperaturen unter 0 °C. Dies erkennt man bei folgendem Versuch (Abb. 125/1). Im inneren Glas befindet sich Äther, während im äußeren Glas Wasser ist. Bläst man Luft durch den Äther, so verdunstet er sehr stark. Die Verdunstungswärme wird dem Wasser entzogen, so daß es gefriert. Von dieser Möglichkeit, Temperaturen unter 0 °C zu erreichen, macht man in *Kühlschränken*, *Kühlhäusern* und *Klimaanlagen* von Gebäuden Gebrauch.

Aus den Versuchen zum Verdunsten geht hervor, daß der Wasserdampf auch Temperaturen unter 100 °C haben kann, ohne daß er kondensiert. Verdunstet nämlich das Wasser, so geht es in Dampf über. Dieser Dampf nimmt die Temperatur der umgebenden Luft an. Kühlt man diesen Dampf ab, so kondensiert er ebenfalls. Haucht man beispielsweise an eine Fensterscheibe, so schlägt sich die Feuchtigkeit der Atemluft in kleinsten Tröpfchen nieder, die nach einiger Zeit erneut verdunsten. Die Tropfen an den Fensterscheiben der Gewächshäuser sind ebenfalls kondensierter Wasserdampf. Er ist durch das Verdunsten des Wassers entstanden, das in der Erde und in den Pflanzen enthalten ist. Auch der Wasserdampf, der sich in großen Höhen zu kleinsten Tröpfchen kondensiert und so die Wolken bildet, ist durch das Verdunsten des Meerwassers, des Wassers aus Seen

und Flüssen und der Feuchtigkeit aus großen Wäldern entstanden. Durch das Verdunsten großer Feuchtigkeitismengen im Wald wird der Umgebung Wärme entzogen. Das ist ein Grund dafür, daß man im Sommer die Waldluft als angenehm kühl empfindet.

## 5. Zusammenfassung der Ergebnisse:

1. Der Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Zustand heißt *Verdampfen*. Wird aus dem Dampf wieder eine Flüssigkeit, so bezeichnet man den Vorgang als *Kondensieren*.
2. Verdampft eine Flüssigkeit nicht nur an der Oberfläche, sondern auch im Innern, so *siedet* sie. Jede Flüssigkeit siedet bei einer bestimmten Temperatur, dem Siedepunkt.
3. Verdampft eine Flüssigkeit nur an der Oberfläche, so *verdunstet* sie. Eine Flüssigkeit verdunstet bei jeder Temperatur unterhalb ihres Siedepunktes.
4. Beim Sieden und beim Verdunsten nimmt die Flüssigkeit eine bestimmte Wärmemenge auf. Diese heißt *Verdampfungs-* beziehungsweise *Verdunstungswärme* und dient nur zur Dampfbildung.
5. Entzieht man dem Dampf die aufgenommene Wärme wieder, so *kondensiert* er.

## 6. Fragen und Aufgaben:

1. Wie kommt es, daß der Decken- und der Wandanstrich in der Küche öfter erneuert werden muß als in anderen Räumen?
2. Wie erklärt sich die Empfindung der Abkühlung, wenn man schwitzt und sich Luft zuwendet?
3. Gieße auf ein Stück Löschpapier und in ein Reagenzglas je ein Milliliter Wasser! Lege bzw. stelle beides in die Sonne und beobachte die Verdunstung! In welchem Falle verdunstet das Wasser schneller?
4. Laß aus einer mit Wasser gefüllten Tropfflasche auf zwei Untertassen die gleiche Anzahl von Tropfen fallen! Stelle die eine auf den warmen Ofen bzw. in die Wärmeröhre, die andere auf den Tisch und beobachte die Verdunstung! Was kannst du feststellen?
5. Befeuchte drei gleich große Stücke Löschpapier von der Größe 4 cm × 4 cm mit Wasser und lege sie auf drei Untertassen! Die eine bedecke mit einem umgestülpten Trinkglas, die zweite laß offen stehen, über die dritte blase einen kräftigen Luftstrom! Auf welcher Untertasse verdunstet das Wasser am schnellsten, auf welcher am langsamsten?
6. Warum bewahrt man Brot in geschlossenen Behältern auf?
7. Warum breitet man das gemähte Gras bei der Heuernte tagsüber aus und wendet es mehrmals am Tage? Warum wird es nachts oder vor dem Regen gehäufelt?
8. Wie kommt es, daß es in Neubauten meist auffallend kühl ist?

## 19. Vom Wetter

1. **Wettervorhersage und Wetterbeeinflussung.** Für die Schule ist ein Wandertag angesetzt. Mit besorgtem Blick mustern Lehrer und Schüler den Himmel. „Wie wird das Wetter?“ Aufmerksam verfolgen sie den *Wetterbericht* im Rundfunk und

in der Zeitung. Alle freuen sich, wenn am Wandertag die Sonne vom blauen Himmel strahlt.

Viele Menschen stellen täglich die Frage nach dem Wetter. Regen und Sonnenschein im richtigen Verhältnis und zur rechten Zeit sind für den Bauern und für den Gärtner wichtig. Der Arbeitsablauf in der Landwirtschaft wird stark vom Wetter beeinflusst. Ist in der Erntezeit eine längere Periode schlechten Wetters zu erwarten, dann muß mit allen Kräften versucht werden, Heu oder Getreide schnell und verlustlos zu bergen. Bei drohenden Nachtfrosten müssen empfindliche Kulturpflanzen geschützt oder abgeerntet werden. Kartoffeln dürfen bei Frost nicht offen transportiert werden, da sie sonst erfrieren. Das ist besonders wichtig für die Deutsche Reichsbahn. Sind trotz Frostes Transporte notwendig, so müssen die Kartoffeln mit Stroh abgedeckt werden.

Die Tätigkeit der Maurer und Zimmerleute, der Forstarbeiter und Straßenbauer und vieler Angehöriger anderer Berufe wird ebenfalls vom Wetter beeinflusst. Auch der Flugzeugführer muß wissen, wie das Wetter auf der Strecke ist, die er befliegt. Sturmwarnungen sind besonders wichtig für die Besatzungen von Schiffen, Nebelwarnungen weisen die Führer von Lokomotiven und Kraftfahrzeugen auf besondere Vorsicht hin. Das gleiche gilt für die Meldungen über Schneeverwehungen und Glatteis.

Schon von alters her versuchten die Menschen, das Wetter vorherzubestimmen und möglichst zu beeinflussen. Sie waren der Meinung, daß Donner und Blitz, Regen und Schnee, Hagel und Sonnenschein auf das Wirken von Geistern und Göttern zurückzuführen seien. Durch Opfer und Gebete suchten sie den Donnergott zu besänftigen, der Gott des Regens sollte ihnen Niederschläge für ihre Felder spenden, der Sonnengott zur rechten Zeit für die nötige Wärme sorgen. Dieser Glaube, durch Opfer und Gebete das Wetter nach Wunsch gestalten zu können, hat sich über Jahrtausende erhalten und wurde von der Kirche unterstützt. Die Menschen waren unwissend. So konnten sie nicht erkennen, daß nicht ein Gott das Wetter gestaltet, sondern daß es auf natürliche Erscheinungen in der Luft-hülle der Erde zurückzuführen ist.

Viele Wettervorhersagen waren auf falschen Vorstellungen aufgebaut, da man die Ursachen der Witterungserscheinungen nicht kannte. Bestimmte Vorhersagen, besonders die Bauernregeln, waren das Ergebnis langer Naturbeobachtung. Sie trafen für einen begrenzten Raum häufig zu.

Heute ist die *Vorausbestimmung des Wetters* eine Aufgabe der *Wetterstationen* und des *Wetterdienstes*, den es in allen Ländern der Erde gibt. Genaue Meßgeräte zeichnen ständig alle Erscheinungen des Wetters am Ort der Station auf: die Temperatur, die Windrichtung und -stärke, die Regenmenge, die Bewölkung u. a. Die wissenschaftlichen Untersuchungen werden ausgewertet. Alle Stationen tauschen die Ergebnisse ihrer Beobachtungen aus. Aus den Wetterbeobachtungen und den Messungen werden die Wetterkarte, der Wetterbericht und die Wettervorhersage zusammengestellt. In der Vorhersage wird das Wetter, das wahrscheinlich zu erwarten ist, meist für 24 oder 48 Stunden vorausgesagt. Vorhersagen bis zu einer Woche sind nur in großen Zügen möglich. Darüber hinaus kann man das Wetter noch nicht vorherbestimmen, da es noch nicht möglich ist, alle Ursachen, die einen Einfluß auf das Wetter haben, für einen längeren Zeitraum zu erfassen.

Auf dem Gebiet der *Wetterveränderung* haben in der Sowjetunion bereits erfolgreiche Versuche stattgefunden. Allerdings handelt es sich dabei noch um Ein-



wirkungen auf örtliche Witterungsverhältnisse. So haben zum Beispiel sowjetische Wissenschaftler Gewitter von bestimmten gefährdeten Gebieten abgelenkt und über anderen zur Entladung gebracht. Die Wissenschaftler führten Schneeschmelzen herbei und zerstreuten Wolken. So beginnt der Mensch, mit wissenschaftlichen Mitteln das Wetter zu beeinflussen.

**2. Verdunstung und Luftfeuchtigkeit.** Bei ausgedehnten Wasserflächen verdunstet viel Feuchtigkeit. Die Verdunstung ist um so größer, je wärmer und trockener die Luft ist (vgl. S. 124). Besonders stark ist sie über den Ozeanen der heißen Zone. Aber auch in der gemäßigten und in der kalten Zone nimmt die Luft *Feuchtigkeit* aus dem Meer und aus anderen Gewässern, besonders an sonnigen Tagen, auf. Der Wasserdampf steigt mit der erwärmten Luft hoch und wird von den Winden fortgeführt.

*Durch die Verdunstung nimmt die Luft Feuchtigkeit auf.*

Die Feuchtigkeit der Luft kann mit dem *Hygrometer* gemessen werden (Abb. 128/1). Im Hygrometer ist ein Haar gespannt, dessen Länge sich je nach der Luftfeuchtigkeit ändert. Die Verlängerung oder Verkürzung des Haares wird auf einen Zeiger übertragen, der über einer Skale spielt und den Feuchtigkeitsgehalt der Luft anzeigt.

Eine bestimmte Luftmenge kann immer nur eine bestimmte Menge an Wasserdampf aufnehmen. Diese Menge hängt von der Temperatur der Luft ab. Warme Luft kann mehr Wasserdampf aufnehmen als kalte. Man bezeichnet die Feuchtigkeitsmenge, die die Luft im höchsten Falle enthalten kann, als *Sättigungsmenge*. Wenn dieses Maß erreicht ist, hört die Verdunstung auf, denn die Luft ist bereits mit Wasserdampf gesättigt. Wäsche beispielsweise kann in solcher Luft nicht trocknen. Die folgende Tabelle zeigt, wieviel Gramm Wasserdampf ein Kubikmeter Luft bei verschiedenen Temperaturen aufnehmen kann:

| Temperatur (in °C) | 0   | 5   | 10  | 15   | 20   | 25   | 30   |
|--------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Wasserdampf (in g) | 4,9 | 6,9 | 9,3 | 12,7 | 17,2 | 22,8 | 30,1 |

Enthält zum Beispiel 1 m<sup>3</sup> Luft bei einer Temperatur von 20 °C 12,7 g Wasserdampf, so ist sie ungesättigt. Wenn sich diese Luft auf 15 °C abkühlt, dann ist die Sättigungsmenge erreicht. Kühlt sie sich weiter auf 10 °C ab, so vermag sie nur noch 9,3 g Wasserdampf im gasförmigen Zustand zu halten. Die übrigen 3,4 g werden zu Wassertröpfchen kondensiert. Daraus folgt:

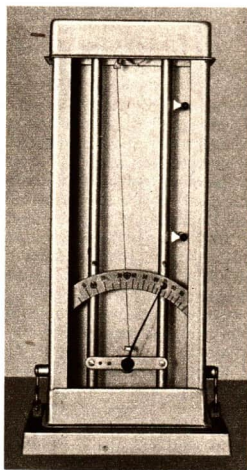


Abb. 128/1. Hygrometer

Kühlt sich warme, ungesättigte Luft ab, dann verringert sich die Sättigungsmenge an Wasserdampf. Schließlich wird bei einer bestimmten Temperatur der Punkt erreicht, an dem die abgekühlte Luft mit Wasserdampf gesättigt ist. Bei weiterer Abkühlung wird der Teil an Feuchtigkeit ausgeschieden, der über die Sättigungsmenge hinausgeht. Dieser kondensiert zu Wassertröpfchen, die in der Luft schweben, oder sich an festen Körpern absetzen.

Das Beschlagen der Fensterscheiben im Winter kann auf Grund der geschilderten Tatsachen erklärt werden. Die Luft des Zimmers kühlt sich an der kalten Scheibe ab, und die überschüssige Feuchtigkeit setzt sich in Form kleinster Tröpfchen ab. Die Fensterscheibe „schwitzt“.

**Die Luft vermag nur eine bestimmte Menge an Wasserdampf aufzunehmen. Diese hängt von der Temperatur ab. Wird bei der Abkühlung der Luft die Sättigungsmenge überschritten, so kondensiert der Wasserdampf zu kleinen Tröpfchen.**

**3. Die Wolken.** Der Wasserdampf kondensiert in großem Maße in der Lufthülle der Erde infolge Abkühlung. Die Wassertröpfchen, die dabei entstehen, sind so klein und leicht, daß sie in der Luft schweben. Einzelne Wassertröpfchen kann man nicht sehen. Sind sie jedoch in großen Mengen vorhanden, so bilden sie die *Wolken*. Wenn die Luftschichten, in denen sich die Wolken bilden, kälter als  $0^{\circ}\text{C}$  sind, dann können statt der Wassertröpfchen auch *Eiskristalle* entstehen.

*Die Wolken sind schwebende Wassertröpfchen oder Eiskristalle.*

Die Wolken ziehen mit dem Winde. Sie steigen dabei mit den Luftmassen auf oder sinken ab und geraten in Luftschichten, in denen andere Temperaturen herrschen. Infolgedessen verdunsten sie wieder teilweise oder nehmen an Umfang zu. So verändern die Wolken ihre Gestalt. Nach ihrer Form unterscheidet man verschiedene Wolkenarten.

*Haufenwolken* schweben in etwa 1000 m bis 3000 m Höhe (Abb. 129/1). Ihre Unterfläche ist verhältnismäßig eben. Nach oben quellen sie kugelig oder blumenkohlartig auf. Man nennt sie auch *Schönwetterwolken*.

Haufenwolken besonderer Art sind die *Gewitterwolken* (Abb. 129/2). Sie entstehen dann, wenn erwärmte Luft sehr schnell in große Höhen aufsteigt. An ihrer Oberseite sind die Wolkenmassen meist hoch aufgetürmt.



Abb. 129/1. Haufenwolken

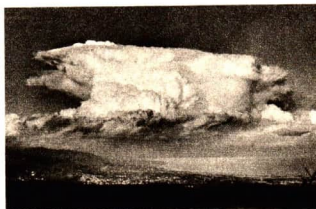


Abb. 129/2. Gewitterwolke



Abb. 130/1. Schäfchenwolken (links oben)

Abb. 130/2. Schichtwolken (links)

Abb. 130/3. Federwolken (oben)

*Schäfchenwolken* ziehen in 2000 m bis 6000 m Höhe, mitunter auch darüber (Abb. 130/1). In ihrer Form ähneln sie den Haufenwolken. Manchmal bilden die weißen, flockigen Wolkenbällchen lange Streifen. Wenn Schäfchenwolken auftreten, ist meist mit einer Wetterverschlechterung zu rechnen.

*Schichtwolken* bilden eine zusammenhängende Decke ohne eine bestimmte Form (Abb. 130/2). Sie bewegen sich in 100 m bis 6000 m Höhe. Ihre Ränder und die Unterseite sind meist vom Winde zerfetzt. Besonders die tieferen Schichtwolken haben häufig dicke, dunkle Schichten und bringen Regen. Die hohen Schichtwolken dagegen zeigen sich als graue oder weiße Schleier.

*Federwolken* bewegen sich in Höhen um 8000 m (Abb. 130/3). Sie bestehen aus Eiskristallen. Ihren Namen verdanken sie ihrer federartigen, faserigen Form. Federwolken zeigen meist den Beginn einer Eintrübung an.

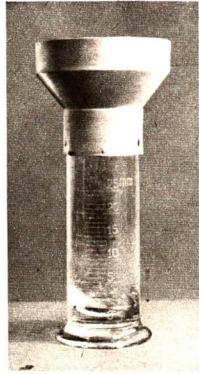
**4. Niederschläge.** Wenn Wolken in kühlere Luftschichten geraten, kondensiert weiterer Wasserdampf. Dieses Wasser lagert sich an die vorhandenen Tröpfchen an. Sie werden daher größer und schwerer. Schließlich können sie sich nicht mehr in der Schwebe halten und fallen als *Regen* zur Erde.

Die Ursachen für die weitere Abkühlung der Wolken können verschiedenartig sein. Steigt zum Beispiel erwärmte Luft in die Höhe, so sinkt ihre Temperatur. War sie bereits sehr feucht, so kommt es bald zur Kondensation und zu Niederschlägen. Die Luftmassen können sich aber auch stauen und dadurch in die Höhe abgelenkt werden. Schließlich können die Luftmassen auch an Gebirgen in die Höhe steigen. Ein bekanntes Beispiel dafür sind die Niederschlagsverhältnisse am Harz.

Im Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik herrschen Westwinde vor. Sie führen vom Atlantik her feuchte Luftmassen heran. Als erstes größeres Hinder-

nis ragt der Harz auf. An seiner Westseite wird die Luft nach oben abgelenkt. Dabei kühlt sie sich ab, so daß viel Wasserdampf der Luftfeuchtigkeit zu Wasser kondensiert. Die Abkühlung ist so stark, daß die Wolken immer dunkler und dicker werden und sich schließlich abregnen. Der westliche Teil des Harzes ist daher eines der niederschlagsreichsten Gebiete. Auf ihrem weiteren Weg sinkt die Luft am Ostharz wieder nach unten und erwärmt sich dabei. Die noch vorhandenen Wolken verdunsten infolgedessen, so daß das Gebiet östlich des Harzes nur geringe Niederschläge erhält.

Die Niederschläge können sowohl in flüssiger als auch in fester Form fallen, zum Beispiel als *Schnee*. Ihre Menge wird von den Wetterstationen und anderen Beobachtungsstationen gemessen und als Niederschlagshöhe in Millimetern angegeben (Abb. 131/1).



**Niederschläge sind Wasser in fester oder flüssiger Form, das von der Luft ausgeschieden wird und zur Erde gelangt.**

Der Regen fällt in Form von Tropfen zur Erde. Die Größe der Regentropfen ist unterschiedlich. Ein feines Rieseln kleiner Tropfen ist der *Sprüh-* oder *Nieselregen*. Langanhaltenden *Dauerregen* nennt man *Landregen*. Kurze Güsse bezeichnet man als *Schauer*. Plötzliche, starke Regenfälle mit großen Tropfen sind *Platzregen*.

*Schnee* bildet sich in Luftschichten, deren Temperatur unter dem Gefrierpunkt liegt. Dabei entstehen aus dem Wasserdampf nicht erst Wassertröpfchen, sondern sofort feste *Schneekristalle*. Sie haben regelmäßige sechseckige Formen von großer Vielfalt (Abb. 131/2). Bei strengem Frost fallen sie als *Pulverschnee*. Wenn es weniger kalt ist, vereinigen sie sich zu größeren lockeren Schneeflocken.

*Graupeln* entstehen, wenn die Schneekristalle durch Wolken fallen und noch Wassertröpfchen an sie anfrieren. Geschieht das mehrmals, dann bildet sich *Hagel*.

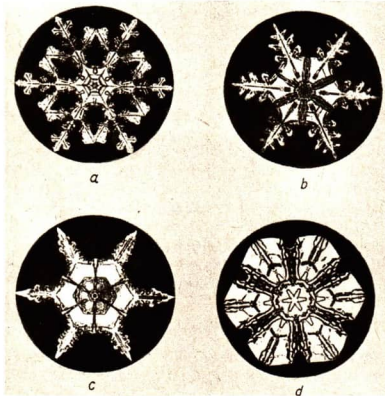


Abb. 131/2. Schneekristalle



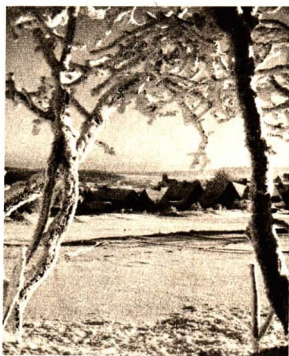


Abb. 132/1. Rauhreif

Man erkennt die mehrfache Anlagerung des Wassers an den schalenförmigen Eisschichten des Hagelkornes. Hagel tritt meist im Zusammenhang mit Gewittern auf.

Neben diesen Niederschlägen, die sich in höheren Luftschichten bilden, gibt es andere, die in Bodennähe entstehen.

*Nebel* ist eine Wolke, die an der Erde lagert. Er entsteht, wenn die Luft in Bodennähe sehr feucht ist und sich — besonders nachts — stark abkühlt. Meist bildet sich Nebel über Wasserflächen, Mooren und feuchten Wiesen, doch tritt er auch an anderen Orten auf. Wenn im Herbst oder im Winter kalte und warme Luftmassen am Boden zusammenfließen, bilden sich ausgedehnte Nebelfelder.

*Tau* setzt sich meist in den frühen Morgenstunden nach klaren Nächten ab. Die Erde strahlt bei unbedecktem Himmel viel Wärme aus. Sie kühlt sich daher

stärker als die Luftschichten ab, die über ihr lagern. So kondensiert der Wasserdampf in Erdnähe und haftet als Tautropfen an Gräsern, Blättern, Zweigen und Drähten. Bei bedecktem Himmel bildet sich kaum Tau, weil infolge der Wolken sich die Erde nicht so stark abkühlen kann.

*Rauhreif* besteht aus Eiskristallen (Abb. 132/1). Er bildet sich unter ähnlichen Bedingungen wie der Tau. Nur beginnt die Ausscheidung der Luftfeuchtigkeit erst unterhalb des Gefrierpunktes, ähnlich wie beim Schnee. Rauhreif ist also kein gefrorener Tau, sondern kristallisierter Wasserdampf.

