LEHRBUCH DER PHYSIK

SIEBENTES SCHULJAHR

LEHRBUCH DER PHYSIK

für das siebente Schuljahr

Optik – Mechanik – Meteorologie

Mit 213 Abbildungen

VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN
1952

Herausgegeben von Georg Sprockhoff

Den Abschnitt Meteorologie bearbeitete Dr. Wolfgang Warmbt

Zeichnungen von Kurt Dornbusch

Bestell-Nr. 6042 2., durchgesehene Auflage · 381.–630. Tausend · Lizenz Nr. 203 1000/52–AIc–2/52 II
Satz: VEB Leipziger Druckhaus, Leipzig (III/18/203)
Rotationskupfertiefdruck: VEB Graphische Werkstätten Leipzig (III/18/97)

Inhaltsverzeichnis

I. Vom Licht (Optik) 5

§ 1. Die Ausbreitung des Lichtes — Licht und Schatten 6

§ 2. Die Zurückwerfung des Lichtes — Ebene Spiegel 12

§ 3. Gewölbte Spiegel 16

§ 4. Die Lichtbrechung 22

§ 5. Optische Linsen 27

§ 6. Der Sehvorgang 31

§ 7. Die photographische Kamera 38

§ 8. Lichtmessung 41

§ 9. Bildwerfer 44

§ 10. Optische Geräte für Nah- und Fernbeobachtung 47

§ 11. Das Sonnenlicht und die Farben 52

II. Von den Kräften und den Bewegungen (Mechanik) 55

§ 12. Gewicht und Masse eines Körpers 56

§ 13. Von der Schwerkraft und vom Schwerpunkt 61

§ 14. Vom Druck in Flüssigkeiten 66

§ 15. Der Auftrieb 75

§ 16. Die Luft als Körper 80

§ 17. Vom Luftdruck und seinen Wirkungen 84

§ 18. Der Einfluß des Luftdruckes auf den Siedevorgang 91

§ 19. Hebel und Hebelgesetze 94

§ 20. Hebelwaagen 99

§ 21. Rollen und Flaschenzüge 103

§ 22. Wellrad, schiefe Ebene, Keil und Schraube 108

§ 23. Von der Bewegung der festen Körper 116

§ 24. Einfache und zusammengesetzte Maschinen — Vom Fahrrad und von der Nähmaschine 122

§ 25. Atome, Moleküle - Molekularkräfte 127

§ 26. Arbeit und Leistung — Die Goldene Regel der Mechanik 131

III. Wetterkunde (Meteorologie) 136

§ 27. Die Elemente des Wetters 137

§ 28. Die Wettervorhersage 145

Sachverzeichnis 149

Quellenverzeichnis der Abbildungen 152

I. Vom Licht (Optik)

Abb. 1
Assistentin bei einer Untersuchung an einem im volkseigenen Carl-Zeiss-Werk in Jena hergestellten Mikroskop

Für die Forschung ist das Mikroskop ein unentbehrliches Hilfsmittel. Wir können mit seiner Hilfe Körper erkennen, die uns sonst wegen ihrer Kleinheit unsichtbar bleiben. Sehr viele Entdeckungen, die für die menschliche Gesellschaft von größter Bedeutung geworden sind, wurden erst durch das Mikroskop möglich.
Abb. 1 zeigt ein hochentwickeltes binokulares Mikroskop[1], das vom volkseigenen Carl-Zeiss-Werk in Jena geschaffen wurde. Die Konstruktion solcher hochwertiger Geräte und das ständige Bemühen um ihre Weiterentwicklung setzt die genaue Kenntnis und das fortgesetzte Studium der Umstände voraus, von denen die Ausbreitung des Lichtes abhängt. Auch wir werden uns in diesem Kapitel mit den Grundzügen der Lehre vom Licht, der *Optik*, vertraut machen und dabei das Mikroskop kennenlernen.

---

[1] bis (lat.) = zweimal, oculus (lat.) = Auge, binokular = für zwei Augen
mikrós (griech.) = klein, skopeín (griech.) = sehen

§ 1. Die Ausbreitung des Lichtes – Licht und Schatten

1. Lichtquellen. In einem fensterlosen Keller, in einem Bergwerk und in anderen Räumen, in die kein Tageslicht dringt, können wir die Hand nicht vor den Augen sehen. Erst wenn irgendein Licht brennt, erkennen wir die Gegenstände, die uns umgeben. Zum Sehen brauchen wir Licht. Es muß also ein Körper vorhanden sein, der Licht ausstrahlt. Einen solchen Körper bezeichnet man als *Lichtquelle* oder als leuchtenden, noch besser als *selbstleuchtenden Körper*. Alle anderen Körper, die Licht nicht selbst erzeugen, nennt man *nichtleuchtende Körper*. Man kann sie nur dann sehen, wenn sie von einer Lichtquelle bestrahlt werden und wenn das von ihnen zurückgeworfene Licht unser Auge trifft. Sie werden dadurch zu beleuchteten Körpern.

Es gibt von Natur aus nur verhältnismäßig wenige selbstleuchtende Körper. Die weitaus wichtigste Lichtquelle ist für uns die *Sonne*, die der Erde Licht und Wärme zustrahlt. Von den Gestirnen sind die Fixsterne ebenfalls selbstleuchtend; sie sind weit entfernte Sonnen. Die Planeten dagegen und der Mond leuchten selbst nicht; wir sehen sie, weil sie von der Sonne beleuchtet werden.

Die wichtigste *künstliche Lichtquelle* ist die elektrische Glühlampe. In Orten, die eine Gasanstalt besitzen oder an eine Ferngasleitung angeschlossen sind, ist als Straßenbeleuchtung auch noch das Gasglühlicht anzutreffen. Dort, wo elektrischer Strom und Leuchtgas nicht zur Verfügung stehen, wird heute noch die Petroleumlampe, aushilfsweise auch die Stearinkerze verwendet. In allen genannten Lichtquellen sind Stoffe vorhanden, die bei genügend hoher Temperatur Licht aussenden. — Nenne andere künstliche Lichtquellen!

Wir halten zwischen eine brennende Kerze und unser Auge nacheinander eine klare Glasscheibe, ein Glas mit Wasser, ein Stück Cellophan, eine Igelitplatte, eine Milchglasscheibe, einen Bogen Seidenpapier, einen Bogen Packpapier, eine Papptafel, eine Holzplatte und andere Körper. Durch einige dieser Körper können wir die Kerze klar und deutlich sehen. Wir schließen daraus, daß sie das Licht ungehindert oder wenigstens nahezu ungehindert hindurchtreten lassen. Solche Körper sind *durchsichtig*. Zu ihnen gehören: Glas, Cellophan, Wasser, Alkohol, Benzin, Luft. Durch andere Körper sehen wir wohl noch einen hellen Schein, können aber die Kerze nicht mehr erkennen. Wir folgern daraus, daß das Licht diese Körper nur noch teilweise durchdringt und dabei zerstreut wird. Körper dieser Art heißen *durchscheinende Körper*. Als Beispiele sind zu nennen: Mattglas, Seidenpapier, Milch, Nebel. Viele Körper lassen überhaupt kein Licht hindurchtreten; sie sind *undurchsichtig*, z. B. Holz, Pappe, Eisen, Steine. — Nenne weitere Beispiele!
Zu beachten ist, daß die Lichtdurchlässigkeit stark von der Dicke der Körper abhängt. So gelangt auf den Grund tiefer Gewässer (Meere) kein Tageslicht mehr. Andererseits kann man manche Stoffe, die als undurchsichtig bekannt sind, so dünn auswalzen, daß Licht hindurchdringt. Dünnes Blattgold schimmert im durchscheinenden Licht grün, Silberfolie blau.