*Niederschläge in flüssiger Form sind Regen, Nebel und Tau. Niederschläge in fester Form sind Schnee, Graupel, Hagel und Rauhreif.*

*Regen, Schnee, Hagel und Graupel bilden sich in hohen Luftschichten, Nebel, Tau und Rauhreif am Boden.*

**5. Der Kreislauf des Wassers.** Ein Teil der Niederschläge fließt durch Gräben, Bäche und Flüsse in Seen oder ins Meer. Ein anderer Teil verdunstet. Der Rest sickert in den Boden ein und vermehrt das Grundwasser. Ein beträchtlicher Teil des eingesickerten Wassers wird von den Pflanzen aufgenommen. Aber sie scheiden den größten Teil des Wassers wieder durch die Blätter aus, wo es verdunstet. Nur ein kleiner Teil wird zum Aufbau der Pflanze verwendet. Auch Tiere und Menschen nehmen Wasser auf, geben es aber zum größten Teil mit der Atmung, durch Schweißabsonderung und mit den Ausscheidungen wieder an die Luft beziehungsweise an den Boden ab.

*Die Niederschläge laufen ab, verdunsten und versickern.*

*Das Wasser befindet sich in einem ständigen Kreislauf.* Es verdunstet an der Oberfläche der Meere, Seen und Flüsse, aus Regenpfützen und aus dem Erdboden

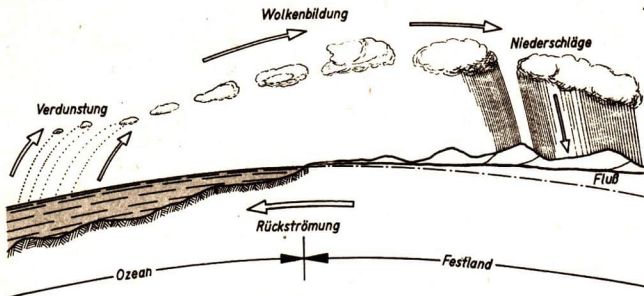


Abb. 133/1. Kreislauf des Wassers

und schließlich auf dem Weg über Pflanzen und Tier. Der Wasserdampf steigt in die Luft und wird vom Winde weggeführt. Er kühlt sich wieder ab und kondensiert zu Tropfen, die die Wolken bilden. Als Regen, Schnee, Graupel oder Hagel, als Nebel, Tau oder Raureif gelangt das Wasser zur Erde. Direkt oder über das Grundwasser und die Quellen fließt es dem Meere zu. So schließt sich der Kreislauf (Abb. 133/1).

#### 6. Aufgaben:

1. Welche Arten von Wolken kennst du?
2. Beobachte eine Woche lang früh, mittags und abends die Bewölkung! Schreibe auf, welche Wolkenformen du gesehen hast!
3. Nenne die verschiedenen Arten von Niederschlägen! Fertige eine Tabelle nach folgendem Muster:

| Aggregatzustand der Niederschläge | Niederschläge aus hohen Luftschichten | Niederschläge in Bodennähe |
|-----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| flüssig                           |                                       |                            |
| fest                              |                                       |                            |

4. Beschreibe den Kreislauf des Wassers!

## 20. Wetter und Landwirtschaft

1. Die Bedeutung der Niederschläge für die Landwirtschaft. Die Niederschläge bringen der Erde das Wasser, das für die Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte notwendig ist. Guter Ackerboden muß genügend Feuchtigkeit enthalten. Durch die Bearbeitung wird seine Aufnahmefähigkeit erhöht.

Der Hauptanteil der Feuchtigkeit fällt als Regen. Bei starken Güssen kann der Boden meist die Wassermengen nicht aufnehmen. Ein großer Teil fließt an der Oberfläche der Erde ab und geht der Nutzung verloren. Außerdem führt das Wasser Bodenteilchen fort und verschlämmt die oberste Bodenschicht. Am günstigsten ist ein gleichmäßiger anhaltender Landregen. Das Wasser dringt dann gut in den Boden ein und durchfeuchtet ihn.

Es ist günstig, wenn die Bodenteilchen zu kleinen Krümeln zusammengebacken sind. Zwischen ihnen liegen Hohlräume, durch die das Wasser gut einsickern kann. Diese Hohlräume wirken als Kapillaren. In ihnen steigt auch das Grundwasser wieder hoch, wenn das Wasser in den obersten Schichten verdunstet oder durch die Pflanzen verbraucht worden ist.

An stark geneigten Hängen fließt bei Regen viel Wasser ab. Man führt deshalb die Furchen beim Ackern nicht hangabwärts, da dann der Abfluß noch erleichtert werden würde. Verlaufen die Furchen dagegen quer zum Hang, so wirken sie als Damm und halten das Regenwasser zurück.

Unsere Kulturpflanzen brauchen nicht zu jeder Jahreszeit gleich viel Wasser. Das Getreide zum Beispiel hat den größten Bedarf während des Schossens, das heißt, wenn die Ähren herauskommen. Während der übrigen Zeit kann die Wasserzufuhr geringer sein. Die Goldene Aue südlich des Harzes ist sehr fruchtbar und bringt hohe Ernteerträge. Dabei erhält sie nur wenig Niederschläge, weil sie im Regenschatten des Harzes liegt. Der Regen fällt aber meist in der Zeit, in der er für die Landwirtschaft besonders notwendig ist, im Frühjahr und Frühsommer.

Der Regen allein bringt jedoch noch nicht so viel Wasser, wie die Pflanzen brauchen; darum wird die Winterfurche gezogen. Der Boden kann gut durchfrieren, wodurch die *Krümelstruktur* verbessert wird. Außerdem kann dann das Schmelzwasser des Schnees besser in die Erde eindringen. Reichliche Schneefälle im Winter erhöhen beträchtlich den Wasservorrat des Bodens. In der Zeit des Wachstums steht er den Pflanzen zur Verfügung.

Während der Heu- und Getreideernte sind Niederschläge nicht erwünscht. Das Heu soll in der Sonne schnell trocknen, damit man es für den Winter speichern kann. Wenn es mehrmals naß wird, verringert sich sein Nährwert. Es wird unan-

sehnlich und das Vieh frißt es nicht mehr gern. Auch das Getreide muß gut ausgetrocknet sein, ehe es eingefahren oder mit dem Mähdrösch geerntet wird. Getreide, das im Dauerregen auf dem Feld stehenbleiben muß, wächst aus, die Körner fangen an zu keimen.

Unerwünschte Niederschläge sind vor allem Platzregen und Hagel. Sie



Abb. 134/1  
Trockenrisse im Boden

richten häufig großen Schaden an. Durch die herabstürzenden Wassermassen oder die niederprasselnden Hagelkörner werden die Pflanzen zu Boden gedrückt, die Getreidekörner aus den Ähren geschlagen oder Blätter und Stengel abgerissen. Das schnell und stark fließende Wasser wäscht junge Pflänzchen aus dem Boden, reißt tiefe Rinnen und spült Geröll auf den Acker.

Bei zu geringen Niederschlägen trocknet der Boden aus. Die Pflanzen werden im Wachstum gehemmt und gehen ein. Im Boden bilden sich Trockenrisse (Abb. 134/1), wodurch die Wurzeln der Pflanzen beschädigt werden.

Durch die Bearbeitung des Bodens, den Anbau und andere Maßnahmen beeinflusst man den Wasserhaushalt des Bodens. Dadurch können die Erträge an landwirtschaftlichen Produkten erhöht werden.

*Die Niederschläge bringen die Feuchtigkeit, die unsere Kulturpflanzen brauchen. Durch die Bearbeitung des Bodens wird seine Aufnahmefähigkeit verbessert.*

## 2. Landwirtschaftliche Maßnahmen zur Beeinflussung des Wasserhaushaltes.

a) **Bodenbearbeitung.** Im Herbst wird auf den Feldern unserer landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften die Winterfurche gezogen. Dabei wird der Boden tief und in großen Schollen umgebrochen, so daß große Hohlräume entstehen. Regen und Schmelzwasser können daher gut eindringen. In gelockertem Boden ist bis zu einem Drittel mehr Wasser enthalten als in ungelockertem. Im Frühjahr wird der Acker geschleppt und geeget (Abb. 135/1). Die Schollen sind durchgefroren und zerfallen zu Krümel. Die oberste Bodenschicht wird eingebnet, damit die Feuchtigkeit nicht wieder ungenutzt verdunstet (vgl. S. 77).

*Die Winterfurche dient zur Verbesserung der Aufnahme des Schmelzwassers.*

Die Bearbeitung des Bodens hat aber noch einen weiteren Zweck. Nach längerem Regen verkrustet die Oberfläche und wird hart. Die Bodenkrümel zerfallen. Wird nun der Boden gelockert, so bilden sich neue Krümel. Das ist einmal wichtig für die Belüftung des Bodens, zum anderen kann nun wieder Wasser gut eindringen. Ein gut gekrümelter Boden ist die Voraussetzung für den Anbau von Kulturpflanzen.

Durch die Bodenbearbeitung werden an der Oberfläche die Kapillaren zerstört. Dadurch wird die Verdunstung eingeschränkt. In gelockertem Boden bildet sich eine gute Krümelstruktur.



Abb. 135/1. Schleppen und Eggen mit Gerätekopplung



b) **Zwischenfruchtanbau.** Unbeauteter Acker ist den Witterungseinflüssen sehr stark ausgesetzt. Der Regen wäscht ständig feine Bodenteilchen aus und führt sie fort. Dadurch vermindert sich die Güte des Bodens. Bei Trockenheit bläst der Wind die Teilchen als Staub fort. Die Verdunstung ist groß und die Bodenfeuchtigkeit geht ungenutzt verloren. Durch den Anbau von Zwischenfrüchten werden diese Schäden vermieden. Nach der Ernte der Hauptfrucht, zum Beispiel des Getreides, wird der Acker sofort mit einer Zwischenfrucht bestellt. Als Sommerzwischenfrucht baut man zum Beispiel Mais oder Senf an, als Winterzwischenfrucht Futterroggen. Die Zwischenfrucht wird grün abgeerntet und als Futter verwendet.

Auf diese Weise wird erreicht, daß das Feld bald nach der Ernte wieder mit wachsenden Pflanzen bedeckt ist. Sie halten die Bodenteilchen fest. Ihre Blätter schirmen den Boden gegen den Wind und gegen die direkte Sonnenbestrahlung ab. So schränken sie die Verdunstung sehr stark ein.

Vor allem hat der Zwischenfruchtanbau eine große wirtschaftliche Bedeutung. Es kann zusätzlich Futter gewonnen und dadurch mehr Vieh gehalten werden. Darum sieht auch der Siebenjahrplan vor, daß der Zwischenfruchtanbau gesteigert wird.

*Durch Zwischenfruchtanbau wird der Boden vor Auswaschung und nutzloser Verdunstung geschützt.*

c) **Bewässerung:** In Gegenden mit geringen Niederschlägen oder auf trockenen Böden müssen die Felder und Wiesen zusätzlich bewässert werden. Von einem natürlichen oder künstlichen Wasserlauf zweigt man einen Hauptzuleitungsgraben ab. Er kann durch eine *Schutzschleuse* abgeschlossen werden, damit der Wassereinlauf reguliert werden kann. Wenn der Graben höher als der Fluß liegt, wird das Wasser eingepumpt. Unter Ausnutzung des natürlichen Gefälles leitet man es den Ländereien zu, die bewässert werden sollen. Hier zweigen nun Seitengräben ab, die zu den einzelnen Feldern und Wiesen führen. Sie können ebenfalls gegen den Hauptgraben abgeschlossen werden.

Solche Bewässerungsanlagen haben schon die Babylonier, Assyrer und Ägypter gebaut. Auch heute noch spielt die künstliche Bewässerung eine große Rolle: bei den Reisbauern in der Volksrepublik China und auf den Baumwollkolchosen im südlichen Teil der Sowjetunion (Abb. 136/1). Dort wird ein über 1000 km langer

Kanal gebaut, um die Wüste zu bewässern und in fruchtbares Ackerland zu verwandeln.

In der Nähe von Großstädten legt man ähnlich den Bewässerungsanlagen *Rieselfelder* an. Ihnen werden die Abwässer der Stadt zugeführt und dabei geklärt.



Abb. 136/1. Bewässerung eines Baumwollfeldes in der Sowjetunion

Abb. 137/1. Beregnungsanlage

Reichen die Niederschläge nicht aus oder fehlen sie ganz, so werden wertvolle Kulturen, besonders Gemüsegelder, *künstlich beregnet*. An einem Graben, einem Flußlauf oder an einem See wird eine Motorpumpe aufgestellt. Sie drückt das Wasser in bewegliche Rohrleitungen, die je nach Bedarf verlegt werden können. Diese Rohrleitungen führen zu den *Regnern*, die das Wasser in einem weiten Umkreis versprühen (Abb. 137/1). Der Kopf des Regners ist beweglich und wird automatisch gedreht. Mit großen Regnern erreicht man eine Weite von 50 Metern. Kleine Regner können an das Wasserleitungsnetz angeschlossen werden.



*Durch Bewässerung, Berieselung und Beregnung wird dem Boden zusätzlich Wasser zugeführt.*

d) **Entwässerung.** Es gibt jedoch auch Böden, die zu feucht sind, da der Grundwasserspiegel zu hoch ist. Um diesen Boden bewirtschaften zu können, muß man ihn *entwässern*. Dadurch wird das überschüssige Wasser beseitigt.

Eine Möglichkeit, den Boden zu entwässern, ist folgende: Ein Netz offener Gräben wird durch die nassen Ländereien gelegt. Diese Gräben müssen wesentlich tiefer sein als Bewässerungsgräben. In ihnen sammelt sich das überschüssige Wasser und fließt in die Hauptgräben und aus ihnen in die *Vorfluter*. Das sind künstliche oder natürliche Wasserläufe, die dem Abfluß dienen. Das ganze zu entwässernde Gebiet wird mit Randgräben umgeben, damit kein neues Wasser von außen eindringt.

Bei der Bearbeitung dieser Ländereien mit Maschinen sind jedoch die vielen kleinen Sammelgräben hinderlich. Darum legt man sogenannte *Dränagen* an. Durchlässige Tonrohre werden in 1 m bis 2 m Tiefe verlegt. Sie nehmen das Bodenwasser auf und leiten es über Sammelleitungen in die Vorfluter. Da die Röhren unterirdisch liegen, können die Flächen ungehindert mit Maschinen bearbeitet werden.

Durch die Entwässerung werden minderwertige Böden verbessert und für die landwirtschaftliche Nutzung brauchbar. So kann man Moore trockenlegen. In unserer Republik hat die Freie Deutsche Jugend die Entwässerung einiger großer Gebiete übernommen. Die *Friedländer Große Wiese* im Bezirk Neubrandenburg hat eine Fläche von 15600 ha. Sie und die *Wische* im Bezirk Neubrandenburg wurden in freiwilliger Arbeit entwässert und können nun genutzt werden. Im *Rhin-Havel-Luch* in der Nähe Berlins arbeiten die Brigaden der Jugend noch an der

Entwässerung. Im Rahmen des Siebenjahresplanes unserer Republik werden 550 000 ha minderen Bodens zu wertvoller landwirtschaftlicher Nutzfläche.

*Durch die Entwässerung wird das überschüssige Wasser abgeleitet und damit der Boden verbessert.*



Abb. 138/1. Schutzwaldstreifen in der Sowjetunion

e) Schutzgehölze. In Gebieten ohne Wald ist der Boden ungünstigen

Witterungseinflüssen besonders stark ausgesetzt. Winterstürme blasen den Schnee ab, so daß die Winterfeuchtigkeit verringert wird und außerdem das Wintergetreide Frostschäden erleidet. Im Sommer ist der Boden der Austrocknung durch den Wind stärker als sonst ausgesetzt. Regengüsse reißen tiefe Rinnen auf. Zum Schutz des Bodens pflanzt man daher Gehölze an. In den südlichen Gebieten des europäischen Teiles der Sowjetunion wurden *Schutzwaldstreifen* von Tausenden Kilometer Länge angelegt (Abb. 138/1). Sie umgeben die Feldflächen und verhindern, daß der Wind Schaden anrichtet. Zwischen den Schutzstreifen bleibt der Schnee liegen und wird nicht mehr fortgeblasen. Das Schmelzwasser kommt jetzt dem Feld zugute. Der trockene Sommerwind kann den Boden nicht mehr so stark austrocknen und abtragen. Die Bäume verdunsten Wasser und erhöhen so die Luftfeuchtigkeit. Als Folge davon vermehren sich die Niederschläge. Das Regenwasser kann nicht mehr ungehindert abfließen; denn der Wald hält es auf.

Als Schutzgehölze können auch die Hecken angesehen werden, die bei uns an den Rändern der Felder angelegt werden. In waldarmen Gegenden, wie zum Beispiel in der Magdeburger Börde, hat man Windschutzpflanzungen an Straßen, Feldwegen, Flüssen, Bächen und Teichen angelegt. Auch Ödland wurde aufgeforstet oder mit Obstbäumen bepflanzt.

*Schutzgehölze verhindern die schädigenden Wirkungen des Windes und des Regens.*

### 3. Aufgaben:

1. Warum wird die Winterfurche gezogen?
2. Warum werden Zwischenfrüchte angebaut?
3. Beschreibe eine Beregnungsanlage!
4. Zeichne die Lageskizze einer Drainage!
5. Erläutere die Bedeutung von Schutzgehölzen!

### III. Akustik

#### 21. Entstehung und Ausbreitung des Schalles

**1. Schwingungen und Schall.** Wird eine Geigensaite angestrichen, so hört man einen *Ton*. Legt man einen Finger vorsichtig auf die Saite, so spürt man, daß sie sich bewegt. Sobald diese Bewegung aufhört, ist auch kein Ton mehr zu hören. Somit muß der Ton mit der Bewegung der Saite etwas zu tun haben. Die folgenden Untersuchungen sollen die Zusammenhänge klären.

Das Pendel einer Uhr bewegt sich ständig in der gleichen Weise. Es pendelt hin und her und erreicht dabei beiderseits immer denselben Ort, an dem es umkehrt und wieder nach der anderen Seite ausschlägt. Der Ausschlag ist nach beiden Seiten gleich groß. Hält man das Pendel an, so hängt es in seiner Ruhelage. Diese liegt in der Mitte zwischen den beiden Umkehrpunkten. Die gleichmäßige Hin- und Herbewegung um eine Ruhelage bezeichnet man als **Schwingung**. Das Uhrpendel bewegt sich so langsam, daß man die Schwingungen mit den Augen verfolgen kann. Abgesehen von dem Ticken des Uhrwerkes ist von dem Schwingen nichts zu hören.

Eine Schraubenfeder, an der ein Wägestück hängt, schwingt ebenfalls um ihre Ruhelage auf und ab, wenn man sie dehnt und dann losläßt (Abb. 140/1). Mit einer Uhr kann man feststellen, wie oft sich das Wägestück in einer Sekunde auf und ab bewegt. Dies geschieht beispielsweise in einer Sekunde dreimal. *Die Anzahl der Schwingungen, die ein Körper in einer Sekunde ausführt*, nennt man seine **Schwingungszahl**. Auch bei diesem Versuch hört man von dem Schwingen nichts.

Ein Stück Federstahl wird fest eingespannt und leicht gebogen. Nach dem Loslassen schwingt das elastische Blatt sehr schnell hin und her (vgl. Abb. 141/1): Es hat eine wesentlich höhere Schwingungszahl als die Schraubenfeder.

#### **Elastische Körper können schwingen.**

Die einzelnen Schwingungen der Blattfeder kann man mit dem Auge nicht mehr beobachten. Bei diesem schnellen Schwingen vernimmt man jedoch ein dumpfes Brummen. Es klingt gleichmäßig und hält so lange an, wie die Feder schwingt. Die eingespannte Blattfeder gibt einen tiefen Ton von sich. Verkürzt man den schwingenden Teil der Feder und regt sie wiederum an, so schwingt sie noch schneller. Statt des tiefen Tones ist jetzt ein heller, singender Ton zu hören. Wird eine Stimmgabel angeschlagen, eine Saite der Laute gezupft oder eine Geigensaite angestrichen, so schwingen sie ebenfalls. Auch hier sind die Einzelschwingungen nicht mehr zu erkennen. Auf Grund der hohen Schwingungszahl entstehen dabei hohe Töne.

**Schwingt ein Körper genügend schnell und gleichmäßig, so erzeugt er einen Ton.**

Der klingende Ton einer Saite, das Summen eines Federblattes oder der Pfeifton einer Lokomotive werden von unserem Ohr aufgenommen. Was man mit dem



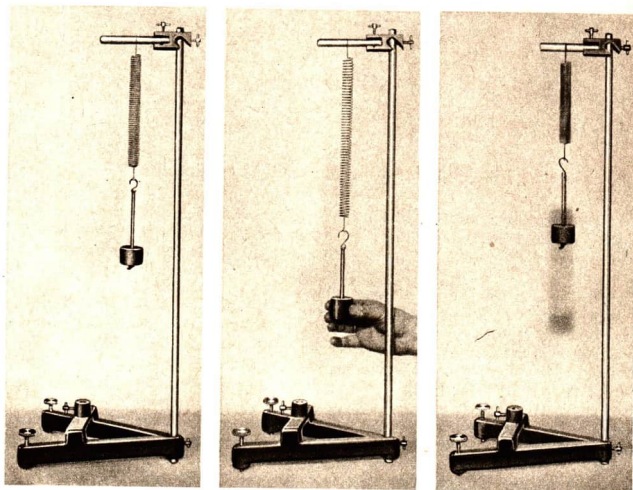


Abb. 140/1. Schwingungen einer Schraubenfeder

Ohr wahrnehmen kann, bezeichnet man als *Schall*. Er wird durch schnell schwingende Körper hervorgerufen und auf das Ohr übertragen. Bewegt sich ein Körper nicht, so kann durch ihn kein Schall entstehen. Führt er aber eine hörbare Schwingung aus, so bezeichnet man ihn als *Schallquelle*.

**Jeder genügend schnell schwingende Körper ist eine Schallquelle.**

Je nachdem, wie ein Körper schwingt, ist der Schall unterschiedlich. Wir haben bereits festgestellt, daß dann ein Ton zustandekommt, wenn der Körper gleichmäßig und anhaltend schwingt. Genaue Untersuchungen haben ergeben, daß viele Schwingungen, besonders die von Musikinstrumenten, keine einzelnen Töne sind, sondern aus einem Gemisch von mehreren Tönen bestehen. Man spricht daher besser von einem *Klang*.

Platzt ein Luftballon, so vernimmt man einen ganz kurzen, lauten Schall. Die Luft, die im Ballon zusammengepreßt war, dehnt sich plötzlich aus, kommt aber schon nach kurzer Zeit wieder zur Ruhe. Führt somit ein Körper nur wenige Schwingungen aus, so entsteht dadurch ein kräftiger Schall von kurzer Dauer. Diesen bezeichnet man als *Knall*.

Bei unregelmäßigen Schwingungen der Schallquelle entsteht ein *Geräusch*. Das Plätschern des Wassers, das Rauschen der Bäume im Wind, das Klappern von

Tellern, das Knattern eines Traktors sind Geräusche. Häufig überlagern sich mehrere Geräusche. So ergeben die vielen durcheinanderklingenden Geräusche den Lärm des Straßenverkehrs, in einer Werkhalle oder beim Dreschen in der Scheune.

**2. Tonhöhe und Schallstärke.** Zwei Stücke Federstahl unterschiedlicher Länge, aber sonst gleicher Beschaffenheit werden nebeneinander fest eingespannt (Abb. 141/1). Bringt man beide zum Schwingen, so erzeugen sie verschieden hohe Töne. Während das lange Blatt merklich langsamer schwingt und einen tiefen Ton erzeugt, schwingt das kurze Blatt schneller und ruft einen hohen Ton hervor.

**Je schneller ein Körper schwingt, desto höher ist der erzeugte Ton.**

Wie wir festgestellt haben, hängt die Tonhöhe eines schwingenden Federblattes von seiner Länge ab. Je kürzer es ist, desto schneller schwingt es und desto höher ist der erzeugte Ton. Von dieser Tatsache macht man bei den Saiteninstrumenten Gebrauch. Verkürzt man die Saite einer Gitarre, indem man sie fest auf das Griffbrett drückt, so erhält man einen höheren Ton. Das freie Stück der Saite, das nun kürzer ist, schwingt schneller. Auch der Geigenspieler erzeugt beim Spielen auf die gleiche Weise die verschieden hohen Töne. Er drückt die einzelnen Saiten weiter oben oder unten mit dem Finger auf das Holz. Ebenso werden bei anderen Saiteninstrumenten die verschiedenen hohen Töne erzeugt.

*Der Ton einer Saite ist um so höher, je kürzer die Saite ist.*

Die einzelnen Saiten einer Gitarre oder einer Geige sind verschieden dick. Die dickste Saite ist nicht so beweglich wie die anderen. Sie schwingt am langsamsten und erzeugt dadurch einen tiefen Ton. Die dünnste Saite schwingt schneller als die anderen Saiten; denn sie ist am beweglichsten. Sie erzeugt deshalb einen hohen Ton.

*Der Ton einer Saite ist um so höher, je dünner sie ist.*

Beim Stimmen einer Geige wird die Spannung der Saiten verändert. Je straffer man die Saite spannt, desto schneller schwingt sie und desto höher ist der erzeugte Ton.

*Der Ton einer Saite ist um so höher, je straffer die Saite gespannt ist.*

Faßt man die Ergebnisse zusammen, so erhält man:

**Der Ton einer Saite ist um so höher, je kürzer sie ist, je dünner sie ist und je straffer sie gespannt ist.**

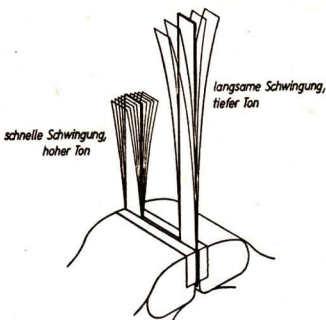


Abb. 141/1. Zwei ungleich lange Federstähle im Schraubstock

In der *Mundharmonika* befindet sich eine Reihe verschieden langer elastischer *Metallzungen*. Sie geraten beim Spielen durch die vorbeiströmende Luft ins Schwingen. Wegen ihrer unterschiedlichen Länge schwingen die Metallzungen verschieden schnell. Die kurzen Zungen haben eine hohe Schwingungszahl und erzeugen daher die hohen Töne. Die längeren Zungen mit ihrer niedrigeren Schwingungszahl rufen dagegen die tieferen Töne hervor.

Eine Saite der Gitarre wird sehr kräftig gezupft. Infolgedessen ist der Ausschlag nach beiden Seiten groß. Die Saite schwingt jetzt weit. Der erzeugte Ton klingt daher laut. Allmählich wird der Ausschlag immer kleiner. Die Schwingungen der Saite werden schwächer. Der Ton wird dabei immer leiser. Da sich die Schwingungszahl der Saite jedoch nicht ändert, bleibt die Tonhöhe die gleiche.

Durch kräftiges Blasen werden die Metallzungen in der Mundharmonika stark zum Schwingen angeregt. Die Metallblättchen haben eine große Schwingungsweite und erzeugen daher laute Töne. Bläst man dagegen die Mundharmonika nur schwach an, dann klingen die gleichen Töne wesentlich leiser.

**Töne klingen um so lauter, je größer die Schwingungsweite der Schallquelle ist.**

Besonders beim Knall, aber auch bei Tönen und Geräuschen sind die Schwingungen der Schallquelle mitunter so kräftig und so weit, daß ein äußerst lauter Schall entsteht. Befindet man sich unmittelbar neben einem laufenden großen Motor, dann möchte man sich die Ohren zuhalten. Ebenso hat man ein unangenehmes Empfinden bei dem Lärm in manchen Werkhallen. Von einer bestimmten Stärke an ruft sehr lauter Schall Schmerzen und sogar gesundheitliche Schäden hervor. Daher sind unsere Wissenschaftler und Techniker ständig bemüht, die *Schallstärke* herabzusetzen.

Wie Versuche zeigen, *sind Schallstärke und Tonhöhe zwei unterschiedliche Begriffe*, die wir nicht miteinander verwechseln dürfen. Deshalb merken wir uns:

**Die Schallstärke hängt von der Schwingungsweite ab.**

**Die Tonhöhe wird durch die Schwingungszahl bestimmt.**

**3. Schallübertragung.** Im allgemeinen befinden sich die Schallquellen nicht in unmittelbarer Nähe des Ohres. Trotzdem hören wir einen Schall. Ein Versuch soll zeigen, wie er vom schwingenden Körper zum Ohr übertragen wird.

Eine elektrische Klingel hängt unter einer luftdicht abgeschlossenen Glasglocke, einem Rezipienten. Man hört es deutlich, wenn sie läutet. Pumpt man nun während des Läutens Luft aus der Glasglocke, dann wird das Läuten allmählich immer leiser. Ist der Raum unter der Glasglocke fast luftleer, so hört man die Klingel nicht mehr (Abb. 142/1). Läßt man während des Läutens langsam wieder Luft ein, dann wird der Schall wieder hörbar und allmählich immer lauter. Offenbar wird *der Schall von der Luft übertragen*. Schwingt ein Körper im leeren Raum, dann ist kein Schall wahrzunehmen. Es fehlt der Stoff, der den Schall weiterleitet.

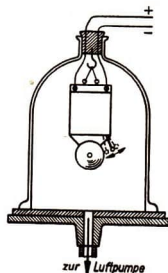


Abb. 142/1. Klingel unter einem Rezipienten

Der Schall breitet sich aber nicht nur in der Luft, sondern auch in festen und flüssigen Körpern aus. Schlägt man unter Wasser zwei Steine aneinander, so hört man den Schall im Wasser und in der Luft. An einem Leitungsmast hört man manchmal deutlich das Summen der Leitungsdrähte, das durch den Wind hervorgerufen wird.

**Der Schall kann sich nur in Stoffen ausbreiten.**

Bei der Übertragung des Schalles werden die Körper, die die Schallquelle unmittelbar berühren, ebenfalls zum Schwingen angeregt. Schlägt der Hammer an die Klingelglocke, dann gerät sie in Schwingungen. Der Glockenrand bewegt sich dadurch hin und her. Diese Bewegung wird auf die angrenzenden Luftteilchen übertragen. Sie werden zunächst stoßweise zusammengedrängt. Es entsteht in diesem Augenblick eine verdichtete Luftschicht. Sofort danach dehnt sich diese Schicht wieder aus, da die Luft elastisch ist. Dadurch wird die nächste Luftschicht zusammengedrückt. Bei deren Ausdehnung erhält eine weitere Schicht einen Stoß und wird verdichtet. Auf diese Weise bewegt sich eine stoßartige Verdichtung von der Schallquelle weg. Ihr folgen nun abwechselnd Verdünnungen und Verdichtungen in raschem Wechsel. Sie wandern nach allen Richtungen in den Raum ab (Abb. 143/1).

Infolge des *Wechsels von Verdichtungen und Verdünnungen* schwingen die Luftteilchen hin und her. Diese Schwingungen werden von einer Luftschicht zur anderen weitergegeben. Es entstehen Wellen. *Diese Schallwellen breiten sich ähnlich aus, wie die Wasserwellen* auf einem ruhigen Gewässer, sobald ein Stein hineingeworfen wird. Auf der Wasseroberfläche können aber die Wellen nur in einer Ebene weglaufen. Die Schallquelle ist dagegen allseitig von Luft oder von anderen Körpern umgeben, so daß sich die Schallwellen nach allen Richtungen hin kugelförmig ausbreiten.



Abb. 143/1. Ausbreitung des Schalls

**Der Schall breitet sich durch Schallwellen nach allen Richtungen hin aus.**

Läutet eine Klingel unmittelbar neben dem Ohr, so ist der Schall wesentlich lauter, als wenn sie sich in 10 m Entfernung befindet. Bei einem Abstand von 20 m hört man das Läuten noch leiser. Je weiter entfernt dein Mitschüler ist, desto lauter muß du rufen, damit er dich hört. Geht man auf eine Schallquelle zu, so hört man sie immer lauter. Unmittelbar an der Schallquelle sind demnach die Schwingungen am kräftigsten. Die Schwingungsweiten der Stoffteilchen müssen also an der Schallquelle am größten sein. Bei der Übertragung der Schwingungen von einer Luftschicht zur anderen wird die Anzahl der Luftteilchen immer größer, die in Schwingungen versetzt werden. Infolgedessen läßt die Kraft der Schwingungen mit zunehmender Entfernung von der Schallquelle nach, die Schwingungsweite wird geringer. Je schwächer aber die Schwingungen sind, um so leiser ist der Schall.

**Je weiter die Schallquelle entfernt ist, um so schwächer ist der Schall.**

**4. Der Weg des Schalles in einer Sekunde.** Beim Gewitter sieht man das Aufleuchten des Blitzes; aber erst nach einer Weile hört man den Donner. Vernimmt man das Heulen eines Turbinenflugzeuges gerade über sich, so kann man es dort



nicht mehr erblicken. Das Flugzeug hat sich in der Zeit, die der Schall bis zu unserem Ohr braucht, ein beträchtliches Stück weiterbewegt. Die farbige Leuchtkugel eines entfernten Feuerwerkes ist schon wieder erloschen, ehe man den Knall ihres Abschusses hört.

**Der Schall braucht für die Ausbreitung über eine bestimmte Wegstrecke eine bestimmte Zeit.**

Da bei den Schallwellen die Stoffschichten nacheinander zu schwingen beginnen, vergeht eine gewisse Zeit, bis der erste Schwingungsstoß den Weg zwischen Schallquelle und Ohr zurückgelegt hat. In allen genannten Beispielen breitete sich der Schall in Luft aus. Messungen haben ergeben, daß *der Schall in der Luft bei einer Temperatur von 15 °C in 1 s einen Weg von etwa 340 m zurücklegt.*

In vielen Versuchen hat man die Weglänge, die der Schall in einer Sekunde

#### *Weg des Schalles in einer Sekunde*

|                      |        |                 |        |
|----------------------|--------|-----------------|--------|
| Luft (15 °C)         | 340 m  | Eichenholz      | 3280 m |
| Wasser (rein, 20 °C) | 1450 m | Ziegelmauerwerk | 3600 m |
| Eis                  | 3232 m | Stahl           | 5000 m |
|                      |        | Glas            | 5200 m |

durchgeht, für verschiedene Stoffe ermittelt. Dabei hat sich gezeigt, daß sich der Schall in Flüssigkeiten schneller als in Gasen und noch schneller in festen Körpern ausbreitet (vgl. die Tabelle).

**In den einzelnen Stoffen breitet sich der Schall verschieden schnell aus.**

Auf Grund der Kenntnis, welchen Weg der Schall in einer Sekunde in der Luft zurücklegt, kann man die Entfernung eines Gewitters ungefähr bestimmen. Man mißt die Zeit, die zwischen dem Aufleuchten des Blitzes und der Wahrnehmung des Donners vergeht. Beträgt dieser Zeitraum beispielsweise 18 s, dann ist das Gewitter etwa  $18 \cdot 340 \text{ m} \approx 6000 \text{ m}$  oder 6 km weit entfernt.

## 22. Reflexion und Resonanz

**1. Echo und Nachhall.** Ähnlich wie die Wärmestrahlen können auch Schallwellen an Körpern zurückgeworfen werden. Über eine auf dem Tisch liegende Uhr wird ein Glaszylinder gestellt (Abb. 144/1). Befindet sich das Ohr seitlich des Zylinders, so ist das Ticken kaum zu vernehmen. Hält man aber einen Spiegel oder ein Stück Blech schräg über den Zylinder, dann ist bei geeigneter Stellung

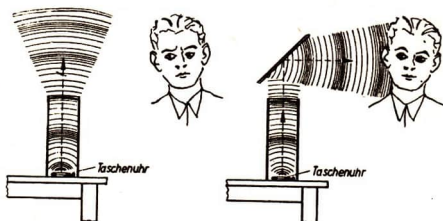


Abb. 144/1. Der Schall wird zurückgeworfen.

des Spiegels das Ticken deutlich zu hören. Das Zurückwerfen der Schallwellen bezeichnet man als *Reflexion des Schalles*. Sitzt man in einem fahrenden Zuge, so hört man die Geräusche des Zuges beim Durchfahren von Bahnhöfen lauter als auf freier Strecke. Die Regendächer, Gebäudewände und Bahnsteigflächen reflektieren den Schall. So wird eine zusätzliche Schallwahrnehmung hervorgerufen.

#### An Wänden wird der Schall reflektiert.

Rufen wir über ein Tal hinweg in Richtung des gegenüberliegenden Berghanges, so vernimmt man den Ruf nach kurzer Zeit wieder. Diesen Vorgang bezeichnet man als *Echo*. Die auf den Berghang auftreffenden Schallwellen werden reflektiert und gelangen in unser Ohr. Die Zeitdauer, bis das Echo zu hören ist, hängt davon ab, wie weit der Berghang von uns entfernt ist. In großen leeren Hallen, die mehr als 17 m lang sind, kann man daher ebenfalls ein Echo beobachten.

Das Echo kann man auch dazu benutzen, die Breite eines Tales zu bestimmen (Abb. 145/1). Vergehen beispielsweise vom Ruf bis zum Eintreffen des Echos etwa 8 s, dann hat der Schall hin und zurück ungefähr 2700 m zurückgelegt. Die Breite des Tales beträgt dann etwa 1,35 km.

In Zimmern und kleinen Hallen ist der Abstand zwischen der Schallquelle und der reflektierenden Wand verhältnismäßig klein. Er liegt meist unter 17 m. Ruft man in einen solchen Raum, dann hört man den reflektierten Schall fast gleichzeitig oder nur wenig später als den ursprünglichen Schall. Der ursprüngliche Schall und der reflektierte Schall überlagern sich. Man hört einen *Nachhall*. In geschlossenen Räumen wird der Schall durch den Nachhall verstärkt. Auf freiem Felde dagegen wird der Schall nicht reflektiert, so daß der Nachhall fehlt. Deshalb klingt dort die Stimme schwächer als in einem geschlossenen Raum.

**2. Sprachrohr und Hörrohr.** Auf Grund der Reflexion des Schalles an festen Wänden kann man den Schall in einer bestimmten Richtung gesammelt aussenden oder fortleiten. Hält man das Ohr über eine Uhr, die frei auf dem Tisch liegt, so nimmt

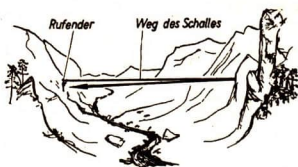
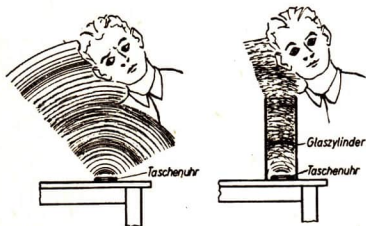


Abb. 145/1. Bestimmen der Breite eines Tales mit Hilfe des Echos



man das Ticken nur schwach wahr. Stellt man jedoch über die Uhr einen Glaszylinder, dann hört man bei gleicher Stellung des Ohres das Ticken wesentlich lauter (Abb. 145/2). Ohne Zylinder breitet sich der Schall nach allen Richtungen aus. Das Ohr

Abb. 145/2. Durch den Glaszylinder wird das Ticken einer Uhr deutlicher hörbar.

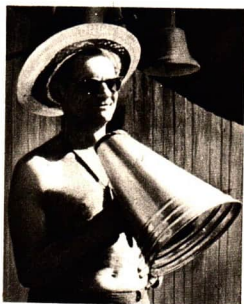


Abb. 146/1. Bademeister in einer Badeanstalt mit Sprachrohr



Abb. 146/2. Hörrohr

erreicht nur ein geringer Anteil. Nach Aufsetzen des Zylinders wird aber der sich seitlich ausbreitende Schall an der Wand des Zylinders zurückgeworfen und erreicht ebenfalls unser Ohr. Deshalb hört man das Ticken über dem Rohr lauter als ohne das Rohr. Seitlich des Zylinders hört man fast nichts.

Soll im Freien jemand gerufen werden, so bildet man mit Hilfe der beiden Hände einen *Schallrichter* vor dem Mund. Man erreicht dadurch bereits eine gute Richtwirkung. Noch besser ist hierzu das *Sprachrohr* geeignet, das beispielsweise der Steuermann auf einem Ruderboot verwendet. Man benutzt das Sprachrohr überall dort, wo das Sprechen oder Rufen in einer bestimmten Richtung laut und weit gehört werden soll, beispielsweise bei Sportveranstaltungen (Abb. 146/1).

Will der Arzt die Herztöne oder Geräusche der Lunge abhören, so benutzt er das *Hörrohr* (Abb. 146/2). Es wirkt auf ähnliche Weise wie das Sprachrohr. Durch die weite Trichteröffnung des Hörrohres werden die schwachen Geräusche des Herzens beziehungsweise der Lunge erfaßt. Die Schallwellen werden im Hörrohr so reflektiert, daß sie sich auf einen kleinen Raum vereinigen. Dadurch wird der Schall wesentlich stärker wahrgenommen. So kann der Arzt die Tätigkeit des Herzens und der Lunge überprüfen. Sowohl beim Sprachrohr als auch beim Hörrohr wird der Schall in einer bestimmten Richtung verstärkt. Durch die Vereinigung der Schallwellen auf einem engen Raum tritt eine *Schallverstärkung* auf.

**3. Schalldämpfung.** In den Senderäumen des Rundfunks und in Zuschauerräumen kommt es darauf an, störende Nebengeräusche und unerwünschten Nachhall zu vermeiden (Abb. 147/1). In solchen Räumen werden deshalb die Wände mit Textilien bespannt und die Fußböden mit Teppichen oder Platten belegt. Da diese Stoffe weitgehend unelastisch sind, schwingen sie nicht. Die auf sie auftreffenden Schallwellen werden nicht reflektiert; der Schall wird gedämpft. Den Vorgang bezeichnet man als *Schalldämpfung*.

#### Unelastische weiche Stoffe dämpfen den Schall.

In einem leeren Zimmer vernimmt man den Klang der Stimme oder das Hallen der Schritte wesentlich lauter, als wenn sich Möbel und andere Dinge darin befinden. Die vielen verschieden gerichteten Flächen und Kanten der Möbel, die Polsterbezüge, der Teppich usw. zerstreuen und dämpfen den Schall.

Die Auspuffgase entweichen mit lautem Knallen aus dem Motor. Würde man sie sofort ins Freie leiten, so würde das einen unerträglichen Lärm verursachen. Deswegen werden sie durch den *Auspufftopf* geleitet. Dieser ist in mehrere Kammern geteilt (Abb. 147/2). Die Gase können zwar weitgehend ungehindert hindurch-

strömen, aber das Geräusch des Auspuffens wird stark verringert. Die Schalldämpfung besteht darin, daß durch eine bestimmte Anordnung und Form von Hohlräumen die Schallwellen vielfältig und zerstreut reflektiert werden. Dadurch schwächen sie sich gegenseitig, beziehungsweise heben sich in ihrer Wirkung auf.

**Eine Schalldämpfung wird auch durch vielfache Zerstreuung der Schallwellen erreicht.**

Infolge der zunehmenden Verwendung von Maschinen und Geräten muß die Schalldämpfung in ausreichendem Maße berücksichtigt werden. Moderne Maschinen, die viele und laute Geräusche hervorrufen, sind deshalb mit schalldämpfenden Umhüllungen versehen.

**4. Resonanz.** Jeder schwingende Körper hat eine oder mehrere eigene, bestimmte Schwingungszahlen. Man bezeichnet sie als *Eigenschwingungen*. Zwei Stimmgabeln mit gleichen Schwingungszahlen werden mit einem halben Meter Abstand voneinander aufgestellt. Schlägt man die eine an, so tönt nach kurzer Zeit auch die andere Stimmgabel. Die Schallwellen der einen Stimmgabel haben somit die andere Stimmgabel zum Schwingen angeregt. Führt man dagegen den gleichen Versuch mit Stimmgabeln unterschiedlicher Schwingungszahlen durch, so schwingt die zweite Stimmgabel nicht mit. Man erreicht somit ein Mitschwingen nur dann, wenn die beiden Körper die gleiche Eigenschwingung haben. Diesen Vorgang bezeichnet man als **Resonanz**.