2. Lichtstrahlen. Wir beobachten, wie die Sonne durch das Fenster in einen halbdunklen Raum scheint (Abb. 2). Alle Staub- und Rauchteilchen, die vom Licht getroffen werden, sind hell beleuchtet und kennzeichnen als einzelne Lichtpunkte

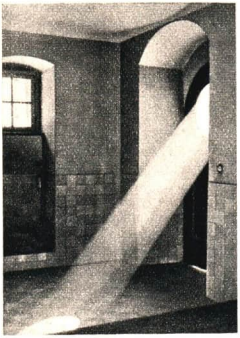


Abb. 2. Sonnenlicht fällt in einen halbdunklen Hausflur. Die beleuchteten Staubteilchen lassen die Geradlinigkeit der Lichtbahn erkennen.

Abb. 3. Das Sonnenlicht tritt hinter einer Wolke hervor. An den in der Luft schwebenden Staubteilchen und Wassertröpfchen werden die Schattengrenzen sichtbar. Dort, wo sie sich rückwärts verlängert schneiden, steht die Sonne.

genau die Bahn des Lichtes. Wir sehen, daß sich das Licht geradlinig ausbreitet. Dieselbe Beobachtung machen wir, wenn wir das Sonnenlicht hinter einer Wolke hervortreten sehen (Abb. 3). Auch dabei zeichnen die vom Sonnenlicht getroffenen, in der Luft schwebenden Staub- und Rauchteilchen sowie Wassertröpfchen die geradlinige Bahn des Lichtes vor dem dunklen Hintergrund deutlich ab.

Wir sprechen deshalb von *Lichtstrahlen*.

Das Licht breitet sich geradlinig aus.

3. Der Schatten. Wir bringen einen undurchsichtigen Körper *K*, etwa eine kreisförmige Pappscheibe, in den Strahlengang einer punktförmigen Lichtquelle *L*. Als Lichtquelle benutzen wir eine Taschenlampe oder eine Fahrradlampe. Die dem Licht zugekehrte Seite des Körpers ist hell beleuchtet, die dem Licht abgekehrte bleibt dunkel (Abb. 4). Sie liegt im *Eigenschatten* des Körpers. Auf einem hinter den Körper gehaltenen weißen Papierschirm entsteht ebenfalls ein scharf be-

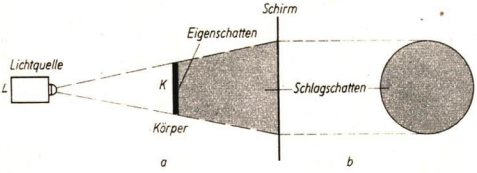


Abb. 4. Schattenbildung bei punktförmiger Lichtquelle. Es entsteht ein scharfbegrenzter Schlagschatten.

a) Seitenansicht

b) Schattenbildung auf dem Schirm

grenzter Schatten, der *Schlagschatten*. Den gleichen Namen gibt man dem Raum, der zwischen Körper und Schirm liegt und nicht von den von L herkommenden Lichtstrahlen getroffen wird.

Hinter einem undurchsichtigen Körper entsteht ein Schatten.

Wir beleuchten nunmehr den Körper K mit zwei punktförmigen Lichtquellen L_1 und L_2 (Abb. 5). Der Teil des Schlagschattens, in den von keiner der beiden Lichtquellen her Strahlen dringen, heißt der *Kernschatten*. Er ist von zwei weniger dunklen *Halbschatten* eingeschlossen. In diese gelangen nur Lichtstrahlen von einer der beiden Lichtquellen.

Wiederhole den Versuch, indem du auf den Körper das Licht einer großen, kugelförmigen elektrischen Lampe fallen läßt! Bei einer ausgedehnten, nicht mehr punktförmigen Lichtquelle ist der Kernschatten von einem nach außen hin allmählich heller werdenden Halbschatten umgeben. Die scharfen Schattengrenzen, wie sie in Abb. 4 und 5 auftreten, sind nicht mehr vorhanden (Abb. 6). Auch hinter durchscheinenden Körpern entstehen Schatten, da nur ein Teil des auffallenden Lichtes den Körper durchdringt.

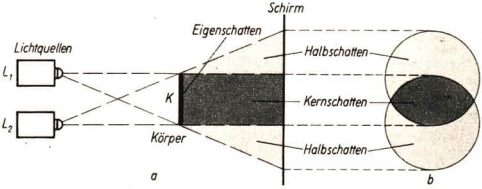


Abb. 5. Kernschatten und Halbschatten bei zwei punktförmigen Lichtquellen. Die Halbschatten sind gegen den Kernschatten und das Helligkeitsgebiet scharf abgesetzt.
a) Seitenansicht
b) Schattenbildung auf dem Schirm

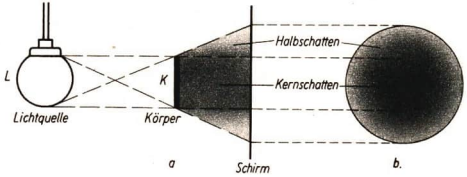


Abb. 6. Kernschatten und Halbschatten bei einer ausgedehnten Lichtquelle. Der Halbschatten nimmt nach außen hin an Helligkeit zu. Die Schattengrenzen treten nicht scharf hervor.
a) Seitenansicht
b) Schattenbildung auf dem Schirm

4. Mond- und Sonnenfinsternis. Die Erde bewegt sich auf einer nahezu kreisförmigen Bahn um die Sonne. Sie wird dabei vom Monde begleitet, der seinerseits die Erde umkreist. Da Erde und Mond von den Sonnenstrahlen getroffen werden, werfen sie beide einen Schattenkegel in den Weltenraum (Abb. 7a). Beim gemeinsamen Umlauf beider Himmelskörper um die Sonne kann es geschehen, daß der eine in den Schatten des anderen tritt. Dies ist immer der Fall, wenn alle drei Himmelskörper in einer Richtung liegen (Abb. 7b und c). Wir sprechen dann von einer *Mond-* bzw. einer *Sonnenfinsternis*. Doch liegen die Bahnen der Erde und des Mondes nicht in einer Ebene, sonst müßte es bei jedem Mondumlauf einmal zu

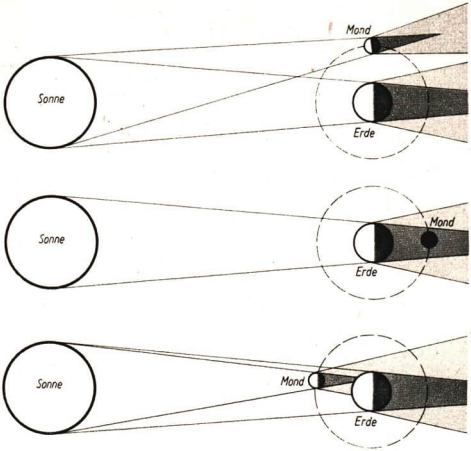


Abb. 7. Mond- und Sonnenfinsternis

Die Zeichnung ist nicht maßgerecht. Erde und Mond sind übertrieben groß gezeichnet.

a) Seitliche Stellung des Mondes

Die Schatten der Erde und des Mondes sind getrennt voneinander.

b) Mondfinsternis

Der Kernschatten der Erde fällt auf den Mond

c) Sonnenfinsternis

Der Kernschatten des Mondes fällt auf die Erde.

einer Mond- und einer Sonnenfinsternis kommen. Beide Erscheinungen treten aber verhältnismäßig selten ein; dies gilt insbesondere für die Sonnenfinsternisse.