Die Vorgänge, die sich bei der Resonanz abspielen, kann man sich mit Hilfe der folgenden Überlegung klarmachen. Will man die Schwingungsweite einer Schaukel ständig vergrößern, so muß man die Schaukel im Rhythmus ihrer Schwingung anstoßen. Das gleiche geschieht bei den beiden gleichen Stimmgabeln. Da die zweite Stimmgabel die gleiche Eigenschwingung wie die erste hat, wird sie von den Schallwellen der ersten Gabel stets *im Rhythmus ihrer Eigenschwingung* angeregt. Infolgedessen wird ihre Schwingungsweite immer größer, so daß ihr Tönen auch zu hören ist.

Stößt man nun die Schaukel nicht im Rhythmus ihrer Eigenschwingung an, so kann man ihre Schwingungsweite nicht vergrößern. Stimmen zwei Stimmgabeln



Abb. 147/1. Durch schwenkbare Holztafeln kann die Nachhallzeit des Raumes verändert werden

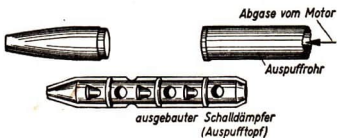


Abb. 147/2. Auspufftopf



nicht in ihrer Eigenschwingung überein, so können sie einander auch nicht zu Schwingungen anregen.

Auch zwischen zwei Saiten kann Resonanz auftreten. Spannt man auf der Gitarre zwei gleichartige Saiten gleich straff auf, dann erzeugen sie beim Anschlagen gleiche Töne, sie haben die gleiche Eigenschwingung. Schlägt man nur eine der beiden Saiten an, so schwingt auch die andere Saite. Die Schwingungen der einen Saite werden durch die Luft oder einen Körper, der beide berührt, auf die andere Saite übertragen, so daß sie mitschwingt.

**Gleichartige Körper, die die gleiche Eigenschwingung haben, können in Resonanz schwingen.**

Aber auch zwischen Körpern unterschiedlicher Beschaffenheit ist Resonanz möglich. Die Schallöffnung in der Gitarre wird durch ein Stück Pappe verdeckt. Zupft man nun eine Saite, so ist der erzeugte Ton zunächst schwach. Er wird aber sofort merklich kräftiger, wenn die Pappe weggezogen wird. Nun kann nämlich die Luft im Kasten durch die Saite in Schwingungen versetzt werden. Dadurch werden schließlich der ganze Kasten und die anderen Teile der Gitarre zum Mitschwingen angeregt. Es tritt eine größere Schallwirkung ein, als wenn die Saite allein schwingt.

Singt man den Ton einer Saite in den Kasten, dann wird die Saite zum Schwingen angeregt, deren Schwingungszahl mit der des gesungenen Tones übereinstimmt.

**Alle elastischen Körper können einander gegenseitig zum Mitschwingen anregen, wenn die Schwingungszahlen übereinstimmen. Das geschieht unabhängig von der Beschaffenheit der Körper.**

So kann ein bestimmter Ton des Lautsprechers eine Vase zum Klingen bringen. Das auffällig starke Dröhnen, das bei einer bestimmten Schnelligkeit des Eisenbahnzuges auftritt, kommt durch Resonanz zustande. Durch Resonanz angeregte Körper können in so heftige Schwingungen geraten, daß sie springen oder reißen. Bei der Konstruktion von Maschinen und Fahrzeugen muß man die Eigenschwingung der einzelnen Maschinen kennen und berücksichtigen. Sie sollen möglichst nicht übereinstimmen, damit keine Resonanz auftreten kann.

**5. Stimme und Gehör.** Beim Menschen werden die Töne mit Hilfe der *Stimmbänder* erzeugt. Diese sind elastisch und werden von der vorbeiströmenden Atemluft zum Schwingen angeregt. Durch die *Muskeln des Kehlkopfes* werden die Stimmbänder stärker oder schwächer gespannt. Dadurch können sie schneller beziehungsweise langsamer schwingen, so daß verschieden hohe Töne entstehen. Durch Mitschwingen der Luft in der Rachenhöhle und im Brustkorb werden die schwachen Töne der Stimmbänder wesentlich verstärkt. Durch die unterschiedliche Stellung der Lippen und der Zunge erreicht man die vielfältigen Laute der Sprache (Abb. 149/1).

Beim Hören wird der ankommende Schall im äußeren *Ohr* ähnlich wie im Hörrohr gesammelt und dem *Trommelfell* zugeleitet (Abb. 149/2). Dieses gerät dadurch ebenfalls in Schwingungen. Von hier werden die Schallschwingungen über die *Gehörknöchelchen* auf die *Gehörschnecke* übertragen. In dieser Gehörschnecke liegen die Enden der *Gehörnerven*. Sie werden durch Resonanz zum Schwingen angeregt. Über die Gehörnerven gelangen die Reize zum Gehirn, wodurch uns die Tonempfindung zum Bewußtsein kommt.

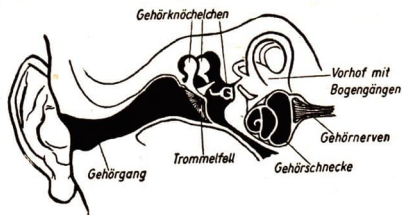
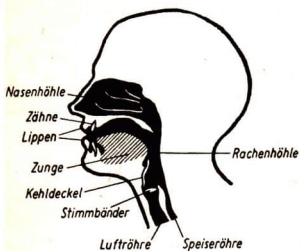


Abb. 149/2. Ohr im Schnitt

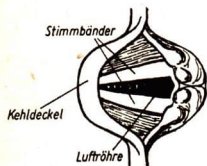


Abb. 149/1. Kehlkopf

Schwingungen je Sekunde liegen, werden vom Ohr aufgenommen. Mit zunehmendem Alter nimmt die *obere Hörgrenze* ab.

Beim Schwingen einer Schraubenfeder oder einer langen Blattfeder hört man keinen Ton. Erst wenn ein Körper schnell genug schwingt, nehmen wir einen Ton wahr. Untersuchungen haben ergeben, daß wir nur dann etwas hören, wenn der Körper mehr als 16 Schwingungen je Sekunde ausführt. Es gibt aber auch eine obere Grenze. Führt der Körper mehr als etwa 20000 Schwingungen je Sekunde aus, so hört man nichts mehr. Alle Schallarten, deren Schwingungszahlen zwischen 16 und 20000

**6. Der Ultraschall.** Der Förster kann seinen Hund mit einer Pfeife rufen. Obwohl wir keinen Ton hören, so reagiert doch der Hund darauf. Mit Hilfe dieser Pfeife werden Töne mit mehr als 20000 Schwingungen je Sekunde erzeugt. Das Gehör des Hundes nimmt diese Töne noch wahr. Man bezeichnet den Schall, bei dem die Schwingungszahl mehr als 20000 Schwingungen je Sekunde beträgt, als **Ultraschall**.

Ultraschall wird in der neuzeitlichen Technik vielfach angewendet. Da er tief in einen Körper eindringt, ohne ihn zu zerstören, kann man den Ultraschall zu verschiedenen Untersuchungen verwenden. Bei festen und flüssigen Stoffen kann man so zum Beispiel bestimmen, inwieweit sie elastisch sind. Man kann mit Ultraschall *Werkstoffe prüfen*, ohne sie zu beschädigen. Beispielsweise sind in Gußstücken manchmal Hohlräume, sogenannte Lunker, enthalten, die von außen nicht wahrnehmbar sind. Zur Überprüfung der Werkstücke sendet man Ultraschall hindurch. An einem Lunker wird der Ultraschall reflektiert und zerstreut, so daß er dort nur geschwächt durch den Werkstoff geht. Der Ultraschallempfänger zeigt den Materialfehler an dieser Stelle an. Auf Grund dieser Untersuchung kann man dann entscheiden, ob das Werkstück weiterbearbeitet werden kann oder nicht. Auf diese Weise wird Zeit gespart und die Sicherheit erhöht; denn ein Werkstück, das Lunker enthält, kann bei starker Beanspruchung eher zerstört werden, als ein einwandfreies Werkstück.

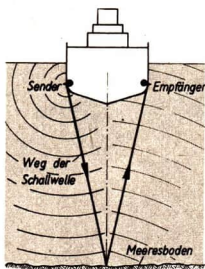


Abb. 150/1. Schiff mit Echolot  
(Schemazeichnung)

Der Ultraschall kann eng gesammelt in einer bestimmten Richtung abgestrahlt werden. Er eignet sich deshalb besser zu *Entfernungsmessungen* als hörbarer Schall. Das nutzt man beispielsweise in der Schifffahrt aus, um die Meerestiefe festzustellen. Früher verwendete der Seemann das *Senkblei* oder *Senklot*. Ein Bleistück wurde an einem langen Faden in die Tiefe gelassen, bis es den Meeresboden berührte. Die Länge des eingetauchten Fadens zeigte die Meerestiefe an dieser Stelle an. Zu dieser Messung mußte das Schiff stoppen, da sonst keine genaue Messung möglich war. Heute mißt man die Tiefe des Meeres mit Hilfe des *Echolotes*, ähnlich wie man die Breite eines Tales bestimmen kann. Von einer Schallquelle am Schiff wird ein Ultraschallsignal zum Meeresboden gesendet und dort reflektiert. Der reflektierte Schall wird am Schiff durch ein Empfangsgerät wieder aufgefangen (Abb. 150/1).

Die modernen Echolote arbeiten automatisch, so daß man jederzeit sofort die jeweilige Tiefe in Metern ablesen kann. Die Messungen können während der Fahrt des Schiffes durchgeführt werden. Außerdem können mit dem Echolot auch Tiefen von nur wenigen Metern gemessen werden. Da es weiterhin nach verschiedenen Seiten gerichtet werden kann, ist es mit Hilfe des Echolotes möglich, ein Schiff sicher durch unbekannte Gewässer zu lenken.

*Fledermäuse* fliegen meist nachts. Trotzdem finden sie ihre Nahrung. Andererseits weichen sie trotz der Dunkelheit allen Hindernissen aus. Untersuchungen haben gezeigt, daß die Fledermäuse fortwährend Ultraschallsignale ausstoßen. Trifft dieser auf ein Hindernis, dann entsteht ein Echo, das von den auffallend großen Ohren der Fledermaus aufgenommen wird. Dadurch kann sich die Fledermaus auch bei vollständiger Dunkelheit ständig orientieren.

## 7. Fragen und Aufgaben:

1. Warum muß der Zeitnehmer beim Hundertmeterlauf auf die Rauchwolke des Startschusses oder das Winkzeichen achten und nicht auf den Knall oder den Startruf?
2. Warum darf ein Musikinstrument keinen durchdringenden Eigenton haben?
3. Wovon hängen die Höhe und die Lautstärke eines Tones ab?
4. Warum ist das Geräusch eines laufenden Motors in der Werkstatthalle viel lauter zu hören als im Freien?
5. Wie erklärt sich das klirrende Zittern der Fensterscheiben beim fahrenden Omnibus?
6. Überdecke dein Ohr mit der Öffnung einer leeren Konservenbüchse. Wie erklärst du das dabei hörbare summende Geräusch?
7. Wie kannst du in einfacher Weise die Entfernung eines Gewitters bestimmen? Setze dabei voraus, daß der Schall in 3 Sekunden etwa 1 km zurücklegt! Bilde selbst Beispiele!

## IV. Optik

### 23. Die geradlinige Ausbreitung des Lichtes

**1. Lichtquellen.** Fahren wir bei Nacht mit dem Auto oder mit dem Fahrrad auf der Landstraße, so müssen wir die Scheinwerfer einschalten, um etwas sehen zu können. Der Glühfaden in der Lampe des Fahrzeugscheinwerfers strahlt helles Licht aus. Er ist eine *Lichtquelle*. Die Straßendecke und die Verkehrsschilder werden vom Licht der Scheinwerfer angestrahlt, so daß wir sie sehen können und sicher fahren. Das Gelände und die Gebäude neben und hinter dem Fahrzeug liegen meist im Dunkel. Sie sind nicht zu sehen, wenn sie nicht vom Licht der Scheinwerfer oder einer anderen Lichtquelle beleuchtet werden.

Unsere wichtigste Lichtquelle ist die *Sonne*. Sie beleuchtet die Erde und den Mond. Auch die Sterne und die Blitze senden Licht aus. Für die Beleuchtung der Erde ist dieses Licht aber bedeutungslos.

Zur Beleuchtung von Wohnungen, Werkhallen und Straßen hat sich der Mensch Lampen geschaffen. Früher wurden hierfür *Kienspäne*, *Fackeln*, *Öl-* oder *Petroleumlampen* benutzt. Heute verwenden wir vor allem *elektrische Glühlampen* und *Leuchtstoffröhren* als Lichtquellen (Abb. 151/1). Manche Straßen werden noch mit *Gaslampen* beleuchtet.

In einer Kerzenflamme werden kleine Rußteilchen durch die Verbrennung so stark erhitzt, daß sie hell leuchten. In den Glühlampen wird ein dünner Draht durch den elektrischen Strom zur Weißglut gebracht. Die Stoffe, aus denen die Sonne besteht, haben so hohe Temperaturen, daß sie ein blendend helles Licht ausstrahlen. So sind alle Lichtquellen *selbstleuchtende Körper*, die das Licht ausstrahlen.

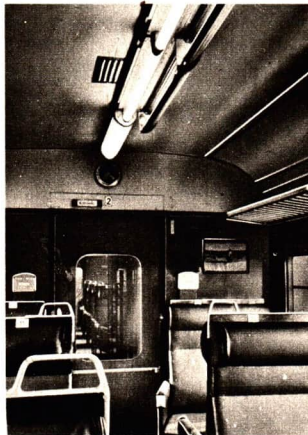


Abb. 151/1. Leuchtstoffröhren in einem D-Zug-Wagen der Deutschen Reichsbahn. Die vorderen beiden Schalen sind abgenommen.



In einem dunklen Raum oder bei Nacht sind Gegenstände erst dann zu sehen, wenn sie von einer Lichtquelle beleuchtet werden. Auch bei Tage können wir nur sehen, weil das Sonnenlicht die Erde beleuchtet. Die meisten Körper erzeugen nämlich selbst kein Licht, sondern werden vom Licht einer Lichtquelle *beleuchtet*. Man nennt sie *beleuchtete Körper*. Alle diese Körper haben die Eigenschaft, einen Teil des Lichtes, von dem sie getroffen werden, zurückzuwerfen. Man sagt, die Körper *reflektieren* das Licht. Auch der Mond, der nachts die Erde beleuchtet, strahlt kein eigenes Licht aus, sondern reflektiert das Sonnenlicht. Das reflektierte Licht der beleuchteten Körper fällt in unser Auge, und so werden auch die beleuchteten Körper für uns sichtbar. Die einzelnen Körper reflektieren aber unterschiedlich stark das auf sie fallende Licht. So erscheint uns das weiße Papier des Buches hell, weil es einen großen Teil des Lichtes reflektiert. Die Buchstaben aber können wir auf dem Papier erkennen, weil die Druckerschwärze kaum Licht reflektiert.

**Lichtquellen sind selbstleuchtende Körper. Körper, die fremdes Licht reflektieren, heißen beleuchtete Körper.**

**2. Durchsichtige, undurchsichtige und durchscheinende Stoffe.** Tageslicht dringt durch die Fensterscheiben ins Zimmer. Nachts sind Lampen weithin zu sehen. Ihr Licht durchdringt die Luft. Ebenso wird Wasser vom Licht durchdrungen. Der Grund des Baches wäre sonst nicht zu sehen. Glas, klares Wasser und Luft sind *durchsichtige Stoffe*.

Körper aus Metallen, Holz und Pappe lassen dagegen das Licht nicht hindurchdringen. Man kann darum auch nicht durch sie hindurchsehen. Solche Körper sind *undurchsichtig*.

Viele Glühlampen haben Glaskolben aus Milchglas. Das Licht des Glühfadens dringt durch dieses Glas hindurch. Man kann aber den Glühfaden selbst nicht erkennen. Ebenso nehmen wir brennende Straßenlampen im Nebel nur als hellen Schein wahr. Die Einzelheiten der Lampe sind nicht zu erkennen. Auch durch dünnes Papier kann Licht hindurchdringen. Milchglas, Nebel und dünnes Papier sind *durchscheinende Stoffe*. Zu den durchscheinenden Stoffen gehören auch viele Plaste.

Die Durchlässigkeit der Körper für das Licht hängt neben der Eigenart des Stoffes auch von seiner Dicke ab. So sind sehr dünne Schichten undurchsichtiger Stoffe durchscheinend. Metalle können bis zu einer Dicke von nur wenigen tausendstel Millimetern ausgewalzt werden. Dann dringt das Licht teilweise hindurch. Das ist beispielsweise bei dünnem Blattgold der Fall, das der Goldschmied verwendet. Andererseits sind sehr dicke Schichten durchsichtiger und durchscheinender Stoffe undurchsichtig. In großen Meerestiefen beispielsweise herrscht völlige Dunkelheit.

**3. Die Ausbreitung des Lichtes.** Das Licht der Sonne und der Sterne gelangt aus großer Entfernung zur Erde. Es breitet sich durch den nahezu leeren Weltenraum aus. Pumpt man eine Glasflasche luftleer, so bleibt sie genauso durchsichtig wie zuvor. Genaue wissenschaftliche Untersuchungen haben gezeigt, daß sich *das Licht am besten im leeren Raum ausbreitet*, da hier kein Stoff vorhanden ist, der das Licht absorbieren oder reflektieren kann. Je dichter der Raum mit Stoff erfüllt ist, um so mehr wird das Licht geschwächt.

**Das Licht braucht zur Ausbreitung keinen Stoff.**

Eine Lampe, die in der Mitte eines Platzes leuchtet, kann von allen Seiten her gesehen werden. Eine Lichtquelle, die in der Mitte eines quadratischen Zimmers steht, beleuchtet alle Wände gleich hell. Das Sonnenlicht erhellt die Planeten, Monde und künstlichen Satelliten, ganz gleich, in welcher Richtung sie sich von der Sonne aus gesehen befinden.

**Das Licht breitet sich nach allen Seiten gleichmäßig aus.**

Etwa 25 cm von einer brennenden Kerze entfernt wird eine Pappe aufgestellt, die mit einem schmalen Schlitz versehen ist (Abb. 153/1). Auf der Tischplatte zeichnet sich ein heller Streifen ab, dessen Ränder *geradlinig* verlaufen. Die Verlängerung dieses hellen Streifens führt zur Lichtquelle, zur Kerzenflamme. Verschiebt man die Kerze parallel zur Pappe, dann verschiebt sich der Lichtstreifen in der entgegengesetzten Richtung. Stets bildet der helle Streifen und seine Verlängerung bis zur Lichtquelle eine Gerade. Sonnenlicht, das durch eine kleine Öffnung in einen dunklen Raum fällt, beleuchtet die schwebenden Staubteilchen, so daß sie sich hell von der Umgebung abheben. Auch hier zeigt sich an den hellen Bahnen die geradlinige Ausbreitung des Lichtes (Abb. 153/2).

**Das Licht breitet sich geradlinig aus.**

Auch mit Hilfe der *Lochkamera* wird die geradlinige Ausbreitung des Lichtes bestätigt. Die Lochkamera ist ein geschlossener Kasten, dessen eine Wand aus Milchglas, Mattglas oder Transparentpapier besteht. In der gegenüberliegenden Wand befindet sich ein kleines Loch. Das Licht von der Spitze und dem oberen Teil einer Kerzenflamme fällt geradlinig durch das Loch und trifft auf den unteren Teil des Schirmes. Das Licht des unteren Teiles der Kerzenflamme trifft oben auf den Schirm. Dadurch wird die Kerze umgekehrt auf der Rückwand abgebildet (Abb. 153/3).

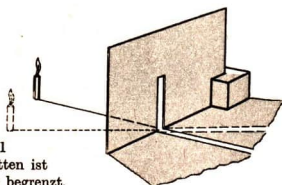


Abb. 153/1  
Der Schatten ist  
geradlinig begrenzt.

Abb. 153/2  
Sonnenstrahlen fallen in einen Hausflur.

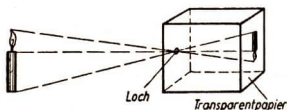
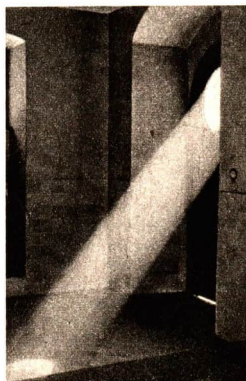


Abb. 153/3. Lochkamera

**4. Der Schatten.** Wird ein undurchsichtiger Körper von der Sonne oder von einer anderen Lichtquelle beleuchtet, so entsteht hinter ihm ein **Schatten**. Der Raum hinter dem beleuchteten Körper bleibt dunkel, weil in ihn keine Lichtstrahlen dringen.

Wir halten eine kreisrunde Pappscheibe in den Strahlengang einer Taschenlampe. Stellen wir hinter die Pappscheibe parallel zu ihr einen weißen Schirm, so entsteht auf ihm ein *Schattenbild*, das man ebenso wie den Schattenraum auch als *Schatten* bezeichnet (Abb. 154/1). Dieser Schatten ist kreisförmig, er hat somit die gleiche

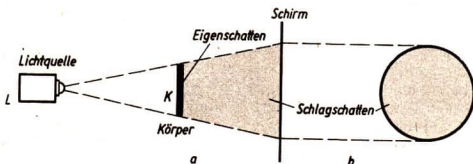


Abb. 154/1. Entstehung des Schattens hinter einer runden Pappscheibe

Form wie die Pappscheibe. Das Entstehen des Schattenbildes ist ebenfalls ein Beweis für die geradlinige Ausbreitung des Lichtes.

Wird ein Körper beleuchtet, so entsteht hinter ihm ein Schatten.

Die Form des Schattens ändert sich jedoch, wenn die Pappscheibe durch zwei Taschenlampen beleuchtet wird (Abb. 154/2). Hinter der Scheibe liegt ein Raum,

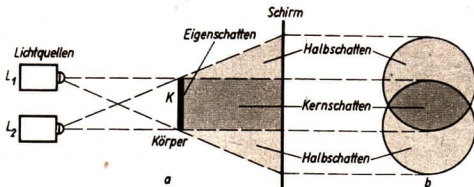


Abb. 154/2. Entstehung des Schattens bei Beleuchtung durch zwei Lichtquellen

in den von keiner der beiden Lampen Licht fällt. Man bezeichnet ihn als **Kernschatten**. Oberhalb und unterhalb des Kernschattens liegt ein helleres Schattengebiet, der **Halbschatten**. In den Raum des Halbschattens gelangt jeweils nur das Licht einer der beiden Lampen.

Etwas Ähnliches beobachtet man, wenn die Pappscheibe von einer Lichtquelle beleuchtet wird, die eine große Ausdehnung hat. Eine solche Lichtquelle ist zum Beispiel eine Glühlampe, die von einer Milchglasglocke umgeben ist. Auch hinter dieser Lichtquelle entsteht ein Kernschatten. Um den Kernschatten herum liegt der Halbschatten. Die Schattengrenzen sind jedoch unscharf, und der Halbschatten geht allmählich in den Kernschatten beziehungsweise in den voll beleuchteten Raum über.

**5. Mond- und Sonnenfinsternis.** Die Planeten kreisen wie die Erde um die Sonne. Der Mond und die Sputniks dagegen umkreisen unsere Erde. Die sowjetische kosmische Rakete Lunik 3 umkreiste sogar Erde und Mond gemeinsam. Sie alle sind undurchsichtige, nicht selbstleuchtende Körper. Sie erscheinen hell, weil sie von der Sonne beleuchtet werden und das Licht zurückstrahlen.

Die größeren Himmelskörper werfen wie alle beleuchteten Körper breite Schatten in den Weltraum. Bei der Erdumkreisung des Mondes gerät dieser zu bestimmten, genau zu berechnenden Zeitpunkten in den Schatten der Erde. Der Mond ist dann zeitweilig nicht mehr zu sehen, da er von der Sonne nicht mehr beleuchtet wird. Man bezeichnet diese Erscheinung als **totale Mondfinsternis** (Abb. 155/1).

Zu anderen Zeitpunkten steht der Mond bei der Erdumkreisung zwischen Sonne und Erde. Da der Durchmesser des Mondes kleiner als der der Erde ist, so beleuchtet sein Schatten nur einen Teil der Erdoberfläche (Abb. 155/2).

Für einen Beobachter, der sich im Schatten des Mondes befindet, steht dann der Mond genau vor der Sonne und verdeckt diese. Es herrscht dann eine **totale Sonnenfinsternis**. Sie ist immer nur von bestimmten, eng begrenzten Gegenden der Erde aus sichtbar.

Früher sahen die Menschen in der Sonnen- und in der Mondfinsternis Vorboten unheilvoller Ereignisse. Sie glaubten dabei an das Wirken übernatürlicher Kräfte. Die Wissenschaft hat aber gezeigt, daß die *Mond- und die Sonnenfinsternis völlig erklärbar und berechenbare Vorgänge sind*. Die Grundlage für die Vorausberechnungen liefern die Gesetze der Bewegung der Himmelskörper und das Gesetz über die allseitige geradlinige Ausbreitung des Lichtes. Daraus ist zu erkennen, daß ein Gesetz, das wir auf der Erde festgestellt haben, auch im Weltraum gilt.

Die Sputniks sind verhältnismäßig kleine Himmelskörper. Aber auch für sie gelten die gleichen Gesetze wie für die anderen Himmelskörper. Darum sehen wir die Sputniks zeitweilig als schwache Lichtpunkte über den Himmel wandern. Da sie der Erde viel näher sind als der Mond, bewegen sie sich nachts meistens im Erdschatten und sind nur im Sommer und kurz nach Sonnenuntergang oder vor Sonnenaufgang zu beobachten. Dann steht die Sonne nur wenig unter dem Horizont und beleuchtet den Sputnik.

**6. Der Weg des Lichtes in einer Sekunde.** Beim Gewitter vernimmt man bekanntlich den Donner eines weit entfernten Blitzes erst nach einigen Sekunden. Beobachten wir dagegen in langen Straßenzügen die elektrischen Beleuchtungskörper,

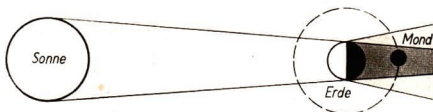


Abb. 155/1. Mondfinsternis

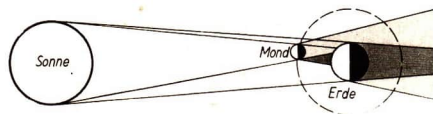


Abb. 155/2. Sonnenfinsternis



die abends eingeschaltet werden, so hat man den Eindruck, als ob alle Lampen gleichzeitig aufleuchten. Man könnte daher meinen, daß das Licht zu seiner Ausbreitung keine Zeit brauche. Diese Vermutung ist aber falsch. Das Licht breitet sich so schnell aus, daß man den äußerst geringen Zeitunterschied zwischen dem Aufleuchten der Lampen und dem Beobachten des Aufleuchtens nicht bemerkt.

Durch genaue Beobachtungen am Sternenhimmel stellte man schon vor etwa 300 Jahren fest, daß das Licht zu seiner Ausbreitung eine bestimmte Zeit benötigt. Es gelang schon damals, die Zeit ungefähr zu ermitteln, in der das Licht eine bestimmte Strecke zurücklegt. Man berechnete aus vielen Beobachtungen, daß das Licht in einer Sekunde einen Weg von etwa 300 000 km zurücklegt.

**Das Licht legt in einer Sekunde einen Weg von etwa 300 000 km zurück.**

Es durchläuft die Strecke von der Länge des Äquators der Erde, der etwa 40 000 km lang ist, in einer Sekunde 7,5 mal. Das zeigt, daß die Ausbreitungszeit des Lichtes für kurze Strecken ohne besondere Hilfsmittel nicht feststellbar ist.

Physiker schufen aber Versuchsanordnungen, mit deren Hilfe die Zeit für die Lichtausbreitung noch genauer und vor allem auf der Erde ermittelt werden kann. Heute kann man diese Versuche bereits in einem Raume durchführen. Daraus erkennen wir, welche großen Leistungen die Wissenschaftler hinsichtlich genauer und sorgfältiger Versuchsausführungen vollbringen können.

**7. Arbeitsplatzbeleuchtungen.** Die Kenntnisse von der Art der Lichtausbreitung und der Wirkung der Stoffe auf das Licht machen sich die Menschen zunutze, um Wohnraum, Verkehrswege und Arbeitsplätze zweckmäßig und ausreichend zu beleuchten. In Lichtspielhäusern, in Theatern, auf Bahnhöfen und Straßen soll möglichst überall eine gleichmäßige Beleuchtung herrschen. Die Lampen sind deshalb so verteilt angebracht, daß die geforderte Wirkung erreicht wird.

Am *Arbeitsplatz*, z. B. an der Drehmaschine, am Schreibtisch oder an der Nähmaschine, muß eine genügend große Helligkeit herrschen. Die Augen sollen bei der Überwachung der teilweise sehr komplizierten Arbeitsvorgänge nicht überanstrengt werden. Bestimmte Einzelheiten müssen gut sichtbar sein. Andererseits darf aber die Beleuchtung auch nicht zu hell sein: Übermäßige Helligkeit würde die Augen ebenfalls überanstrengen.

*Durch eine gute Beleuchtung des Arbeitsplatzes erhöht sich die Leistung und die Unfallgefahr verringert sich.* Ein Zeichner oder ein Dreher braucht zum Beispiel eine hellere Beleuchtung seines Arbeitsplatzes als ein Schmied. Das weiße Zeichenblatt wiederum ist besser zu erkennen, als eine Naht auf schwarzem Stoff. Um bewegte Maschinenteile in den Einzelheiten gut beobachten zu können, ist ebenfalls mehr Licht erforderlich als für das Erkennen ruhender Körper. So muß die Beleuchtung den Besonderheiten des betreffenden Arbeitsplatzes angepaßt sein.

*Die Beleuchtung des Arbeitsplatzes muß ausreichend hell sein. Unnötig große Helligkeit ist zu vermeiden.*

*Zum genauen Erkennen dunkler oder bewegter Gegenstände ist eine hellere Beleuchtung nötig als für helle oder ruhende Körper.*

Arbeitsplatzlampen, Fahrzeugscheinwerfer und andere Lichtquellen strahlen ihr Licht meist unmittelbar auf andere Körper. Das Licht gelangt dabei ungehindert

von der Lichtquelle zu dem beleuchteten Körper. Man bezeichnet diese Art der Beleuchtung als *direkte Beleuchtung*.

Die Lampen zur Beleuchtung des Arbeitsplatzes und die Tischlampen haben einen Schirm. Er verhindert, daß sich die volle Helligkeit nach allen Seiten ausbreitet und damit auch ins Auge gelangt. Liest man unter einer Tischlampe, so soll das Buch, aber nicht die Augen beleuchtet werden. Wenn nämlich das grelle Licht der Glühlampe direkt ins Auge fällt, wird man geblendet und die Augen werden überanstrengt. Dies gilt auch für die Beleuchtung eines Arbeitsplatzes. Hier darf ebenfalls keine Blendung auftreten. Die Scheinwerfer eines Kraftwagens können so stark blenden, daß man auf dunkler Straße einige Zeit nicht sieht. Deshalb lassen sich Fahrzeugscheinwerfer so abblenden, daß ihr Licht dem Fahrer eines entgegenkommenden Wagens nicht direkt in die Augen fällt.

Um das Reflektieren des Lichtes durch helle Gegenstände zu vermeiden, soll sich die Lampe nicht vor dem Arbeitenden, sondern möglichst links von ihm befinden.

*Arbeitsplatzbeleuchtungen müssen so gebaut und angebracht sein, daß sie nicht blenden.*

Eine andere Art der Raumbeleuchtung ist die *indirekte Beleuchtung*. Die Lampen sind nach unten weitgehend abgeschirmt und strahlen ihr Licht gegen die helle Decke. Von hier wird es zurückgestrahlt und erhellt den ganzen Raum. Die indirekte Beleuchtung ergibt eine gleichmäßige blendungsfreie Beleuchtung des Raumes.

Zur Raumbeleuchtung verwendet man heute häufig *Leuchtstoffröhren*. Sie ergeben ein helles gleichmäßiges Licht und sind vor allem blendungsfrei. Sie haben außerdem den großen Vorteil, daß sie wesentlich sparsamer im Betrieb sind. In großen Hallen werden vielfach *Tiefstrahler* benutzt. Bei ihnen sind die Schirme so weit heruntergezogen, daß man die Glühlampen nur sehen kann, wenn man von unten zu den Lichtstrahlern hochsieht.

## 8. Fragen und Aufgaben:

1. Welche Lichtquellen sind dir bekannt? Welche Bedeutung haben sie für die Beleuchtung?
2. Nenne durchsichtige, durchscheinende und undurchsichtige Körper! Ordne diese Körper in die folgende Übersicht ein!

|           | durchsichtige<br>Körper | durchscheinende<br>Körper | undurchsichtige<br>Körper |
|-----------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| fest      |                         |                           |                           |
| flüssig   |                         |                           |                           |
| gasförmig |                         |                           |                           |

2. Gib Beobachtungen an, die zeigen, daß sich das Licht mit einer wesentlich größeren Geschwindigkeit als der Schall ausbreitet!
4. Wieviel Tage würde ein D-Zug für die Strecke brauchen, die das Licht in einer Sekunde durchheilt? Der D-Zug soll in einer Stunde einen Weg von 100 km zurücklegen.

5. In welcher Zeit gelangt das Licht
  - a) vom Mond zur Erde (mittlere Entfernung Mond—Erde etwa 380000 km),
  - b) von der Sonne zur Erde (mittlere Entfernung Sonne—Erde etwa 150000000 km)?
6. Welchen Weg legt das Licht in einem Jahr zurück? Diese Entfernung nennen die Astronomen ein Lichtjahr.
7. Vom hellsten Fixstern, dem Sirius, den wir am Winterhimmel beobachten können, braucht das Licht annähernd 9 Jahre, bis es die Erde erreicht. Wie weit ist der Sirius von der Erde entfernt?
8. Verwende eine Glühlampe, einen Gummiball, eine Murmel als Modelle der Sonne, der Erde und des Mondes! Veranschauliche mit ihnen eine Sonnen- und eine Mondfinsternis! Erkläre an den Modellen, warum nicht bei jedem Vollmond eine Mondfinsternis und bei jedem Neumond eine Sonnenfinsternis eintritt!
9. Stelle in einem dunklen Zimmer in einer Entfernung von etwa 2 m von der Wand eine brennende Kerze auf und erzeuge mit ihrer Hilfe an der Wand den Schatten eines Schreibheftes! Halte das Schreibheft zu Anfang dicht vor die Wand und verschiebe es dann von ihr fort auf die Kerze zu! In welchem Falle ist der Schatten schärfer? Warum ist das so?

## 24. Die Reflexion

**1. Der ebene Spiegel.** Fällt Licht auf eine glatte Metallfläche, auf die Oberfläche von Glas oder von Wasser, so *wird das Licht reflektiert*. Körper, die das Licht nur in einer bestimmten Richtung reflektieren, nennt man *Spiegel*.

Am besten wird das Licht von blankpolierten Metalloberflächen zurückgeworfen. Hellglänzende Metalle, wie Chrom, Nickel, Silber und Quecksilber, sind hierfür besonders geeignet. Mit diesen wertvollen Metallen muß man jedoch sparsam umgehen. Man trägt sie daher als spiegelnde Flächen nur in dünnen Schichten auf ebene Eisenplatten, Aluminiumplatten oder Glasscheiben auf, damit sich diese dünnen Schichten nicht verbiegen können.

Bei den Spiegeln für den täglichen Gebrauch ist die *Spiegelschicht auf der Rückseite einer Glasplatte* aufgetragen. Die Spiegelschicht ist außerdem mit einer schützenden Lackschicht überzogen. Das Licht wird zum überwiegenden Teil an der Spiegelschicht reflektiert, zu einem geringen Teil aber auch an der Vorderseite der Glasplatte. Dies stört meist nicht. Vor allem dann nicht, wenn man senkrecht vor den Spiegeln steht. Für optische Geräte sind solche Spiegel jedoch nicht geeignet. Bei ihnen wird die *Vorderseite einer Glasplatte oder einer Metallplatte versilbert*. Auf solche Spiegel dürfen wir nicht mit den Fingern greifen, da die spiegelnde Schicht leicht beschädigt werden kann.

Bei den *Gebrauchsspiegeln* bildet die spiegelnde Fläche eine Ebene. Man nennt solche Spiegel daher *ebene Spiegel*. Außer den ebenen Spiegeln gibt es auch *gekrümmte Spiegel*. Beispiele für gekrümmte Spiegel sind die Rückspiegel an Fahrzeugen, die Reflektoren in den Scheinwerfern der Traktoren und anderer Kraftfahrzeuge sowie die Rasierspiegel.

**2. Das Reflexionsgesetz.** Fallen Lichtstrahlen schräg auf den Wasserspiegel in einer Schüssel, so findet man den gespiegelten Lichtschein nicht senkrecht über der Spiegelfläche, sondern auf der der Lichtquelle entgegengesetzten Seite.

Zur genauen Untersuchung dieser Erscheinung führt man folgenden Versuch durch, wobei man den Verlauf des Lichtes mit einem schmalen Lichtbündel sicht-

bar macht, das man als *Lichtstrahl* bezeichnet (Abb. 159/1). Läßt man den Lichtstrahl an der Pappe entlanglaufen, so zeigt der helle Streifen den Verlauf des *einfallenden Lichtstrahles* und des *reflektierten Strahles* an. Dies ist ein Zeichen dafür, daß diese beiden Strahlen in einer Ebene liegen. Die Stelle, wo der einfallende Strahl den Spiegel trifft, heißt *Einfallspunkt*. In ihm kann man eine Senkrechte zur Spiegelfläche errichten und erhält so das *Einfallslot*.

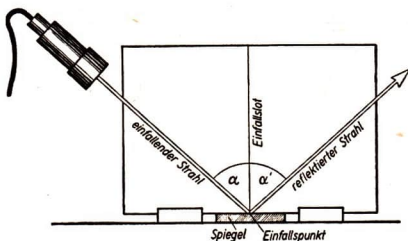


Abb. 159/1. Reflexion am ebenen Spiegel

**Einfallender Strahl, Einfallslot und reflektierter Strahl liegen in einer Ebene.**

Der einfallende Strahl bildet mit dem Einfallslot einen bestimmten Winkel, den *Einfallswinkel*  $\alpha$ . Zwischen Einfallslot und reflektiertem Strahl liegt der *Reflexionswinkel*  $\alpha'$ . Mißt man beide Winkel, so erhält man die gleichen Werte. Einfallswinkel und Reflexionswinkel sind somit gleich groß. Verkleinert man den Einfallswinkel, so nimmt auch der Reflexionswinkel in gleichem Maße ab. *Sie sind stets einander gleich.* Zur Beobachtung dieses Vorganges kann man auch eine *optische Scheibe* verwenden. Auf ihr kann man die Werte für  $\alpha$  und  $\alpha'$  bei jeder Spiegelstellung ablesen (Abb. 159/2). Vergleicht man alle Ergebnisse miteinander, so findet man damit ein wichtiges *Naturgesetz*, das **Reflexionsgesetz**, bestätigt.

Bei der Reflexion des Lichtes am ebenen Spiegel liegen der einfallende Strahl, der reflektierte Strahl und das Einfallslot in einer Ebene. Einfallswinkel und Reflexionswinkel sind gleich groß. Es ist  $\alpha = \alpha'$ .

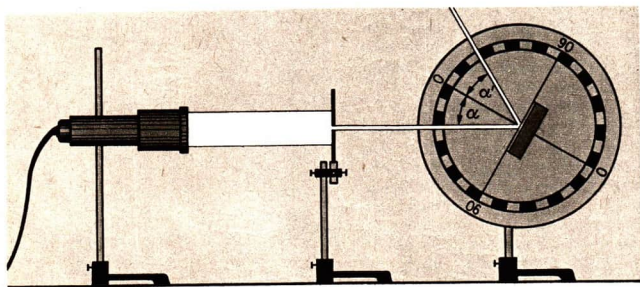


Abb. 159/2. Vergleich von Einfallswinkel und Reflexionswinkel an einer optischen Scheibe



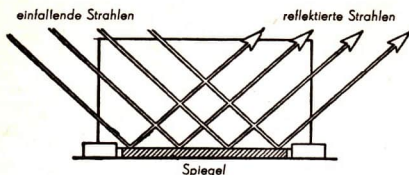


Abb. 160/1. Reflexion paralleler Strahlen am ebenen Spiegel

Gesetze zu erforschen, sondern sie in der Technik anzuwenden. Wir werden in der Optik noch an mehreren Stellen erfahren, wie beim Bau optischer Geräte das Reflexionsgesetz angewendet wurde, um die Richtung von Lichtstrahlen zu ändern.

Bei dem in Abbildung 159/1 wiedergegebenen Versuch befindet sich die Lichtquelle links. Von ihr aus verläuft der einfallende Strahl zum Einfallspunkt und wird dort reflektiert. Läßt man nun das Licht in Richtung des reflektierten Strahles einfallen, so wird er in Richtung des ursprünglich einfallenden Strahles reflektiert. Daraus folgt:

**Jeder Lichtstrahl ist umkehrbar.**

**3. Das Bild am ebenen Spiegel.** Brennt im halbdunklen Zimmer vor einer senkrecht stehenden, ebenen Glasscheibe eine Kerze, so sieht man hinter der Scheibe ein *Spiegelbild* der Kerze (Abb. 160/2). Nun wird eine gleich große, nicht brennende Kerze so hinter die Scheibe gestellt, daß sie mit dem Spiegelbild der brennenden Kerze zusammenfällt. Es sieht jetzt so aus, als ob die Kerze hinter der Scheibe auch brennt. Weiterhin ist zu erkennen, daß das Bild genau so groß wie die Kerze ist. Mit Hilfe eines flachen Meterstabes stellen wir fest: Die Verbindungslinie zwischen der Kerze und ihrem Bild steht senkrecht auf der Spiegelebene. Der Abstand des Bildes von der Spiegelfläche ist gleich dem Abstand der Kerze von der Spiegelfläche.

Am ebenen Spiegel liegen der Gegenstand und sein Spiegelbild symmetrisch zur Spiegelfläche. Das Bild ist ebenso groß wie der Gegenstand.

Die Bildentstehung am ebenen Spiegel läßt sich auf Grund der Reflexion der Lichtstrahlen erklären. Wir verfolgen dazu den Verlauf einzelner Lichtstrahlen, die vom Punkt *G*, einem *Gegenstandspunkt*, herkommen (Abbildung 161/1). Sie treffen unter verschiedenen Einfallswinkeln auf den Spiegel. Bei der Reflexion eines jeden

Läßt man mehrere parallel verlaufende Strahlen auf einen ebenen Spiegel fallen, dann gilt für jeden Einzelstrahl das Reflexionsgesetz, so daß alle Strahlen wieder parallel reflektiert werden (Abb. 160/1).

Es gibt in der Physik noch viele andere Naturgesetze. Die Leistung der Menschen liegt nun nicht allein darin, diese

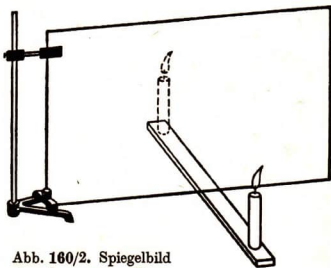


Abb. 160/2. Spiegelbild einer brennenden Kerze

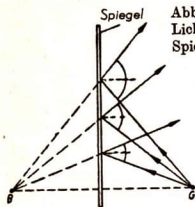
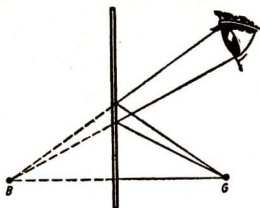


Abb. 161/1. Reflexion von Lichtstrahlen am ebenen Spiegel

Abb. 161/2. Die vom Gegenstandspunkt herkommenden Strahlen scheinen vom Bildpunkt auszugehen.