Eine **Mondfinsternis** ist nur dann möglich, wenn der Mond in den Schatten der Erde tritt (Abb. 7b). Die Mondfinsternis ist vollständig oder *total*, wenn der Mond ganz im Kernschatten der Erde steht. Sie ist unvollständig oder *partiell*, wenn der Kernschatten der Erde nur einen Teil des Mondes trifft.

Fällt dagegen der Schatten des Mondes auf die Erde, so sprechen wir von einer **Sonnenfinsternis** (Abb. 7c). Eine Sonnenfinsternis kann nur bei Neumond stattfinden. Diejenigen Orte der Erde, die sich im Kernschatten des Mondes befinden, haben eine totale Sonnenfinsternis. Für die Orte, die nur vom Halbschatten des Mondes getroffen werden, ist die Sonnenfinsternis partiell; es wird nur ein Teil der Sonne verdeckt.

Das Wort *Sonnenfinsternis* darf nicht falsch aufgefaßt werden, als ob die Sonne nicht mehr scheine; sie leuchtet nach wie vor, nur können ihre Strahlen infolge der Stellung des Mondes die Erdoberfläche nicht erreichen. Die Erde liegt im Schatten des Mondes; es müßte eigentlich „Erdfinsternis" heißen.

5. Die Lochkamera. Wir bauen uns ein einfaches Gerät, an dem wir die geradlinige Ausbreitung des Lichtes zur Erzeugung von Bildern ausnutzen. Über das eine Ende einer kurzen, an beiden Seiten offenen Pappröhre kleben wir einen Deckel aus schwarzem Papier. Wir bohren durch seine Mitte mit einer Stopfnadel ein Loch, so daß eine *Lochblende* entsteht. In die Röhre schieben wir eine zweite, deren vordere Öffnung durch ein darübergeklebtes Stück Seiden- oder Pergamentpapier verschlossen ist. Man nennt die so hergestellte Vorrichtung eine *Lochkamera*.

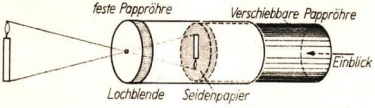


Abb. 8. Lochkamera (schematisch). Der von rechts hineinblickende Beschauer sieht auf dem Seidenpapierschirm das umgekehrte Bild der Kerze.

Wir halten die Kamera mit ihrem offenen Ende so vor unser Auge, daß wir die Lochblende dem Fenster oder einer brennenden Kerze zuwenden. Dabei erblicken wir auf dem Papierschirm das umgekehrte Bild des Fensters oder der Kerze (Abb. 8). Schieben wir den Papierschirm näher an die Lochblende heran, so wird das Bild auf dem Schirm kleiner und heller; bewegen wir ihn entgegengesetzt, so wird das Bild größer und dunkler. Immer aber ist es deutlich erkennbar.

Wie kommt das Bild zustande? Von jedem Punkt der lichtaussendenden Kerze dringen Lichtstrahlen durch das Loch in die Kammer und erzeugen auf dem Papier einen Lichtfleck von der Farbe des lichtaussendenden Punktes. Alle diese Lichtflecke zusammen ergeben ein Bild des Gegenstandes.

Aus Abb. 8 ist ersichtlich, warum das Bild umgekehrt steht und seitenverkehrt ist. Zu beachten ist dabei, daß sich alle von der Kerze herkommenden Lichtstrahlen in einem Punkte, dem Loch des Deckels, schneiden und sich infolgedessen kreuzen.

6. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes. Werden die elektrischen Lampen in einer langen Straße bei Einbruch der Dunkelheit gleichzeitig eingeschaltet, so sehen wir sie alle, die uns näher stehenden wie auch die weiter entfernten, zur selben Zeit aufleuchten. Wir könnten somit zu der irrigen Annahme kommen, daß das Licht zur Ausbreitung keine Zeit benötige. Bis in die Mitte des 17. Jahrhunderts hat man auch allgemein diese Meinung vertreten. Denn die verhältnismäßig geringen Entfernungen auf unserer Erde werden vom Licht bei seiner außerordentlich großen Ausbreitungsgeschwindigkeit in kurzer, kaum meßbarer Zeit zurückgelegt. 1676 gelang es dem dänischen Astronomen *Olaf Römer*, durch astronomische Beobachtungen und Berechnungen die Geschwindigkeit des Lichtes zu bestimmen. Er beobachtete regelmäßig den Eintritt der Verfinsterungen eines bestimmten der zwölf Jupitermonde. Dabei befand sich die Erde das eine Mal in

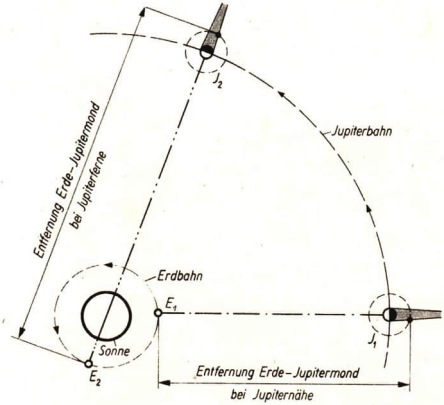


Abb. 9. Während der Jupiter von J_1 nach J_2 weiterrückt, gelangt die Erde in der gleichen Zeit von E_1 nach E_2. Sie entfernt sich dabei um die Länge des Erdbahndurchmessers vom Jupiter und seinem Monde.

Nahestellung (E_1 in Abb. 9), ein anderes Mal in Fernstellung (E_2) zum Jupiter. Die Entfernung der Erde vom Jupitermond hatte sich beim Übergang von E_1 in E_2 um die Länge des Erdbahndurchmessers vergrößert.
Olaf Römer fand, daß der Beginn der Verfinsterung des Jupitermondes bei Fernstellung der Erde 1000 s später eintrat, als er ihn bei Nahestellung berechnet hatte. Er schloß daraus, daß das Licht die 1000 s zum Durcheilen des Erdbahndurchmessers braucht, um den sich die Erde in der dazwischenliegenden Zeit vom Jupiter entfernt. Der Erdbahndurchmesser beträgt im Mittel etwa 300 Mill. km. Olaf Römer errechnete daraus, daß das Licht in einer Sekunde 300000000 km : 1000 = 300000 km zurücklegt. Diese Rechnung wurde später durch Versuche bestätigt.

Das Licht hat eine Geschwindigkeit von rund 300000 km in der Sekunde.

7. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Befestige drei Pappscheiben von der Größe eines Heftdeckels an Holzklötzen, so daß du sie senkrecht auf den Tisch stellen kannst, und durchbohre sie alle in gleicher Höhe mit einer glühenden Stricknadel! Stelle die Pappscheiben und eine brennende Kerze hintereinander in Abständen von je 20 cm so auf, daß das Kerzenlicht durch die Löcher zu sehen ist! Prüfe die Lage der Löcher mit einem hindurchgezogenen, gespannten Zwirnfaden!
2. Erzeuge in einem dunklen Zimmer mittels einer brennenden Kerze an der Wand den Schatten eines Schreibheftes! Halte das Heft dicht vor die Wand, entferne es dann von ihr! In welchem Falle ist der Schatten schärfer? Warum?
3. Verwende eine elektrische Glühlampe, einen Gummiball, eine Murmel als Modelle der Sonne, der Erde, des Mondes und veranschauliche mit ihnen eine Sonnen- und eine Mondfinsternis!
4. Stecke in eine auf dem Tisch liegende Pappscheibe in einiger Entfernung hintereinander zwei Stecknadeln! Visiere an ihnen entlang und bringe eine dritte Nadel in die gleiche Richtung! Verbinde die Einstecklöcher der Nadeln untereinander! Welche Beschaffenheit hat die Verbindungslinie?
5. Durchstich eine Pappscheibe mit einer Nähnadel und halte sie zwischen eine unmattierte Glühlampe und einen Papierschirm! Was siehst du auf dem Schirm?
6. Nenne natürliche und künstliche Lichtquellen!
7. Stelle eine kleine Schausammlung durchsichtiger, durchscheinender und undurchsichtiger Körper zusammen!
8. Warum kann man die Geradlinigkeit einer Linealkante feststellen, indem man daran entlang visiert?
9. Gib Beobachtungen an, die die Tatsache bestätigen, daß sich das Licht mit größerer Geschwindigkeit ausbreitet als der Schall!
10. Wie oft würde das Licht in 1 Sekunde eine Strecke durchlaufen, die der Länge des Äquators entspricht (etwa 40000 km)?
11. In welcher Zeit gelangt das Licht von der Erde zum Mond (etwa 350000 km), bzw. von der Sonne zur Erde (etwa 149,5 Mill. km)?
12. Vom hellen Fixstern Sirius, den wir am Wintersternhimmel sehen, braucht das Licht 8,8 Jahre, um die Erde zu erreichen. Wie weit ist der Sirius von der Erde entfernt?

§ 2. Die Zurückwerfung des Lichtes – Ebene Spiegel

1. Der ebene Spiegel. Bedeckt man einen von einer Hängelampe beleuchteten dunkelgetönten Tisch mit einem weißen Tischtuch, so wird das Zimmer merklich heller. Die von der Lampe ausgesandten Lichtstrahlen werden vom Tischtuch zurückgeworfen; dadurch empfangen auch die Teile des Zimmers Licht, zu denen vorher wegen des Lampenschirmes keine Strahlen gelangen konnten.

Da die Oberfläche des Tischtuchs rauh ist, werden die auf das Tischtuch fallenden Lichtstrahlen nicht in einer bestimmten Richtung zurückgeworfen. Das Zurückwerfen erfolgt vielmehr unregelmäßig: man sagt, das Licht wird *zerstreut*.

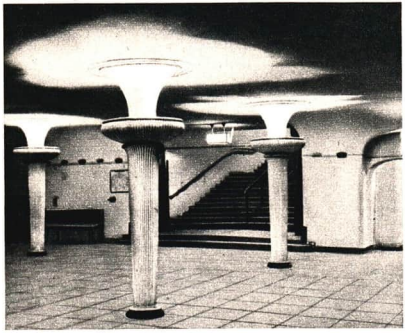


Abb. 10. Indirekte Beleuchtung im Vorraum des Friedrichstadt-Palastes in Berlin

Die Leuchtkörper liegen hinter Simsen der tragenden Pfeiler und sind vom Raum aus nicht sichtbar.

Die Zerstreuung des Lichtes spielt bei der *indirekten Beleuchtung* von Innenräumen eine wichtige Rolle. Bei dieser Beleuchtungsart sind die Leuchtkörper dem Beschauer selbst nicht sichtbar. Sie strahlen ihr Licht gegen die Decke des Raumes oder gegen die Wände, wo es zerstreut wird. Der Raum wird auf diese Weise beleuchtet, ohne daß es zu einer Blendwirkung kommt (Abb. 10).

Auch das Tageslicht, das irgendeine Stelle erhellt, die von Sonnenstrahlen nicht unmittelbar getroffen wird, ist zerstreutes Licht. Dies gilt insbesondere für das Licht an trüben Tagen.

Anders erfolgt die Zurückwerfung des Lichtes, wenn das Licht auf einen *Spiegel* fällt. Unter einem Spiegel verstehen wir einen Körper mit glatter Oberfläche, der das Licht zurückwirft, ohne es zu zerstreuen. Die gebräuchlichsten Spiegel bestehen aus glattpolierten, ebenen Glasscheiben. Diese sind mit einer am Glase fest haftenden hauchdünnen Metallschicht, meist Silber, hinterlegt. Das Silber wird aus einer Silberverbindung, mit der die Glasscheibe bestrichen wird, auf chemischem Wege ausgeschieden und haftet dann fest an der Glasscheibe.

An der Metallschicht wird das Licht zurückgeworfen, *reflektiert*. Doch ist zu beachten, daß das Licht zu einem Teil auch an der Vorderfläche der Glasscheibe reflektiert wird. Dies wird häufig als störend empfunden, da die Bildränder dann doppelt erscheinen.

Wegen der ebenen Beschaffenheit der spiegelnden Fläche nennt man Spiegel der beschriebenen Art *ebene Spiegel*. Neben den Glasspiegeln verwendet man dort, wo es auf Widerstandsfähigkeit und größte Genauigkeit ankommt, auf Hochglanz polierte Metallflächen und Glasscheiben, die auf der Oberfläche verspiegelt sind. Sie besitzen im Gegensatz zu den Glasspiegeln gewöhnlicher Art nur eine spiegelnde Fläche.

2. Das Reflexionsgesetz. Fällt ein Lichtbündel auf einen Spiegel, so wird es im Gegensatz zu der unregelmäßigen Zerstreuung am Tischtuch in einer bestimmten Richtung zurückgeworfen. Wir können uns davon in einfacher Weise überzeugen, indem wir einen Taschenspiegel in das Sonnenlicht halten. Mit seiner Hilfe können wir das einfallende Lichtbündel in jede beliebige Richtung ablenken. Wir brauchen den Spiegel nur entsprechend zu drehen.

Scheint die Sonne nicht, so können wir uns folgendermaßen behelfen:

Im verdunkelten Raum stellen wir senkrecht auf den Tisch eine Papptafel, in die wir, 12 bis 15 cm vom unteren Rande entfernt, einen etwa 2 mm breiten, waagerechten Spalt geschnitten haben. Durch den Spalt lassen wir ein von einer Glühlampe ausgehendes, schmales Lichtbündel hindurchtreten, das wir hier an Stelle eines Lichtstrahls betrachten wollen. Der Lichtstrahl fällt auf einen auf dem Tisch liegenden Spiegel und wird von ihm zurückgeworfen. Wir stellen eine zweite, möglichst weiße Papptafel senkrecht so auf den Spiegel, daß die Lichtstrahlen an ihr entlangstreifen (Abb 11).

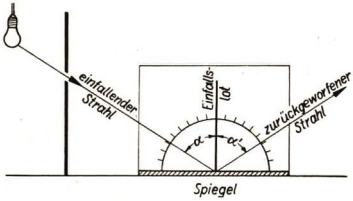


Abb. 11. Ein Lichtstrahl wird von einem Spiegel unter dem gleichen Winkel reflektiert, unter dem er auf den Spiegel fällt. Man mißt dabei die Winkel gegen das Einfallslot. Es ist $\alpha = \alpha'$.

Auf die Papptafel haben wir vorher eine Gerade senkrecht zur Unterkante gezeichnet. Wir verschieben die Papptafel so weit, bis diese Gerade genau im Einfallspunkt des Lichtes auf dem Spiegel steht. Sie bildet dann das sogenannte Einfallslot.