Lichtstrahles muß der Reflexionswinkel gleich dem Einfallswinkel sein. Zeichnet man die Verlängerung der reflektierten Lichtstrahlen durch den Spiegel hindurch, so treffen sie sich alle in einem Punkt, dem *Bildpunkt* B. Dieser Punkt liegt ebenso weit hinter dem Spiegel wie der Punkt G vor ihm. Für unser Auge scheinen die reflektierten Strahlen von dem Punkt B herzukommen (Abb. 161/2).

In der beschriebenen Weise werden alle Punkte eines Gegenstandes abgebildet. Zu jedem Gegenstandspunkt gehört jeweils ein Bildpunkt. Alle Bildpunkte ergeben insgesamt das Bild des Gegenstandes.

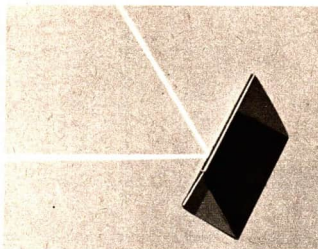
Wir betrachten im Wandspiegel das Bild unseres eigenen Gesichts. Neigt man den Kopf nach links, so scheint das Spiegelbild eine Neigung nach rechts zu machen. Das Spiegelbild eines Gegenstandes ist somit seitenverkehrt. Die Spiegelschrift verläuft deshalb von rechts nach links.

**Am ebenen Spiegel entstehen durch Reflexion der Lichtstrahlen gleich große, aufrechte Bilder der Gegenstände. Die Seiten erscheinen jedoch vertauscht.**

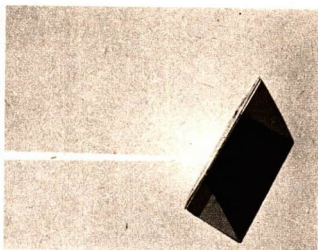
**4. Anwendungen des ebenen Spiegels.** Wir haben erkannt, daß am ebenen Spiegel naturgetreue Bilder der Gegenstände vor dem Spiegel entstehen. Auf Grund dieser Tatsache werden die Spiegel vielseitig verwendet. Die verschiedenen Spiegel im Haushalt kennen wir alle. Oft finden wir aber auch in Schaufenstern und an den Wänden von Sälen Spiegel, die durch Reflexion des Lichtes die Helligkeit vergrößern. Auch entsteht durch die Spiegelung der Eindruck, daß es sich um große Räume handle. In vielen optischen Geräten dienen ebene Spiegel dazu, die Lichtstrahlen in eine andere Richtung zu lenken. Wir werden dies bei verschiedenen Fotoapparaten und bei den als *Episkop* bezeichneten Bildwerfern noch kennenlernen. Diese Spiegel sind meist Metallspiegel oder oberflächenversilberte Glasspiegel.

**5. Die diffuse Reflexion.** Bedecken wir einen dunklen Tisch, der von einer Lampe beleuchtet wird, mit einem weißen Tischtuch, so wird das Zimmer merklich heller. Die von der Lampe ausgesandten Lichtstrahlen werden vom Tischtuch zurückgeworfen. Auf diese Weise gelangt Licht auch in die Teile des Zimmers, die im Schatten des Lampenschirmes liegen. Obwohl die weiße Tischdecke Licht reflektiert, wirkt sie aber nicht wie ein ebener Spiegel.

Wir wiederholen den auf S. 159 beschriebenen Versuch mit der optischen Scheibe (Abb. 162/1 a) und ersetzen den ebenen Spiegel durch ein Stück weiße Pappe



a) am ebenen Spiegel



b) an einer weißen Papppe

Abb. 162/1. Reflexion des Lichtes

(Abb. 162/1b). Das Licht wird an der Papppe nicht in einer bestimmten Richtung, sondern nach vielen Richtungen zurückgeworfen. Man bezeichnet diesen Vorgang als *diffuse Reflexion* des Lichtes.

Betrachtet man durch ein Mikroskop die stark vergrößerte Oberfläche der Papppe, so erkennt man die Ursache für die diffuse Reflexion des Lichtes. Die Oberfläche ist nicht glatt wie beim Spiegel, sondern rau. Eine rauhe Fläche setzt sich aus einer großen Anzahl sehr kleiner Flächenstücke zusammen, die in verschiedenen Richtungen liegen. Jedes kleine Flächenstück wirkt wie ein ebener Spiegel (Abb. 162/2). Die einzelnen Lichtstrahlen werden infolgedessen nach den verschiedensten Richtungen zurückgeworfen. Ähnlich ist es auch bei einem hellen Tischtuch.

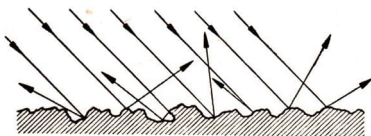


Abb. 162/2. Diffuse Reflexion des Lichtes an einer rauhen Fläche

**An rauhen, hellen Flächen wird das Licht diffus reflektiert. Die reflektierten Strahlen haben verschiedene Richtungen.**

Die diffuse Reflexion des Lichtes wird bei der indirekten Beleuchtung von Innenräumen ausgenutzt (vgl. S. 157). Auch das Tageslicht in Zimmern, die von den Sonnenstrahlen nicht unmittelbar getroffen werden, ist diffus reflektiertes Licht.

## 6. Fragen und Aufgaben:

1. Erkläre das Reflexionsgesetz an Hand der Begriffe Einfallslot, Einfallswinkel und Reflexionswinkel!
2. Halte einen Taschenspiegel so ins Sonnenlicht, daß es zunächst in die Einfallsrichtung zurückgeworfen wird! Um wieviel Grad dreht sich der reflektierte Strahl, wenn der Spiegel um  $45^\circ$  gedreht wird? Begründe die Beobachtung!

3. Konstruiere für jede der in der Abbildung 163/1 gezeichneten Lagen und Strahlrichtungen den Verlauf des reflektierten Strahles!
4. Wie ist das Bild am ebenen Spiegel beschaffen?
5. Warum versieht man Lampen mit spiegelnden Schirmen?
6. Blicke möglichst flach auf einen Glasspiegel! Wieviel Spiegelbilder sieht man? Begründe diese Erscheinung.
7. Was versteht man unter diffuser Reflexion? Nenne Anwendungen für diffuse Reflexion!



Abb. 163/1. Spiegel und einfallender Strahl in verschiedenen Richtungen

## 25. Die Brechung des Lichtes

**1. Der Übergang des Lichtes von Luft in Wasser.** Wir legen in zwei nebeneinanderstehende leere Entwicklerschalen je ein Geldstück. Gießen wir in die eine Schale Wasser, so scheint sich der Boden mit der Münze zu heben (Abb. 163/2). Die mit Wasser gefüllte Schale scheint flacher zu sein als die leere Schale. Durch das Wasser muß eine Änderung in der Ausbreitung des Lichtes eingetreten sein. Der folgende Versuch gibt eine Erklärung für diese Erscheinung.

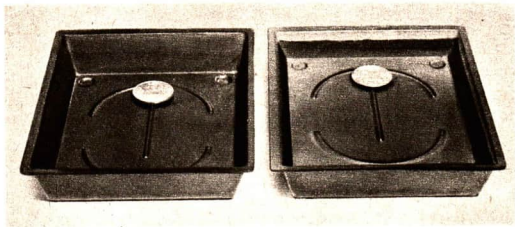


Abb. 163/2  
Scheinbare  
Hebung einer  
Münze

In einem leeren Glastrog steht eine Milchglasscheibe. Ein Lichtstrahl, der von links oben her einfällt, zeichnet sich als heller geradliniger Streifen ab (Abb. 164/1a). Füllt man den Trog mit Wasser, dann beobachtet man eine Ablenkung des Strahles an der Wasseroberfläche (Abb. 164/1b). Diese Richtungsänderung bezeichnet man als **Brechung des Lichtes**.



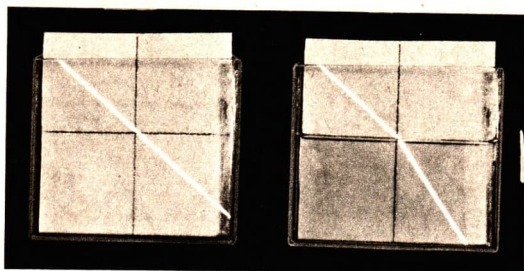


Abb. 164/1  
Brechung  
eines  
Lichtstrahls

a) Der Trog ist leer.

b) Der Trog ist mit Wasser gefüllt.

Führt man einen entsprechenden Versuch mit Glas durch, so kommt man zu einem ähnlichen Ergebnis. Auch beim Übergang von Luft in Glas werden die Lichtstrahlen gebrochen.

Gehen Lichtstrahlen von einem Stoff in einen anderen über, so werden sie an der Grenzfläche gebrochen.

2. Das Brechungsgesetz. Mit Hilfe einer optischen Scheibe, an der ein Glaskörper mit halbkreisförmigem Querschnitt befestigt ist, kann man die Brechung des Lichtes genau untersuchen (Abb. 164/2). Ein Lichtstrahl, der schräg auf die ebene Fläche des Glaskörpers trifft, wird im *Einfallspunkt* an der Grenzfläche gebrochen. Zwischen dem *Einfallslot* und dem einfallenden Strahl ergibt sich ein *Einfallswinkel*  $\alpha$ .

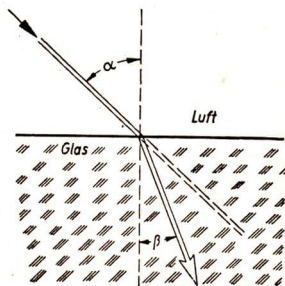
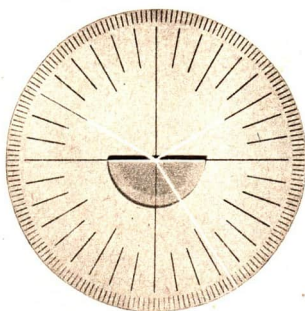


Abb. 164/2. Brechung des Lichts beim Übergang von Luft in Glas

von beispielsweise  $60^\circ$ . Der Winkel zwischen dem gebrochenen Strahl und der Verlängerung des Lotes heißt *Brechungswinkel*. Er wird mit  $\beta$  bezeichnet und beträgt in diesem Falle etwa  $33^\circ$ . Geht der Lichtstrahl von Luft in Glas über, so ist der Brechungswinkel kleiner als der Einfallswinkel. Auch beim Übergang von Luft in Wasser ist  $\beta$  kleiner als  $\alpha$ . Man sagt, *der Lichtstrahl wird zum Lot hin gebrochen*.

**Treten Lichtstrahlen von Luft in Glas oder Wasser über, dann werden sie zum Lot hin gebrochen. Der Brechungswinkel  $\beta$  ist dabei kleiner als der Einfallswinkel  $\alpha$ .**

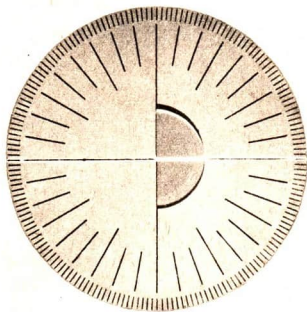


Abb. 165/1. Der Lichtstrahl trifft senkrecht auf die Grenzfläche.

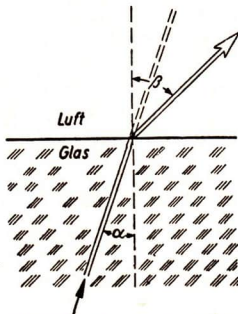


Abb. 165/2. Übergang des Lichtes von Glas in Luft

Fällt dagegen der Strahl senkrecht auf die Grenzfläche, ist also der Einfallswinkel  $\alpha$  gleich  $0^\circ$ , dann tritt keine Brechung ein (Abb. 165/1).

Läßt man auf der optischen Scheibe den Lichtstrahl so auf die gewölbte Fläche des Glaskörpers treffen, daß er auf den Mittelpunkt des Halbkreises gerichtet ist, so trifft er senkrecht auf die gewölbte Fläche und wird nicht gebrochen. Der Lichtstrahl verläuft im Glaskörper geradlinig. Er trifft nun unter einem bestimmten Einfallswinkel auf die ebene Grenzfläche des Glaskörpers (Abb. 165/2). Hier tritt der Strahl in Luft über und wird dabei gebrochen. Es zeigt sich, daß jetzt der Brechungswinkel  $\beta$  beim Übergang von Glas in Luft größer ist als der Einfallswinkel  $\alpha$ . Der Lichtstrahl wird bei diesem Übergang vom Lot weg gebrochen. Die gleiche Erscheinung beobachtet man, wenn der Lichtstrahl von Wasser in Luft übertritt.

**Treten Lichtstrahlen von Glas oder Wasser in Luft über, so werden sie vom Lot weg gebrochen. Der Brechungswinkel  $\beta$  ist hierbei größer als der Einfallswinkel  $\alpha$ .**

**3. Erscheinungen, die auf der Brechung des Lichtes beruhen. Mit Hilfe des Brechungsgesetzes kann man nun erklären, warum bei dem in Abbildung 163/2 dar-**

gestellten Versuch eine scheinbare Hebung der Münze und des Gefäßbodens eintrat. Die vom Boden beziehungsweise von der Münze herkommenden Lichtstrahlen werden an der Grenzfläche gebrochen (Abb. 166/2). Das Auge selbst nimmt diese Brechung nicht wahr. Man erblickt die Münze in der rückwärtigen Verlängerung der in das Auge eintretenden Lichtstrahlen. Diese Lichtstrahlen scheinen aber von einem Punkt herzukommen, der höher liegt als die Münze selbst. Ähnlich verhält es sich mit einem Gegenstand, der schräg aus dem Wasser herausragt. Er scheint an der Wasseroberfläche geknickt zu sein. Man kann das zum Beispiel an einer Zahnbürste beobachten, die mit ihrem Stiel aus einem mit Wasser gefüllten Becher herausragt (Abb. 166/1). Die Erklärung für diese Erscheinungen gibt die Abbildung 166/3. Von jeder Stelle der eingetauchten Bürste gehen reflektierte Lichtstrahlen aus. Die beispielsweise von  $A$  kommenden Strahlen werden beim Übergang in die Luft vom Lot weg gebrochen. Das Auge nimmt aber bekanntlich die Brechung nicht wahr. Man sieht den Punkt  $A$  in der rückwärtigen Verlängerung der gebrochenen Strahlen. Infolgedessen scheint das untere Ende der Bürste bei  $A'$  zu sein. Ebenso werden auch die Strahlen gebrochen, die von einer Stelle  $B$  des Stabes ausgehen. Diese Stelle erblickt man bei  $B'$ . So kommt es, daß man den eingetauchten Teil der Bürste verkürzt und gehoben sieht. Da

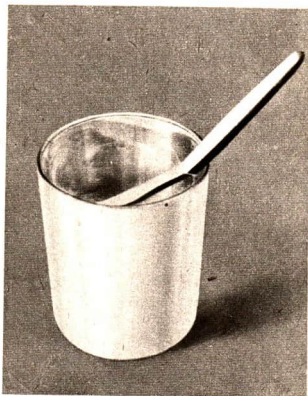


Abb. 166/1. Der Löffel scheint an der Wasseroberfläche geknickt zu sein.

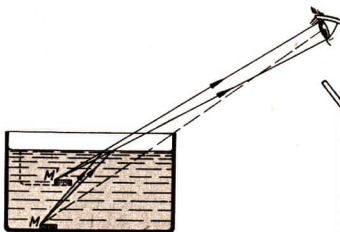


Abb 166/2. Strahlengang beim scheinbaren Heben einer Münze

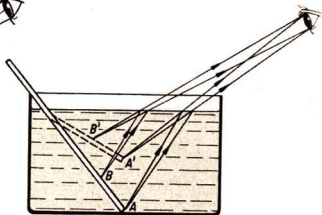


Abb. 166/3. Erklärung für die scheinbare Knickung des Stabes

die wirkliche Lage der Bürste aber unverändert ist, scheint er an der Wasseroberfläche geknickt zu sein.

Auf die gleiche Weise kann man auch erklären, warum Schriftzeilen gehoben sind, wenn man sie durch eine Glasplatte betrachtet. Auch klare Gewässer scheinen flacher zu sein, als sie in Wirklichkeit sind.

### Fragen und Aufgaben:

1. Was versteht man unter der Brechung des Lichtes?
2. Lege auf den Boden einer mit Wasser gefüllten Waschschüssel eine Schraubenmutter und versuche, mit einer Stricknadel die Mutter zu treffen, indem du die Nadel möglichst schräg direkt in Richtung auf die Mutter zu führst! Warum gelingt das nicht gleich?
3. Befestige auf einer schmalen, etwa 30 cm langen Holzleiste mittels eines dünnen Nagels zwei etwa 10 cm lange Holzleisten (Abb. 167/1)! Tauche die lange Leiste bis zum Nagel senkrecht in einen Eimer mit Wasser und verstelle die kurze Leiste im Wasser so, daß sie einen spitzen Winkel mit der langen Leiste bildet! Drehe die in der Luft befindliche kurze Leiste so, daß sie die Richtung der anderen kurzen Leiste fortzusetzen scheint! Ziehe die Leisten aus dem Wasser und vergleiche die spitzen Winkel miteinander!
4. Zeichne in dein Berichtsheft für die in der Abbildung 167/2 gezeichneten Fälle das Einfallslot und ungefähr die Richtung des gebrochenen Lichtstrahls ein!



Abb. 167/1. Holzleiste mit zwei kurzen drehbaren Leisten

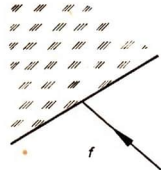
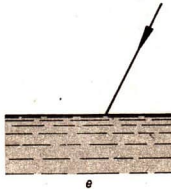
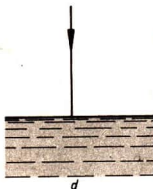
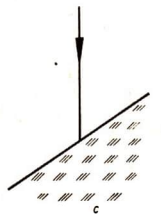
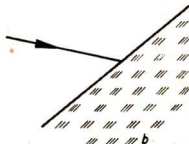
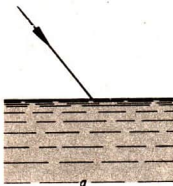


Abb. 167/2. Verschiedene Beispiele für die Brechung beim Übergang von Luft in Wasser (a, d und e) sowie von Luft in Glas (b, und f)



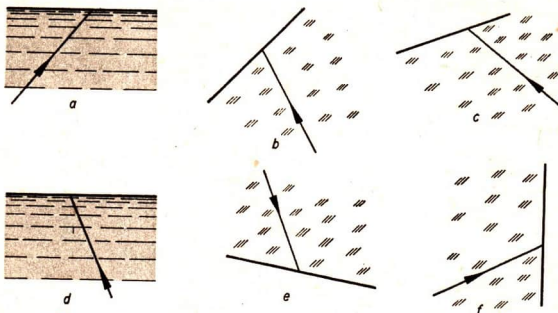


Abb. 168/1. Verschiedene Beispiele für die Brechung beim Übergang von Wasser in Luft (a und d) und von Glas in Luft (b, c, e und f)

5. Führe das gleiche für die in der Abbildung 168/1 gezeichneten Fälle durch!

## 26. Optische Linsen

Will man sich eine Briefmarke genauer betrachten, dann verwendet man dazu eine **Lupe**. Durch die Lupe betrachtet, erscheint die Briefmarke größer als ohne sie. Welche Ursachen hat das?

**1. Der Lichtdurchgang durch optische Linsen.** Jede Lupe besteht aus einer optischen Linse. Das sind Glaskörper mit besonderer Form. Eine Gruppe von Linsen erinnert in ihrer Form an die Linsenfrucht. Davon erhielten diese Glaskörper ihren Namen. Die meisten optischen Linsen haben *gleichmäßig gewölbte Begrenzungsflächen*. Die *optische Achse* einer Linse ist eine gedachte Linie, die durch den Linsenmittelpunkt verläuft und senkrecht auf der Linsenebene steht (Abb. 168/2).

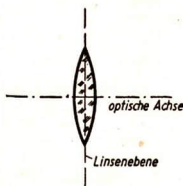


Abb. 168/2. Linse

Von den unendlich vielen Lichtstrahlen, die auf eine Linse fallen können, haben zwei Arten eine besondere Bedeutung. Die Strahlen, die durch den Mittelpunkt der Linse gehen, bezeichnet man als *Mittelpunktstrahlen*. Läuft der Mittelpunktstrahl entlang der optischen Achse, dann wird er nicht gebrochen, weil er durch beide Linsenflächen senkrecht hindurchgeht. Fällt jedoch der Mittelpunktstrahl schräg auf die Linse, dann wird er beim Eintritt zum Lot hin gebrochen. Beim Austritt aus der Linse erfolgt eine ebenso starke Brechung vom Lot weg. Folglich behält auch ein Mittelpunktstrahl, der schräg durch die Linse fällt, seine Richtung bei. Er wird nur etwas

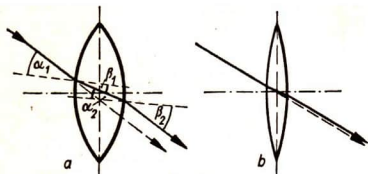


Abb. 169/1. Strahlengang bei Mittelpunktstrahlen

- a) durch eine dicke Linse
- b) durch eine dünne Linse

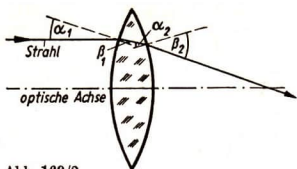


Abb. 169/2  
Strahlenverlauf bei Parallelstrahlen

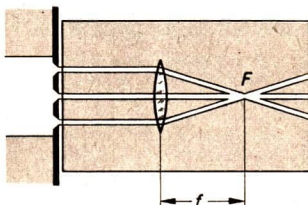


Abb. 169/3. Parallelstrahlen schneiden sich im Brennpunkt

seitlich verschoben (Abb. 169/1a). Bei dünnen Linsen ist diese seitliche Verschiebung jedoch kaum erkennbar (Abb. 169/1b).

Lichtstrahlen, die parallel zur optischen Achse auf die Linse fallen, heißen *Parallelstrahlen*. Sie treffen stets schräg auf die Linsenoberfläche und werden deshalb gebrochen. Die Abbildung 169/2 zeigt den Verlauf eines Parallelstrahles beim Durchgang durch eine Linse. Bei allen Linsen, die in der Mitte dicker sind als am Rand, werden die Parallelstrahlen so gebrochen, daß sie die optische Achse schneiden.

Trifft nun ein Bündel Parallelstrahlen auf eine solche Linse, so werden alle Einzelstrahlen auf der optischen Achse in einem gemeinsamen Schnittpunkt vereinigt (Abb. 169/3). Dieser Punkt heißt der **Brennpunkt** ( $F$ ) der Linse. Den Abstand zwischen der Linsenebene und dem Brennpunkt bezeichnet man als **Brennweite** ( $f$ ). Fallen die Parallelstrahlen von der anderen Seite auf die Linse, so schneiden sie einander ebenfalls in einem Brennpunkt. Die Brennweite hat wiederum den gleichen Wert. Linsen, die parallele Lichtstrahlen in einem Brennpunkt sammeln, bezeichnet man als **Sammellinsen**.

#### Sammellinsen vereinigen parallele Lichtstrahlen in einem Brennpunkt.

Sammellinsen können unterschiedliche Formen haben (Abb. 169/4). Stets aber sind sie in der Mitte dicker als am Rand.

Vergleicht man die Brennweiten von Sammellinsen mit unterschiedlich gekrümmten Flächen, so findet man:

**Die Brennweite einer Sammellinse ist um so größer, je flacher die Linse ist. Stark gewölbte Sammellinsen haben eine kleine Brennweite.**



Abb. 169/4  
Verschiedene Formen der Sammellinsen



Abb. 170/1. Entzünden eines Streichholzes mit Hilfe einer Sammellinse. Die im Bild sichtbaren Lichtstrahlen sind nachträglich eingezeichnet.

Eine weit verbreitete Anwendung der Sammellinse ist das *Brennglas*. Da die Sonnenstrahlen wegen der großen Entfernung der Lichtquelle nahezu parallel sind, werden sie von einer Sammellinse im Brennpunkt vereinigt. Wie wir wissen, enthält die Sonnenstrahlung außer den Lichtstrahlen auch Wärmestralen. Diese Wärmestralen werden ebenfalls durch die Linse gesammelt. Im Brennpunkt ist diese Wärmewirkung stark genug, um leicht brennbare Stoffe zu entzünden (Abb. 170/1).

optischen Achse aus der Linse aus (Abb. 170/2). Auf diese Weise wird beispielsweise bei Scheinwerfern paralleles Licht erzeugt.

Beindet sich eine Lichtquelle im Brennpunkt der Sammellinse, dann treten die Lichtstrahlen parallel zur

Eine andere Gruppe von Linsen sind in der Mitte dünner als am Rand. Mittelpunktstrahlen verlaufen auch an solchen Linsen nach dem Durchgang in der ursprünglichen Richtung weiter. Aber ein Parallelstrahl wird nicht zur optischen Achse hin gebrochen, sondern von ihr weg (Abb. 170/3). Alle auf die Linse treffenden Parallelstrahlen werden auf diese Weise gebrochen. Sie werden nicht vereinigt,

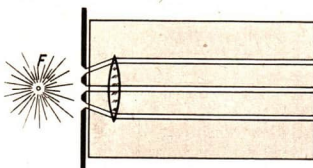


Abb. 170/2 Erzeugen achsenparalleler Lichtstrahlen

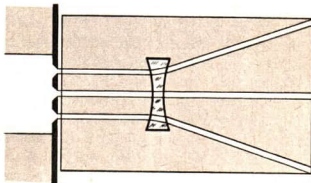


Abb. 170/4. Wirkung einer Zerstreuungslinse

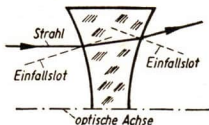


Abb. 170/3. Brechung eines Parallelstrahles an einer Zerstreuungslinse



Abb. 170/5. Verschiedene Arten von Zerstreuungslinsen

sondern laufen auseinander. Sie werden zerstreut (Abb. 170/4). Man bezeichnet solche Linsen als **Zerstreuungslinsen**. Die Abbildung 170/5 zeigt verschiedene Arten von Zerstreuungslinsen. Sie sind stets in der Mitte dünner als am Rand.

## Zerstreuungslinsen zerstreuen achsenparallele Lichtstrahlen.

**2. Das Herstellen von Linsen.** Zum Herstellen optischer Linsen werden große *Rohglasblöcke* in Scheiben und anschließend in Stücke zersägt (Abb. 172/1 a bis c). Diese Rohglasstücke werden nun erwärmt, bis sie zähflüssig sind. In diesem Zustand werden sie in eine Form gepreßt. Es entstehen so die *Rohlinge* (Abb. 172/1d). Sie erhalten auf diese Weise annähernd die endgültige Linsenform. An der Oberfläche sind die Rohlinge jedoch noch mattgrau und infolgedessen nur durchscheinend. Daher müssen die Rohglasstücke noch geschliffen und poliert werden. Das geschieht vorwiegend automatisch mit Hilfe besonderer Maschinen. Mehrere Rohlinge werden auf einen halbkugelförmigen Tragkörper gekittet (Abb. 172/1e). Dieser dreht sich um seine Achse. Eine halbkugelförmige Polierschale greift über den Tragkörper. Sie wird maschinell auf dem Tragkörper hin- und hergeschwenkt. In der Polierschale befindet sich ein Schleifmittel. Damit werden die Rohlinge solange geschliffen, bis sie die gewünschte Form haben. Anschließend werden sie poliert, so daß die Oberfläche völlig glatt und durchsichtig wird. Nachdem beide Seiten der Linse auf diese Weise behandelt wurden, ist die Linse fertig (Abb. 172/1f).

Für optische Zwecke muß das verwendete Glas fehlerfrei sein. Kleine Luftbläschen stören nicht. Gläser mit größeren Blasen, mit Schlieren und eingeschlossenen Fremdkörpern sind jedoch für die Herstellung von Linsen und anderen optischen Teilen ungeeignet. Da die fein polierte Oberfläche der Linsen sehr empfindlich ist, darf man sie nur mit einem Haarpinsel oder einem weichen Lappen vorsichtig von Staub oder Flecken säubern.

**3. Die Bildentstehung an Sammellinsen.** Außerhalb der Brennweite einer Sammellinse werden drei farbige Glühlampen so aufgestellt, wie es die Abbildung 171/1 zeigt. Auf der anderen Seite der Linse wird eine weiße Pappe als Bildschirm so lange verschoben, bis ein deutliches Bild der Lampengruppe auf ihr erscheint. Das Bild ist nur in einer bestimmten Entfernung von der Linse scharf auf dem Schirm sichtbar. Beim Vergleich des Bildes mit der Lampengruppe selbst zeigt sich, daß die Lage der Lämpchenbilder

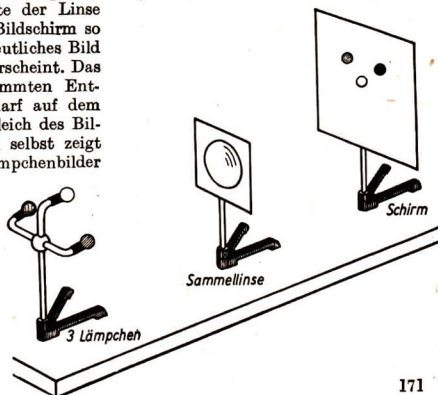
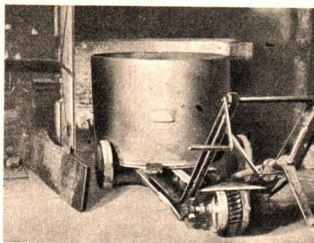


Abb. 171/1. Abbildung durch eine Sammellinse

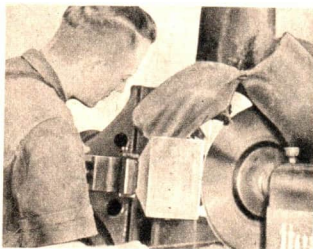




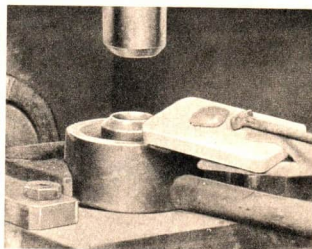
a



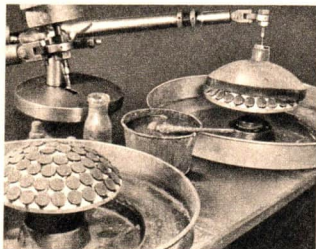
b



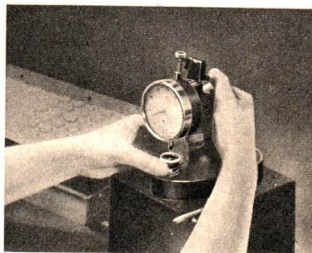
c



d



e



f

Abb. 172/1. Herstellen von Linsen

gegenüber der wirklichen Lage der Lampen vertauscht ist. Das Bild der oberen Lampe befindet sich unten, die linke Lampe erscheint auf dem Schirm oben rechts, die rechte oben links. Es entsteht also ein umgekehrtes Bild des Gegenstandes. Da man es auf einem Bildschirm auffangen kann, bezeichnet man es als ein wirkliches oder reelles Bild.

#### **Sammellinsen erzeugen umgekehrte, reelle Bilder der Gegenstände.**

Die Bildentstehung an Sammellinsen ist auf die Brechung des Lichtes zurückzuführen. Von jedem Punkt eines Gegenstandes gehen Lichtstrahlen aus. Sie werden beim Durchgang durch die Linse so gebrochen, daß sie sich in einem bestimmten Punkt, dem *Bildpunkt*, treffen. Sämtliche Bildpunkte ergeben ein *Bild des Gegenstandes*.

Mit einer Sammellinse soll eine Kerzenflamme abgebildet werden. Man stellt fest, daß jeweils nur in einer bestimmten Entfernung von der Linse ein deutliches Bild entsteht. Ist die Kerze weit von der Linse entfernt, dann entsteht das Bild der Flamme in der Nähe des Brennpunktes und ist viel kleiner als die Flamme selbst. Nähert man die Kerze der Linse, dann rückt das Bild von ihr ab und wird größer. Bei einer bestimmten Entfernung ist das Flammenbild ebenso groß wie die Flamme. Dies ist der Fall, wenn auch die Abstände der Kerze und des Bildschirms von der Linse gleich groß sind. Mißt man diese Abstände, dann kann man feststellen, daß sie jeweils doppelt so groß sind wie die Brennweite der Linse. Nähert man die Kerze der Linse noch mehr, so muß man den Bildschirm immer weiter von der Linse entfernen. Es entstehen vergrößerte Bilder der Kerzenflamme. Ist der Abstand zwischen Gegenstand und Linse kleiner als die Brennweite, so entsteht kein scharfes Bild mehr.

Drei Fälle der Bilderzeugung durch eine Sammellinse sind in der Abbildung 174/1 zusammengestellt. Den Abstand des Gegenstandes von der Linse nennt man die *Gegenstandsweite*, den Abstand des Bildes von der Linse die *Bildweite*.

1. Befindet sich der Gegenstand außerhalb der doppelten Brennweite, so entsteht ein *verkleinertes reelles Bild* zwischen der einfachen und der doppelten Brennweite (Abb. 174/1a).
2. Befindet sich der Gegenstand in der doppelten Brennweite, so entsteht ein *gleich großes reelles Bild* in der doppelten Brennweite (Abb. 174/1b).
3. Befindet sich der Gegenstand zwischen der doppelten und der einfachen Brennweite, so entsteht ein *vergrößertes reelles Bild* außerhalb der doppelten Brennweite (Abb. 174/1c).

#### **4. Fragen und Aufgaben:**

1. Erkläre, warum sich bei einer Sammellinse die Strahlen im Brennpunkt vereinigen!
2. Skizziere den Strahlenverlauf,
  - a) wenn achsenparallele Strahlen auf eine Sammellinse fallen,
  - b) wenn achsenparallele Strahlen auf eine Zerstreuungslinse fallen,
  - c) wenn vom Brennpunkt kommende Strahlen auf eine Sammellinse fallen!
3. Halte eine Sammellinse erst etwa 1 m, dann 2 m und 3 m entfernt von der Tischlampe vor eine Pappe und bilde darauf die Lampe scharf ab! Was beobachtest du?
4. Bestimme angenähert die Brennweite einer Sammellinse! Als Lichtquelle dient eine Glühlampe, die einige Meter entfernt aufgestellt wird. Die Schlitzblende stelle dadurch her, daß du aus einem Karton ein rechteckiges Fenster ausschneidest und durch schwarze Klebstreifen eine Anzahl paralleler Schlitze bildest!

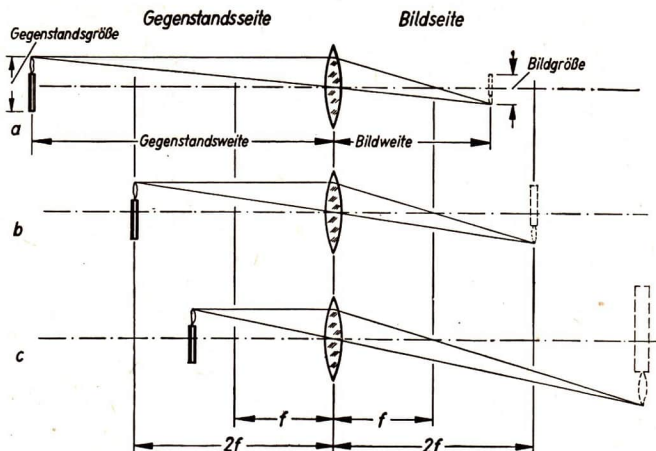


Abb. 174/1. Drei Fälle der reellen Abbildung

a) verkleinerte Abbildung   b) Abbildung in natürlicher Größe   c) vergrößerte Abbildung

5. Bestimme die Brennweite einer Sammellinse, indem du von einem Gegenstand ein gleich großes Bild erzeugst!
6. Bilde mit Hilfe einer Sammellinse ein durchs Fenster sichtbares Haus auf einem weißen Karton ab! Bestimme die Brennweite der Linse! Beachte dabei, daß der Gegenstand sehr weit von der Linse entfernt ist!

## 27. Optische Geräte

**1. Die Abbildung in der fotografischen Kamera.** In der fotografischen Kamera wird durch die Sammellinse ein umgekehrtes reelles verkleinertes Bild auf den Film entworfen, da sich der Gegenstand außerhalb der doppelten Brennweite befindet (Abb. 175/1). Damit das Bild scharf auf dem Film erscheint, muß die Linse je nach der Entfernung des Gegenstandes verschoben werden.

Das Abbilden von Gegenständen durch Sammellinsen ist die Grundlage für die optischen Geräte.

Die Sammellinse des Fotoapparates bezeichnet man als *Objektiv*. Nur bei den einfachsten Apparaten ist das Objektiv eine einzelne Sammellinse. Bei besseren Kameras ist es meist aus mehreren Linsen zusammengesetzt. Ein sehr gutes und bekanntes Objektiv ist das „Zeiss-Biotar“ (Abb. 175/2).

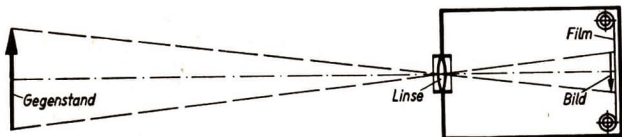


Abb. 175/1. Die Wirkungsweise der fotografischen Kamera

Beim Belichten des Films fallen die Lichtstrahlen durch die Linse und den für kurze Zeit geöffneten Verschuß auf die lichtempfindliche Schicht des Films. Mit Hilfe der Belichtungszeit sowie der Blende kann man die Menge des einfallenden Lichtes regulieren (Abb. 175/3).

Nach der Entwicklung des Films zeigen sich Bilder, deren Helligkeitswerte umgekehrt sind wie in Wirklichkeit. Helle Gegenstände sehen schwarz aus, dunkle Gegenstände dagegen hell. Man bezeichnet ein solches Bild als *Negativ* (Abb. 176/1). Bildet man das Negativ auf Fotopapier ab, so entsteht das *Positiv*, ein Bild, dessen Helligkeitswerte wieder der Wirklichkeit entsprechen (Abb. 176/2).

Der hohe Entwicklungsstand der Fotoapparate, die in unserer volkseigenen Industrie hergestellt werden, ist das Ergebnis mühevoller Arbeit der Techniker und Arbeiter. Die Kameras aus unserer Produktion sind weltbekannt und für den Handel mit anderen Ländern sehr wertvoll. Deshalb sieht der Siebenjahrplan eine starke Erhöhung der Produktion vor. Dadurch wird es möglich sein, noch mehr Rohstoffe und Genußmittel einzuführen.

Bei der Herstellung hochwertiger Apparate muß mit großer Genauigkeit und Sorgfalt gearbeitet werden. Ein Facharbeiter der optischen Industrie muß wie auch in vielen anderen Industriezweigen eine gute Ausbildung und ein großes Können besitzen. Nur dadurch ist es möglich, gute Apparate herzustellen und die Erzeugnisse noch zu verbessern.

Abb. 175/2. Objektiv Zeiss-Biotar, hergestellt vom VEB Carl-Zeiss-Jena

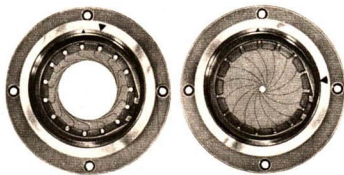


Abb. 175/3. Irisblende. Eine Drehung nach rechts bewirkt eine Verengung der Blendenöffnung.



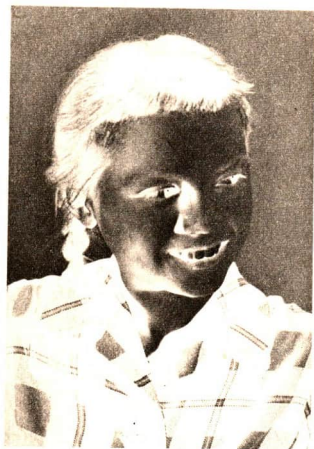


Abb. 176/1. Negativ



Abb. 176/2. Positiv der Abbildung 176/1

**2. Das Auge.** Im menschlichen Auge spielt sich etwa der gleiche Vorgang ab, wie in der fotografischen Kamera. Mit Hilfe der *Augenlinse* (*A*) entstehen auf der *Netzhaut* (*N*) an der Rückwand des Augapfels (*G*) umgekehrte reelle verkleinerte Bilder (Abb. 176/3). Daß trotzdem die Gegenstände als aufrecht stehend empfunden werden, ist eine Folge der Gewöhnung von Kind auf. Die *Regenbogenhaut* oder *Iris* (*J*) wirkt als Blende, die die einfallende Lichtmenge regelt.

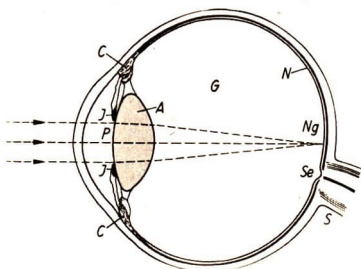


Abb. 176/3. Schnitt durch ein Auge (*S* Sehnerv, *Ng* Netzhautgrube)

Um auf der Netzhaut immer scharfe Bilder hervorzurufen, wird die Augenlinse nicht verschoben, sondern ihre Krümmung durch einen Muskel (*C*) verändert. Die Augenlinse kann dadurch gewölbt werden. Infolgedessen verändert sich ihre Brennweite. Bei Betrachtung naher Gegenstände ist die Linse stark gewölbt, zur scharfen Abbildung ferner Gegenstände nimmt sie dagegen eine schwache Wölbung an (Abb. 177/1).

Durch Krankheit oder im Alter kann die Anpassung der Linse an verschiedene

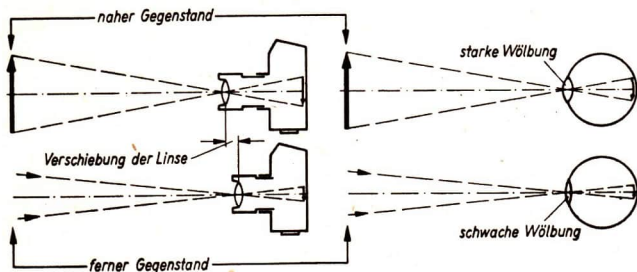


Abb. 177/1. Vergleich der Abbildung eines nahen und eines entfernten Gegenstandes im Auge und in der Kamera

Entfernungen gestört sein. Sie ist beispielsweise nicht mehr elastisch genug. Durch Brillen können derartige Augenfehler behoben werden.

**3. Der Kleinbildwerfer.** Beim *Kleinbildwerfer*, dem *Diaskop* (Abb. 177/2), werden durchsichtige Bilder, sogenannte *Diapositive*, auf einem Bildschirm vergrößert wiedergegeben. Das Diapositiv wird von einer starken Glühlampe durchleuchtet und mit Hilfe eines Objektivs auf dem Bildschirm abgebildet (Abb. 178/1). Damit möglichst viel Licht zum Erzeugen des Bildes zur Verfügung steht, wird vor dem Diapositiv ein *Kondensor* angebracht. Er besteht meist aus zwei Linsen, die das

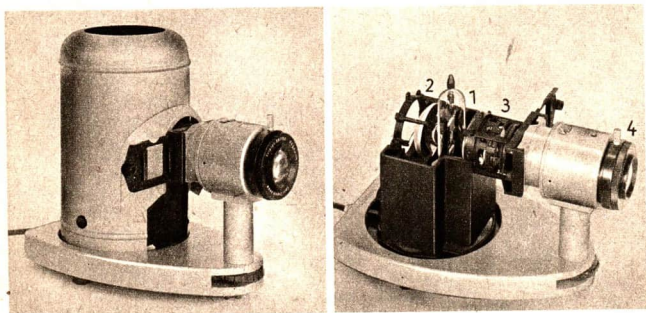


Abb. 177/2. Kleinbildwerfer: 1 Glühlampe, 2 Hohlspiegel, 3 Kondensor, 4 Objektiv

Abb. 178/1. Strahlengang in einem Bildwerfer

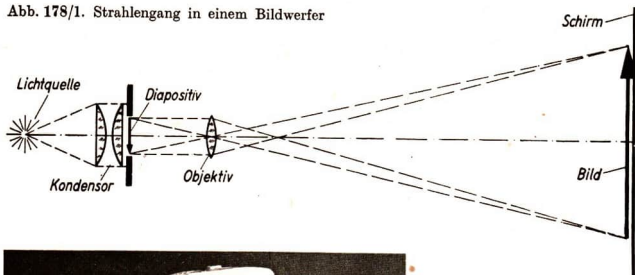


Abb. 178/2. Episkop

Licht zum Objektiv hin sammeln. Damit das Bild auf dem Bildschirm aufrecht steht, muß das Diapositiv seitenvertauscht und umgekehrt durchleuchtet werden.