Unter dem Einfallslot versteht man die auf der Spiegelfläche im Einfallspunkt errichtete Senkrechte.

Wir vergleichen die Winkel, die der einfallende und der zurückgeworfene Strahl mit dem Einfallslot bilden. Um das Abschätzen zu erleichtern, versehen wir die Pappscheibe mit einer einfachen, halbkreisförmigen Winkelteilung. Hebt und senkt man die Lampe vor dem Spalt, so wird dadurch der Winkel geändert, unter dem das Licht einfällt. Wir finden, daß der einfallende und der reflektierte Strahl mit dem Einfallslot immer gleiche Winkel bilden.

Noch weit deutlicher und schärfer werden die Erscheinungen, wenn wir den Versuch mit Sonnenlicht ausführen. Wir brauchen dann nicht einmal das Zimmer zu verdunkeln. Einen genaueren Einblick in die Zusammenhänge vermittelt uns die in Abb. 12 wiedergegebene Versuchsanordnung, bei der wir eine *optische Scheibe* benutzen.

Durch eine waagerechte Spaltblende lassen wir ein schmales Lichtband auf eine kreisrunde, mattweiß gestrichene Metall- oder Holzscheibe fallen, auf der ein Spiegelstreifen befestigt ist. Das Lichtband vertritt hier wieder einen Lichtstrahl. Zu Beginn der Versuche stellen wir die Scheibe so ein, daß der Lichtstrahl senkrecht auf den Spiegel trifft. Er wird auch senkrecht, mithin in sich selbst, zurückgeworfen. Wir nennen die Senkrechte auf dem Spiegel im Einfallspunkt wie vorher das Einfallslot.

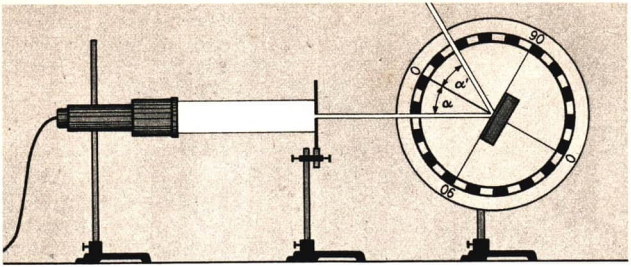


Abb. 12. Ableitung des Reflexionsgesetzes an der optischen Scheibe. Ein parallelstrahliges, schmales Lichtbündel tritt durch eine Spaltblende und streift über die optische Scheibe hin. Es trifft auf einen im Mittelpunkt der Scheibe befestigten Spiegelstreifen.

Drehen wir nun die Scheibe, so bildet der einfallende Strahl mit dem Einfallslot einen Winkel α, den wir als **Einfallswinkel** bezeichnen. Gleichzeitig dreht sich der reflektierte Strahl nach der anderen Seite aus dem Einfallslot heraus und bildet mit ihm den **Reflexionswinkel** α'. Vergleicht man beide Winkel miteinander, so findet man weit genauer als bei dem vorangehenden einfachen Versuch die Tatsache bestätigt, daß beide Winkel einander gleich sind.
Wir können unsere Erfahrungen zu einem Satz zusammenfassen, den wir *Reflexionsgesetz* nennen.

Wird ein Lichtstrahl an einem Spiegel reflektiert, so liegen der einfallende Strahl, der reflektierte Strahl und das Einfallslot in einer Ebene.

Der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.

Trifft ein Lichtstrahl senkrecht auf den Spiegel, so wird er in sich selbst zurückgeworfen.

3. Das Spiegelbild. Welche Stellung müssen wir zu einem Spiegel einnehmen, wenn wir unser Bild in ihm erblicken wollen? — Vergleiche die Einzelheiten des Bildes mit den Einzelheiten deines Körpers! Beurteile ihre Lage zur linken und rechten Körperhälfte! Versuche die Entfernung zu schätzen, in der du dein Bild hinter dem Spiegel erblickst, und vergleiche sie mit deiner eigenen Entfernung vom Spiegel! Ändere deine Entfernung vor dem Spiegel und beobachte dabei dein Spiegelbild!
Im verdunkelten Zimmer stellen wir eine Glasscheibe senkrecht auf den Tisch. Vor die Scheibe stellen wir eine brennende Kerze. Wir sehen ein Spiegelbild der Kerze, wenn wir von vorn, am besten etwas seitlich stehend, gegen die Scheibe blicken. Wir verschieben hinter der Scheibe eine zweite, nicht brennende Kerze so lange, bis sie mit dem Spiegelbild der brennenden Kerze zusammenfällt. Die Lage der Glasscheibe auf dem Tisch kennzeichnen wir durch einen Kreidestrich (Spiegellinie), die Lage der Kerzen durch zwei Kreidepunkte und verbinden die

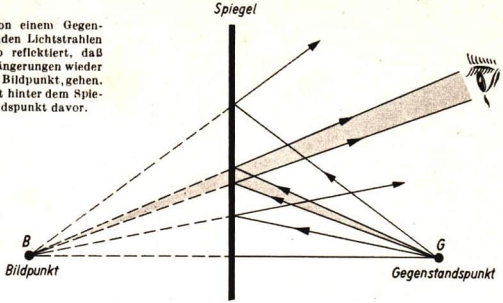


Abb. 13. Sämtliche von einem Gegenstandspunkt ausgehenden Lichtstrahlen werden am Spiegel so reflektiert, daß ihre rückwärtigen Verlängerungen wieder durch einen Punkt, den Bildpunkt, gehen. Dieser liegt ebenso weit hinter dem Spiegel, wie der Gegenstandspunkt davor.

Punkte miteinander. Wir sehen, daß die Verbindungslinie auf der Spiegellinie senkrecht steht und von ihr halbiert wird. Beide Punkte liegen symmetrisch zum Spiegel.

Gelangen die vom Spiegel zurückgeworfenen Lichtstrahlen in unser Auge, so sieht das Auge die Lichtquelle in der *rückwärtigen Verlängerung* der empfangenen Strahlen (Abb. 13). *Das Licht scheint von dem Punkt herzukommen, in dem sich die reflektierten Strahlen schneiden, wenn man sie rückwärts verlängert.* Wir erblicken beispielsweise in *B* das Bild der punktförmigen Lichtquelle *G*. In Wirklichkeit befindet sich aber an dieser Stelle kein leuchtender Punkt, der von anderen, etwa hinter dem Spiegel stehenden Personen gesehen werden könnte. Das Bild ist lediglich für den vor dem Spiegel befindlichen Beobachter sichtbar. Es ist ein scheinbares oder virtuelles Bild.

Am ebenen Spiegel entstehen nur virtuelle Bilder.

Das Bild eines Gegenstandes erscheint am ebenen Spiegel in derselben Entfernung hinter dem Spiegel, in der sich der Gegenstand davor befindet. Bild und Gegenstand liegen symmetrisch zum Spiegel; sie haben beide die gleiche Größe und Gestalt. Ihre Seiten erscheinen vertauscht.

4. Versuche und Fragen:

1. Halte im Zimmer einen Taschenspiegel in das Sonnenlicht und laß das reflektierte Lichtbündel auf einen zweiten Spiegel fallen, an dem es wieder reflektiert wird! Man kann auf diese Weise eine Stelle des Zimmers beleuchten, die weder unmittelbar vom Sonnenlicht noch durch das vom ersten Spiegel reflektierte Licht erreicht werden kann.

2. Laß in einem mäßig verdunkelten Zimmer Sonnenlicht auf einen kleinen Taschenspiegel fallen und halte ihn zunächst so, daß das Licht in die Einfallsrichtung zurückgeworfen wird! Drehe dann den Spiegel um 45°! Um wieviel Grad wandert der reflektierte Strahl zur Seite?

3. Stelle eine Glasscheibe senkrecht auf den Tisch und davor eine brennende Kerze! Wiederhole den auf S. 14 beschriebenen Versuch und ändere ihn ab, indem du hinter der Scheibe ein Wasserglas so lange verschiebst, bis du das Spiegelbild der Kerze „einfängst"!
4. Stelle zwei kleine Spiegel senkrecht auf den Tisch, so daß sie einen rechten Winkel einschließen! Stelle zwischen die Spiegel eine brennende Kerze und betrachte sie in den Spiegeln! Verkleinere den von den Spiegeln eingeschlossenen Winkel auf 60° und auf 45°!
5. Warum verwendet man in Wohnzimmern im allgemeinen helle Tapeten bzw. helle Wandanstriche? — Warum sind die Wände einer Dunkelkammer in der Regel schwarz gestrichen?
6. Warum versieht man Lampen, die das Licht in einer bestimmten Richtung strahlen sollen, mit Schirmen, die auf der Innenseite spiegeln?
7. Wie ist es zu erklären, daß man bei Spiegeln aus dickem Glas alle Spiegelbilder doppelt sieht, und zwar ein gut sichtbares, neben dem, ein wenig verschoben, ein schwach sichtbares erscheint?
8. Wenn wir am Abend vom Zimmer aus gegen ein geschlossenes Fenster schauen, so erblicken wir in diesem das Bild einer im Zimmer brennenden Lampe. Wie ist diese Erscheinung zu erklären?
9. Wie kommt es, daß man sich in einer einfachen Fensterscheibe spiegeln kann? Welche Umstände sind dafür besonders günstig? Warum?

§ 3. Gewölbte Spiegel

1. Der Rasierspiegel – Spiegelnde Kugelflächen. Blicken wir aus etwa 1 m Entfernung in einen nach innen gewölbten Rasierspiegel, so können wir beobachten, daß entfernte Gegenstände verkleinerte, umgekehrte Spiegelbilder ergeben. Spiegele dich in einer Glaskugel des Weihnachtsbaumschmuckes! Was für ein Bild erblickst du? Wie ändert es sich, wenn du dich von der Kugel entfernst?

Beim Rasierspiegel wie bei der Glaskugel sind die spiegelnden Flächen gewölbt. Der Rasierspiegel ist ein Teil einer nach innen spiegelnden Kugelfläche. Solche Spiegel bezeichnet man als *Hohlspiegel* oder *Konkavspiegel*. Im Gegensatz dazu spiegelt die Glaskugel nach außen. Spiegel dieser Art heißen *erhabene Spiegel* oder *Konvexspiegel*.

2. Der Hohlspiegel. Lichtstrahlen, die unsere künstlichen Lichtquellen aussenden, laufen auseinander. Die von der Sonne herkommenden Strahlen dagegen sind wegen der großen Entfernung der Sonne von der Erde als parallel anzusehen (vgl. Abb. 2). Fallen sie auf einen der Sonne zugekehrten Hohlspiegel, so werden sie so zurückgeworfen, daß sie sich in einem Punkt treffen (*F* in Abb. 14). Halten wir unsere Hand an diese Stelle, so verspüren wir eine deutliche Erwärmung. Wir bezeichnen daher den Sammelpunkt der Strahlen als **Brennpunkt**.

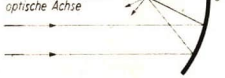


Abb. 14. Sonnenstrahlen fallen auf einen Hohlspiegel. Die parallel zur optischen Achse einfallenden Strahlen schneiden sich nach erfolgter Reflexion im Brennpunkt.

O Spiegelmittelpunkt, *M* Krümmungsmittelpunkt, *F* Brennpunkt, *OF* Brennweite.

M ist der *Krümmungsmittelpunkt* der Kugel, aus der man sich den Spiegel herausgeschnitten denken kann. Die Gerade, die durch *M* und den *Spiegelmittelpunkt O*, den *Scheitel* des Spiegels, bestimmt ist, heißt die **optische Achse**. Auf ihr liegt auch der Brennpunkt.

Wir ändern die in Abb. 12 wiedergegebene Versuchsanordnung ab und ersetzen an der optischen Scheibe den ebenen Spiegelstreifen durch einen gewölbten Spiegelstreifen, den wir bei unserem Versuch an Stelle eines Hohlspiegels verwenden. Statt der einfachen Spaltblende benutzen wir eine solche mit drei dicht nebeneinanderliegenden parallelen Spalten. Hierdurch wird erreicht, daß drei parallele Strahlen auf den Spiegel fallen. Wir richten es so ein, daß der durch den mittleren Spalt tretende Lichtstrahl senkrecht auf den Mittelpunkt des Spiegels trifft. Wir sehen, daß sich die reflektierten Strahlen in einem Punkt, dem Brennpunkt, schneiden (Abb. 15).

Parallel zur optischen Achse auf einen Hohlspiegel fallende Lichtstrahlen werden so reflektiert, daß sie sich im Brennpunkt schneiden.

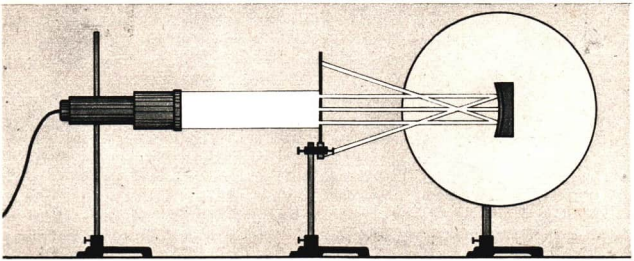


Abb. 15. Hohlspiegelmodell an der optischen Scheibe. Sämtliche parallel zur optischen Achse einfallenden Lichtstrahlen werden in einem Punkt der optischen Achse, dem Brennpunkt, gesammelt.

Genaue Messungen ergeben, daß der Brennpunkt die Strecke zwischen dem Spiegelmittelpunkt und dem Krümmungsmittelpunkt halbiert. Der Abstand des Brennpunktes vom Spiegelmittelpunkt heißt die *Brennweite* des Spiegels (f).
Wir sahen oben, daß Parallelstrahlen durch ihre Reflexion am Hohlspiegel zum Brennpunkt hin gesammelt werden. Was geschieht mit Strahlen, die vom Brennpunkt herkommen? Ein Versuch gibt uns darüber Auskunft. Im verdunkelten Zimmer bringen wir die Glühbirne einer Taschenlampe oder eine brennende Kerze in den Brennpunkt des Hohlspiegels. Der Lichtfleck hat dieselbe Größe und dieselbe Form wie die Öffnung des Hohlspiegels. Wir schließen daraus, daß die Strahlen parallel austreten. Es gilt die Umkehrung des vorigen Gesetzes:

Vom Brennpunkt eines Hohlspiegels ausgehende Strahlen (Brennpunktsstrahlen) werden von diesem so reflektiert, daß sie parallel zur optischen Achse austreten.