**4. Das Episkop.** Mit dem *Episkop* kann man undurchsichtige Bilder, wie Abbildungen aus Büchern und Kunstdrucke, durch Beleuchtung und Spiegelung auf einem Schirm abbilden (Abb. 178/2). Starke Lichtquellen erhellen das Bild. Die von ihm reflektierten Strahlen werden von einem ebenen Spiegel, der um  $45^\circ$  geneigt ist, zum Objektiv gelenkt und von diesem auf den Schirm geworfen (Abb. 178/3). Weil von dem Papierbild nur ein geringer Teil des Lichtes zum Spiegel reflektiert wird, ist die Helligkeit des Bildes beim Episkop geringer als beim Diaskop, dem Kleinbildwerfer.

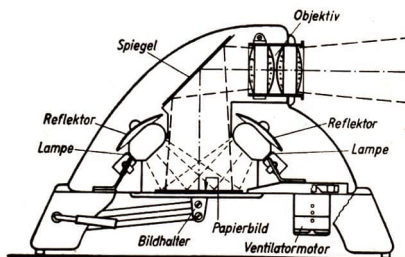
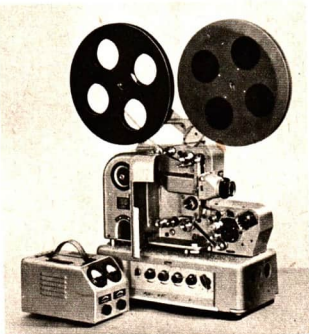


Abb. 178/3. Die Wirkungsweise des Episkops

Abb. 179/1. Schmalfilmvorführgerät  
des VEB Carl-Zeiss-Jena

5. Filmvorführgeräte. Der Aufbau der Filmvorführgeräte ist dem des Kleinbildwerfers ähnlich (Abb. 179/1). Die Bilder des Films werden schnell und ruckweise an einem Bildfenster vorbeigeführt. Während das Bild weiter-  
rückt, wird der Strahlengang jedesmal durch eine rotierende Scheibe unterbrochen. Wegen der raschen Bildfolge wird nicht mehr jedes einzelne Bild vom Auge gesondert erfaßt, sondern es entsteht der Eindruck eines bewegten Bildes. Beim Kinofilm zum Beispiel werden in einer Sekunde 24 Bilder am Bildfenster vorbeibewegt.



6. Die Lupe. Betrachtet man durch eine Sammellinse einen Gegenstand, der innerhalb der Brennweite liegt, dann erscheint er größer und aufrecht stehend. Es werden dadurch Einzelheiten sichtbar, die mit bloßem Auge nicht zu erkennen sind. Ein solches Vergrößerungsglas wird als Lupe bezeichnet (Abb. 179/2). Der Uhrmacher sucht damit zum Beispiel Fehler in den Werken der Armband- oder Taschenuhren. Der Agronom verwendet eine Lupe zur Untersuchung des Saatgutes. In Webereien wird die Fadenzähllupe (Abb. 179/3) verwendet, um die Güte der Gewebe zu prüfen.

lauptaufgabe die  
teinschen Gravi-  
rch Messung der  
im Schwerfeld  
An dieser Expe-  
ich teil mit der  
en der Sonnen-  
men. Wir hatten  
ste in Takend-  
aufgestellt, ein  
in etwa 110  
an einem  
ionen, etwa  
Der Tag  
aufgehend,  
as Unterneh-  
von ab, ob  
Minuten  
ter günstig o-  
sogenannten ersten Kontakt, dem  
Zeitpunkt nämlich in dem die  
Mond... die hebe  
von... 2 Stunden... ab-  
... illität, die um...  
... let wurde. Dann zeigte  
... Westen eine kleine Wolke,  
... ke, die vom Winde nach Ost  
... etrieben wurde und sich zu  
... sehends vergrößerte. Es begann ein  
... nerverregender Wettlauf zwis-  
... schen der heranziehenden Wol-  
... kenlücke und dem Monde, der  
... mehr und mehr über die Son-  
... scheibe schob und die Erd-  
... dunkelte. Etwa 5 Minuten  
... der Totalität war das  
... schieden. Die letzte  
... ar in einer Finster-  
... rechner  
... nis total, und die Sonnenkorona  
... leuchtete auf (Abb. 4). Am Ost-  
... rand der Sonne zeigte sich eine  
... große Protuberanz (Abb. 3), und  
... sofort begannen wir zu  
... nahmen, die alle dank  
... gegangenen exzerzimal  
... gen vorzüglich gelange  
... mir zu bedienende  
... (Abb. 2) bestand aus  
... chse, an der drei k  
... hre mit Spektrograt  
... cht waren. Die mit  
... ment gewonnenen  
... me wurden na  
... sehr sorgfältig  
... gaben mir die  
... mit den ve  
... emen, die im  
... te mit der ph  
... ur der Sonnenk  
... ten, vertraut zu m-  
... aus jedem Bild der Si  
... st deutlich zu erken  
... äußersten Au-  
... genatmosphäre de  
... enig geklärt  
... Fragen:  
... besteht  
... koron  
... wodor  
... zum L  
... ager

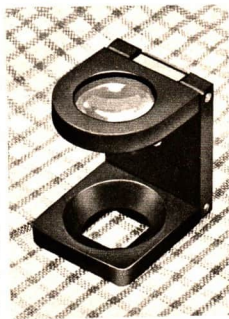


Abb. 179/2. Lupe

Abb. 179/3. Fadenzähllupe



Verwendet man Sammellinsen verschiedener Brennweiten als Lupen und vergleicht ihre Wirkungen, so stellt man fest, daß die Linsen mit kurzer Brennweite stärker vergrößern als die mit langer Brennweite.

**Eine Lupe vergrößert um so stärker, je kleiner ihre Brennweite ist.**

Das stark vergrößerte aufrechte Bild, das man erkennt, wenn man einen Gegenstand durch eine Lupe betrachtet, kann nicht auf einem Bildschirm aufgefangen werden. Solche Bilder nennt man scheinbare oder virtuelle Bilder.

## **7. Fragen und Aufgaben:**

1. Die Eintrittsstelle des Sehnervs in das Auge ist gegen Lichtreize unempfindlich. Zeichne auf ein Blatt Papier in einem gegenseitigen Abstand von etwa 10 cm zwei Kreuze, lege das Papier vor dich auf den Tisch und betrachte das rechte Kreuz mit dem linken Auge oder das linke Kreuz mit dem rechten Auge! Es wird abwechselnd das eine der beiden Kreuze sichtbar.
2. Richte eine Plattenkamera aus einiger Entfernung gegen das Fenster! Setze die Mattscheibe ein und betrachte das Mattscheibenbild! Stelle auf das Fensterkreuz scharf ein! Schließe die Blende allmählich! Welchen Einfluß hat dies auf die Helligkeit und auf die Schärfe der Bilder der vor und hinter dem Fenster sichtbaren Gegenstände?
3. Beobachte auf die gleiche Weise, wie sich beim Scharfeinstellen auf verschiedene Entfernungen der Abstand zwischen dem Objektiv und dem Mattscheibenbild verändert!
4. Welcher der in Abbildung 174/1 zusammengestellten Fälle findet auf die fotografische Kamera und auf das Auge Anwendung?
5. Worin unterscheiden sich die Sammellinsen im Auge und in der Kamera?
6. Welche Teile dienen bei der Kamera und beim Auge zum Auffangen des Bildes?
7. Wie geht das Scharfeinstellen bei der Kamera und beim Auge vor sich?
8. Welche Wirkung hat das Abblenden beim Auge und bei der Kamera?
9. Beleuchte ein Diapositiv von hinten mit einer Glühlampe, einer Taschenlampe oder einer Kerze! Bilde das Diapositiv mit Hilfe einer Sammellinse vergrößert ab! Zeige, wie durch Einfügen einer Sammellinse als Kondensor zwischen Lampe und Diapositiv das Bild auf der Wand heller und gleichmäßiger ausgeleuchtet wird!
10. Nenne die wichtigsten Teile des Bildwerfers! Welche Aufgaben haben sie im einzelnen zu erfüllen?
11. Wodurch unterscheidet sich ein Filmvorführgerät von einem Bildwerfer?
12. Welchen Vorteil und welchen Nachteil hat ein Episkop gegenüber den anderen Projektionsapparaten?

## Namen- und Sachverzeichnis

Abscheren 49  
 Abscherfestigkeit 43  
 Adhäsion 75f.  
 Aggregatzustand 82, 114, 116, 125  
 Anomalie des Wassers 105  
 Aufschlännen 68, 70, 73  
 Ausdehnung, räumliche 8  
 Auspufftopf 146  
 Außenthermometer 86  
 Autogenschweißen 100

Balkenwaagen 29  
 Beleuchtung, direkte 157  
 —, indirekte 157  
 Biegefestigkeit 42f.  
 Biegen 49  
 Biegung 34, 36  
 Bieungselastizität 34  
 Bild 161f.  
 —, reelles 173  
 Bildwerfer 161  
 Bimetallstreifen 104  
 Biotar 174  
 Blattfeder 36ff.  
 Brechung 163ff.  
 Brechungsgesetz 164f.  
 Brennpunkt 169  
 Brennstoff 89ff.  
 Brennweite 169  
 Briefwaage 31  
 Bruchgramm 29  
 Brückenwaage 30  
 Brutschrank 98  
 Buna 47  
 Bunsenbrenner 96  
 Buntmetall 45f.

*Celsius* 185

Dampferzeuger 123  
 Dauerregen 131

Dehnungsausgleicher 102  
 Dekantieren 72f.  
 Destillation 124  
 Dezimalwaage 30  
 Dezimeter 14  
 Dezitonne 28  
 Diaskop 177  
 Dosenlibelle 60  
 Drahtglas 47  
 Drillung 35f.  
 Druck 35  
 Drücken 49  
 Druckfestigkeit 42f.  
 Druckluft 79  
 Druck-Schraubenfedern 37f.

Echo 145, 150  
 Echolot 150  
 Eigenschwingung 147f.  
 Eindampfen 73  
 Einfallslot 159  
 Eisen 44f.  
 Eisenmetalle 45  
 Eiskristalle 129, 132  
 Elastizität 34, 38f., 44f.  
 Elastizitätsgrenze 36  
 Elektroschweißen 100  
 Entfernungsmessung 150  
 Episkop 161, 178  
 Erstarren 114, 117  
 Erstarrungspunkt 114  
 Erstarrungswärme 117  
 Etagenheizung 97

Fadenzählröhre 179  
 Fahrradpumpe 80  
 Feder 36f.  
 Federwolken 130  
 Fehler, objektive 17  
 —, persönliche 16  
 Feinmeßgerät 19  
 Feinmeßschraublehre 22

Festigkeit 41, 44f.  
 Feuchtigkeit 128  
 Fieberthermometer 86  
 filtrieren 72f.  
 Fixpunkt 85  
 Flachglas 46  
 Formänderung  
 Formung, spanabhebende 49  
 —, spanlose 49, 51, 118  
 Fotoapparat 161, 174  
 Futterdämpfer 98

Gaskocher 95  
 Gasofen 95  
 Gefäße, verbundene 57f., 61, 65, 76  
 Geräusch 140ff.  
 Gesenk 51  
 Gesetz, physikalisches 13  
 Gewitterwolke 129  
 Gießen 49, 119  
 Glas 46  
 Gliedermaßstab 14  
 Gramm 28  
 Grauguß 45  
 Graupel 131f.  
 Grundeigenschaften 10  
 Grundwasser 65  
 Grundwasserbereitung, künstliche 66  
 Gummi 47

Haarröhrchen 76  
 Hagel 131ff.  
 Halbschatten 154  
 Hämmern 51  
 Härte 43ff.  
 Haufenwolken 129  
 Hektoliter 24  
 Herd, elektrischer 96  
 Hohlglas 46  
 Hohlmaße 25

- Hörgrenze 149  
 Hörrohr 146  
 Infrarotlampen 99  
 Kältemischung 104, 117  
 Kapillare 76  
 Kapillarität 76  
 Kegelfedern 36ff.  
 Kehlkopf 148  
 Kernschatten 154  
 Kilogramm 28  
 Kilometer 14  
 Klang 140  
 Kleinbildwerfer 177  
 Knall 140, 142  
 Kochherd 95  
 Kohäsion 75f.  
 Kohäsionskraft 116  
 Kondensat 123  
 Kondensationspunkt 122  
 Kondensationswärme 122  
 Kondensieren 122, 124, 126  
 Kondensor 177  
 Kork 47  
 Korkbohrer 54  
 Körper, beleuchtete 152  
 —, physikalische 6, 9f.  
 —, selbstleuchtende 151  
 Krümelstruktur 134f.  
 Kubikmeter 23f.  
 Kubikmillimeter 23  
 Kubikzentimeter 23f.  
 Kühlrohr 123  
 Kunstharze 47  
 Kupfer 46  
 Landregen 131  
 Längenänderung 102  
 Laufgewichtswaagen 31  
 Legierung 46  
 Leichtmetalle 45  
 Lichtquelle 151  
 Liebigkühler 123  
 Linse 169  
 Liter 23f.  
 Lochen 52  
 Lösen 68ff., 73  
 Löslichkeit 69  
 Lösung 115  
 Lösungsmittel 68, 70f., 124  
 Lösungswärme 117  
 Luftbereifung 80  
 Luftfeuchtigkeit 132  
 Luftkühlung 109  
 Lupe 189  
 Maßeinheit 15  
 Maßzahl 15  
 Mensur 25  
 Meßband 15  
 Messen 15  
 Meßfehler 15, 17  
 —, persönlicher 17  
 Meßgefäß 24  
 Meßgläser 25  
 Messing 46  
 Meßkluppe 21  
 Meßreihe 17  
 Meßzylinder 25f.  
 Metallegierung 115  
 Meter 14  
 Milligramm 28  
 Milliliter 24  
 Millimeter 14  
 Minimum-Maximum-Thermometer 86  
 Mittelwert der Meßergebnisse 17f.  
 Mittelpunktstrahlen 168  
 Moleküle 74  
 Mondfinsternis 155  
 Muffelofen 97  
 Nachhall 145f.  
 Naturgesetz 159f.  
 Nebel 132  
 Neigungswaage 31  
 Nichteisenmetalle 45  
 Niederschläge 130ff.  
 Nieselregen 131  
 Nonius 21  
 Objektiv 174  
 Ofen, elektrischer 95  
 Ohr 148  
 Parallelstrahlen 169  
 Patentventil 81  
 Plast 47f.  
 Plastizität 40f., 44  
 Platzregen 131, 134  
 Pressen 49  
 Preßglas 46  
 Preßluft 79  
 Quellwasser 65  
 Rauhreif 132  
 Raum 8f.  
 Rauminhalt 23  
 Reflexion 145ff.  
 —, diffuse 162  
 Reflexionsgesetz 159f.  
 Regen 130, 132, 134  
 Reibung 90  
 Reibungswärme 90  
 Resonanz 147f.  
 Röhrenlibelle 59  
 Rotguß 46  
 Sammellinse 169, 173  
 Sättigungsmenge 128f.  
 Schäfchenwolken 130  
 Schalenwaage 29  
 Schall 140  
 Schalldämpfung 144f.  
 Schallquelle 140ff.  
 Schallstärke 142  
 Schalltrichter 146  
 Schallverstärkung 146  
 Schallwellen 143  
 Schaumglas 47  
 Schere 29  
 Scherfestigkeit 42  
 Schichtwolken 130  
 Schieblehre 19ff.  
 Schleusen 61f.  
 Schleusentreppe 62  
 Schmelzen 114ff.  
 Schmelzpunkt 114  
 Schmelzwärme 116f.  
 Schmiedefeuer 99  
 Schmieden 49f.  
 Schnee 131f.

- Schneekristalle 131  
 Schneiden 51  
 Schönwetterwolken 129  
 Schraubenfedern 36  
 Schrumpfung 117  
 Schweißen 100  
 Schwingung 139  
 Schwingungsweite 142  
 Schwingungszahl 139  
 Sieden 126  
 Siedepunkt 121f., 126  
 Sonnenfinsternis 155  
 Speicheröfen, elektrische 95  
 Spiegel 158, 161f.  
 Spiegelbild 160f.  
 Spiralfedern 36ff.  
 Sprachrohr 146  
 Sprödigkeit 41, 44f.  
 Sprühregen 131  
 Stahl 44f.  
 Stimmbänder 148  
 Stoff, durchsichtiger 152  
 —, undurchsichtiger 152  
 —, durchscheinender 152  
 Stoffmenge 28  
  
 Tafelwaage 29f.  
 Talsperre 65  
 tarieren 31  
 Tau 132  
 Technische Thermometer 87  
  
 Temperatur 84ff.  
 Temperaturänderung 102  
 Thermometer 84ff.  
 Thermosbehälter 113  
 Tiefbrunnen 65  
 Tiefentaster 21  
 Ton 139ff.  
 Tonne 28  
 Torsion 35  
 Torsionselastizität 35  
 Treiben 51  
  
 Ultraschall 149f.  
 Urmeter 14  
  
 Ventil 81  
 Verdampfen 121ff., 126  
 Verdampfungswärme 122, 126  
 Verdrehfestigkeit 42f.  
 Verdunsten 73, 124ff.  
 Verdunstungswärme 125f.  
 Verwittern der Gesteine 118  
 Volumen 23  
  
 Waagen 28ff.  
 Wägesatz 28f.  
 Wägestück 28ff.  
 Walzen 49, 51  
 Wärmeausdehnung 102  
 Wärmeaustauscher 123  
  
 Wärmegeräte, elektrische 91  
 Wärmeleiter 108  
 Wärmeleitung 108, 113  
 Wärmeisolierung 108  
 Wärmeleitfähigkeit 106, 108  
 Wärmemenge 88  
 Wärmequelle 89  
 Wärmestrahlung 111f.  
 Wärmeströmung 109f.  
 Warmwasserheizung 109  
 Wasserleitung 65f.  
 Wasserkühlung 110  
 Wasserwaage 59  
 Werkstoffprüfung 149  
 Wetter 126f.  
 Wetterbericht 126f.  
 Wettervorhersage 127  
 Wind 110  
 Wolken 129ff.  
  
 Zähigkeit 41, 44  
 Zentiliter 24  
 Zentimeter 14  
 Zentralheizung 97  
 Zerstreungslinsen 171  
 Ziehen 49  
 Zimmerthermometer 86  
 Zug 35  
 Zugelastizität 35  
 Zugfestigkeit 42f.  
 Zug-Schraubenfeder 38



## Quellenverzeichnis der Abbildungen

Werkfoto VEB Bodenbearbeitungsgeräte Leipzig: Abbildung 88/1. Braunkohlenarchiv: Abbildung 108/2. Werner Bunschuh, Berlin: Abbildungen 24/1, 25/1, 31/2, 37/1, 56/3, 86/1, 87/3, 87/5, 97/1, 123/2, 131/1. Werkfoto VEB Dämpferbau Lommatsch: Abbildung 98/3. Deutsches Amt für Maß und Gewicht, Berlin: Abbildung 14/1. Dewag-Foto, Berlin: Abbildungen 50/2, 86/2. Werkfoto VEB Elektrokohe Lichtenberg, Berlin-Lichtenberg: Abbildung 98/1. Ffio Bildstelle Herbert Philipp, Lutherstadt Wittenberg: Abbildung 40/1. Kurt Glas, Brocken: Abbildung 129/1, 129/2, 130/1, 130/2, 130/3. Max Ippenbach, Berlin: 129/1. Bert Kilian, Berlin: Abbildung 80/1. Albert Kolbe, Berlin: Abbildung 31/1. Helmut Körner, Dresden: Abbildung 178/2. Heinz Krüger, Berlin-Falkensee: Abbildungen 35/1, 38/2, 58/3, 60/2. Photokino Krütgen, Halle: Abbildungen 30/1, 128/1, 140/1, 170/1, 179/2. Werkfoto VEB Meßgeräte- und Armaturenwerk Karl Marx, Magdeburg: Abbildung 87/2. Helmut Mucke, Dresden: Abbildungen 182/1, 163/2, 164/1, 164/2, 165/1, 166/1, 176/1, 176/2. Produktionsgenossenschaft Fototechnische Werkstätten, Berlin: 28/1, 29/1, 36/1, 87/4, 177/2. Bildstelle Reichsbahndirektion Halle (Saale): Abbildung 103/1. Max Seifert Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin: Abbildungen 5/1, 8/1, 15/1, 22/1, 24/2, 28/2, 30/2, 35/3, 37/2, 39/1, 43/1, 47/1. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin, Bildarchiv: Abbildungen 42/2, 49/1, 119/1, 153/2. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin, „Werkstoffkunde für Metallberufe“: Abbildung 42/2. Werkfoto VEB Carl Zeiss Jena: Abbildungen 172/1, 175/2, 175/3, 179/1, 179/3. Zentralbild, Berlin: Abbildungen 6/1, 7/1, 7/2, 9/2, 45/1, 48/1, 50/1, 51/1, 62/1, 65/1, 68/1, 70/1, 72/4, 73/1, 79/1, 79/2, 90/1, 91/2, 93/1, 93/2, 94/2, 96/2, 98/2, 99/1, 99/2, 99/3, 108/1, 134/1, 135/1, 136/1, 137/1, 138/1, 146/1, 147/1. Zentrale Bildstelle der Deutschen Reichsbahn, Berlin: Abbildungen 89/2, 151/1.

Die Abbildungen 131/2 a bis d wurden hergestellt nach Mikrophotogrammen von W. A. Bentley, „Die Naturwissenschaften“ 18 (1930), Heft 11.