Abb. 16 zeigt uns einige wichtige Strahlenarten am Hohlspiegel und die dazugehörigen reflektierten Strahlen.
Strahlen, die durch *M* auf den Spiegel fallen, heißen *Mittelpunktsstrahlen*. Da sie auf der Spiegelfläche senkrecht stehen, werden sie in sich selbst zurückgeworfen. Strahlen, die parallel zur optischen Achse laufen, nennt man *Parallelstrahlen*; sie werden zum Brennpunkt hin reflektiert. Strahlen, die durch *F* auf den Spiegel fallen, bezeichnet man als *Brennpunktsstrahlen*; sie verlassen den Spiegel als Parallelstrahlen. Parallelstrahlen, Brennpunktsstrahlen und Mittelpunktsstrahlen nennt man *Hauptstrahlen*.

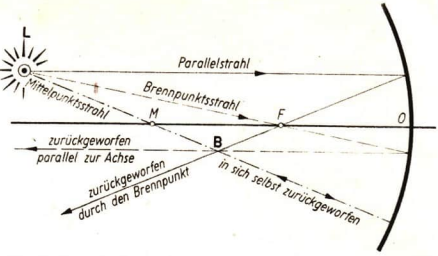


Abb. 16. Hauptstrahlen am Hohlspiegel. Durch die Reflexion am Hohlspiegel verwandeln sich Parallelstrahlen in Brennpunktsstrahlen, Brennpunktsstrahlen in Parallelstrahlen. Mittelpunktsstrahlen bleiben Mittelpunktsstrahlen.

3. Die Bildentstehung am Hohlspiegel. Wir stellen eine brennende Kerze zunächst in großer Entfernung vor dem Hohlspiegel auf. In einer Entfernung von etwas mehr als der einfachen Brennweite können wir dann auf einem weißen Pappschirm ein umgekehrtes Bild der Kerze auffangen. Es gibt den Gegenstand stark verkleinert wieder. Solche auffangbaren Bilder bezeichnen wir als **wirkliche** oder **reelle Bilder**.
Nähern wir die Kerze dem Hohlspiegel, so rückt das Bild weiter vom Spiegel ab und wird allmählich größer, ohne seine umgekehrte Stellung zu ändern. Bei einem bestimmten Abstand der Kerze vom Spiegel, nämlich in der doppelten Brennweite, wird das Bild ebenso groß wie die Kerze. Rückt diese noch näher an den Spiegel heran, d. h. in den Raum zwischen Krümmungsmittelpunkt und Brennpunkt, so liegt das Bild in noch größerer Entfernung vom Spiegel und ist größer als der Gegenstand selbst.

Die Entstehung reeller Bilder erklärt sich ebenfalls aus Abb. 16. Wir sehen, daß sich die von der punktförmigen Lichtquelle *L* herkommenden Strahlen nach der Reflexion in einem Punkte *B* vor dem Spiegel schneiden. In ihm liegt das reelle Bild der Lichtquelle.
Das trifft jedoch nur für schwach gewölbte Hohlspiegel zu. An stark gewölbten Hohlspiegeln findet keine punktgerechte Abbildung mehr statt; die Bilder erscheinen, insbesondere nach dem Rande des Spiegels zu, verzerrt.

Zeichnen der Bilder. Zur zeichnerischen Darstellung des Strahlenverlaufes bei der Entstehung eines Hohlspiegelbildes genügen zwei der vielen Lichtstrahlen, die von einem Punkt des Gegenstandes ausgehen (vgl. Abb. 16).
In den Abbildungen 17a, b, c werden drei Bildkonstruktionen als Beispiele dargestellt. Es werden dabei ein Parallelstrahl und ein Brennpunktsstrahl verwendet. Um die Richtigkeit der Zeichnung nachzuprüfen, kann man nachträglich den Mittelpunktsstrahl heranziehen. Den Gegenstand stellen wir der Einfachheit halber durch einen auf der optischen Achse senkrecht stehenden Pfeil dar.

Blicken wir in einen dicht vor unser Gesicht gehaltenen Hohlspiegel (Rasierspiegel), so sehen wir ein virtuelles, aufrechtes, vergrößertes Bild unseres Gesichtes. Dies erklärt sich folgendermaßen: Unser Gesicht liegt in diesem Falle zwischen dem Brennpunkt und dem Spiegel. Infolgedessen laufen die von jedem Punkt unseres Gesichtes ausgehenden Lichtstrahlen nach der Reflexion auseinander. Man muß sie rückwärts verlängern, damit sie sich hinter dem Spiegel schneiden. Abb. 18 gibt den Strahlengang schematisch wieder.

Am Hohlspiegel entstehen reelle und virtuelle Bilder. Die reellen Bilder sind umgekehrt und entstehen vor dem Spiegel. Die virtuellen Bilder stehen aufrecht und befinden sich scheinbar hinter dem Spiegel.

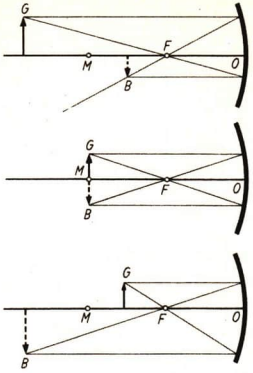


Abb. 17. Geometrische Konstruktion von Bildpunkten am Hohlspiegel.

a) Der Gegenstand liegt außerhalb der doppelten Brennweite.

b) Der Gegenstand liegt in der doppelten Brennweite.

c) Der Gegenstand liegt zwischen der einfachen und der doppelten Brennweite.

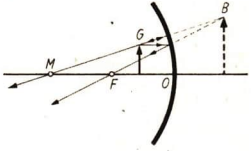


Abb. 18. Strahlengang am Rasierspiegel. Der Gegenstand liegt innerhalb der einfachen Brennweite vor dem Spiegel. *G* Gegenstand, *B* virtuelles Bild.

Zusammenfassend werden noch einmal die vier für Bild und Gegenstand charakteristischen Fälle in Tabellenform wiedergegeben:

Bildentstehung an einem Hohlspiegel		
Befindet sich der Gegenstand	**so entsteht sein Bild**	**Es ist**
1. in größerer Entfernung vom Spiegel als der Krümmungsmittelpunkt *M* (Abb. 17a),	**zwischen dem Brennpunkt *F* und dem Krümmungsmittelpunkt *M*.**	**reell, umgekehrt und kleiner als der Gegenstand.**
2. im Krümmungsmittelpunkt *M* (Abb. 17b),	**ebenfalls im Krümmungsmittelpunkt *M*.**	**reell, umgekehrt und ebenso groß wie der Gegenstand.**
3. zwischen dem Brennpunkt *F* und dem Krümmungsmittelpunkt *M* (Abb. 17c),	**jenseits des Krümmungsmittelpunktes *M*.**	**reell, umgekehrt und größer als der Gegenstand.**
4. zwischen dem Brennpunkt *F* und dem Spiegel (Abb. 18),	**hinter dem Spiegel.**	**virtuell, aufrecht und größer als der Gegenstand.**

4. Anwendungen des Hohlspiegels. In jeden Autoscheinwerfer ist ein Hohlspiegel eingebaut (Abb. 19). Die Lichtquelle muß im Brennpunkt liegen, wenn das austretende Lichtbündel parallelstrahlig sein soll. Zur Beleuchtung der Fahrbahn benutzt man aber ein Lichtbündel, das etwas auseinandergeht, damit eine genügend große Fläche beleuchtet wird. Allerdings wird beim Autoscheinwerfer kein Kugelspiegel verwendet. Aus besonderen Gründen hat man hier eine andere Form vorgezogen, bei der die Krümmung der Spiegelfläche von der Mitte zum Rande hin allmählich abnimmt. Man nennt solche Spiegel *Parabolspiegel*. Die Wirkungsweise ist jedoch ähnlich der des Kugelspiegels. Die Glühbirne im Autoscheinwerfer ist mit zwei Glühfäden versehen, von denen der Fahrer je nach Bedarf den einen oder den anderen einschalten kann.

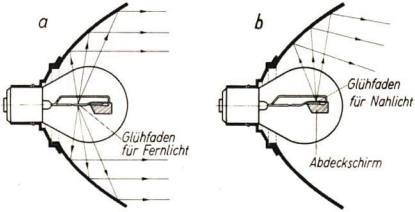


Abb. 19. Strahlengang beim Autoscheinwerfer bei verschiedenen Stellungen der Lichtquelle

a) Der Fernlichtfaden glüht. Scheinwerferwirkung auf große Entfernung

b) Der Nahlichtfaden glüht. Das Licht wird nach unten auf die unmittelbar vor dem Wagen liegende Fahrbahn abgelenkt. Die Blendwirkung wird vermieden.

Hohlspiegel bilden ein wichtiges Hilfsmittel bei ärztlichen Untersuchungen der Mundhöhle und des Kehlkopfes, und zwar als Beleuchtungs- wie als Beobachtungsspiegel.

Abb. 20 zeigt einen Arzt bei einer Halsuntersuchung unter Verwendung des *Kehlkopfspiegels*. Er trägt vor der Stirn an einem Kopfband einen Hohlspiegel als *Reflektor*, der in der Mitte mit einem Loch zum Hindurchblicken versehen ist. Der Reflektor wirft das von der seitlich stehenden Lampe ausgestrahlte Licht in die Mundhöhle des Patienten und sammelt es dabei, so daß das Mundinnere hell beleuchtet wird. Durch einen kleinen, an einem Stiel befestigten, nur schwach gewölbten Hohlspiegel, den Kehlkopfspiegel, wird das Licht auf die zu untersuchende Stelle hingelenkt, die der Arzt gleichzeitig in diesem Spiegel betrachtet. Dadurch, daß der Arzt beim Schauen

Abb. 20. Arzt beim Einführen des Kehlkopfspiegels

1 Lichtquelle, *2* Reflektor, *3* Kopfband, *4* Kehlkopfspiegel mit Stiel.

durch das Sehloch genau in der Richtung der Lichtstrahlen blickt, wird eine störende Schattenbildung vermieden.
Der Zahnarzt verwendet bei der Untersuchung der Zähne ebenfalls kleine, an Stielen befestigte, schwach gewölbte Hohlspiegel.

5. Der erhabene Spiegel. In einer spiegelnden Glaskugel sehen wir unser Bild immer aufrecht und verkleinert (Abb. 21). Das Bild ist virtuell; denn beim erhabenen Spiegel schneiden sich Strahlen, die von einem Punkt herkommen, nach der Reflexion nur dann wieder in einem Punkt, wenn man sie rückwärts verlängert. *Der Bildpunkt liegt also hinter dem Spiegel* (Abb. 22). Das entstehende Bild erscheint jedoch, besonders in den Randgebieten, stark verzerrt, und zwar aus dem gleichen Grunde, wie er in Abschnitt 3 auf S. 18 angegeben wurde.

Am erhabenen Spiegel entstehen nur virtuelle, aufrechte, verkleinerte Bilder.

Zum Überblicken des rückwärtigen Geländes sind an Kraftfahrzeugen *Rückblickspiegel* angebracht (Abb. 23). Das sind Konvexspiegel von schwacher Wölbung. Die entstehenden Bilder sind virtuell, aufrecht und verkleinert.

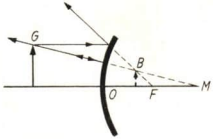


Abb. 22. Virtuelles Bild an einer Glaskugel. Die von *G* ausgehenden Lichtstrahlen schneiden sich nach ihrer Reflexion nur, wenn man sie rückwärts verlängert. Der Bildpunkt liegt in *B*.

Abb. 21. Blick auf eine spiegelnde Glaskugel. Alle sich an der Oberfläche der Kugel spiegelnden Dinge erscheinen stark verzerrt.

Es handelt sich bei der abgebildeten Glaskugel um ein Dewarsches Gefäß, das in Laboratorien vielfach verwendet wird. Ein solches Gefäß ist genau so gebaut wie eine Thermosflasche und dient zum Aufbewahren von verflüssigten Gasen.

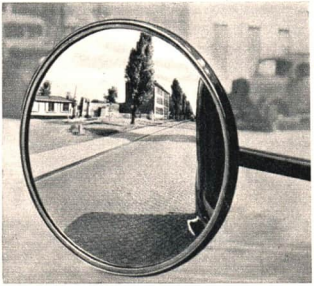


Abb. 23. Rückblickspiegel an einem Kraftwagen. Der Spiegel ist schwach nach außen gewölbt und bewirkt dadurch eine starke Verkleinerung des Bildes.

6. Versuche und Fragen:

1. Stelle aus einem großen Uhrglas einen Hohlspiegel her, indem du die Außenfläche des Glases mit schwarzem Lack überziehst! Erzeuge auf die gleiche Weise einen erhabenen Spiegel durch Bestreichen der Innenseite!
2. Stelle einen Rasierspiegel senkrecht auf den Tisch und davor eine brennende Kerze in verschiedenen Entfernungen vom Spiegel! Fange die dabei entstehenden reellen Bilder auf einem Papierschirm auf und beobachte die in der Tabelle auf S. 19 unterschiedenen Fälle!
3. Benutze ein blankes Metallrohr als Spiegel! Betrachte dich darin bei waagerechter und bei senkrechter Lage des Rohres! Was fällt dir auf?
4. Stelle das in Aufg. 3 verwendete Rohr auf ein daruntergelegtes Blatt Papier! Zeichne auf das Papier ein Viereck, das beim Betrachten im Rohr als Quadrat erscheint! Versuche dasselbe mit anderen Mustern!
5. Gib sämtliche dir bekannten Anwendungen des Hohlspiegels an!
6. Ein Lichtstrahl wird parallel zur optischen Achse eines Hohlspiegels verschoben. Wie bewegt sich dabei der reflektierte Strahl?
7. Ein Lichtstrahl läuft durch den Brennpunkt eines Hohlspiegels und wird um den Brennpunkt gedreht. Wie bewegt sich der reflektierte Strahl?
8. Führe die auf Seite 18 angegebene Bildkonstruktion für alle in der Tabelle auf S. 19 dargestellten vier Fälle durch!

§ 4. Die Lichtbrechung

1. Die Brechung des Lichtes beim Übergang von Luft in Wasser oder in Glas. Wenn wir nach den Steinen auf dem Grunde eines Gewässers sehen, so halten wir oft das Wasser für flacher, als es in Wirklichkeit ist.

Wir stellen einen Löffel schräg in eine mit Wasser gefüllte Tasse und betrachten ihn von oben. Es sieht so aus, als wenn der Löffel an der Wasseroberfläche geknickt sei (Abb. 24).

Wir legen ein Geldstück in eine leere Schüssel und treten so weit zurück, daß es gerade hinter dem Rand verschwindet. Dann ändern wir die Kopfhaltung nicht mehr. Wir lassen nun Wasser in die Schüssel gießen und beobachten, daß die Münze wieder sichtbar wird. Sie wird scheinbar vom Wasser gehoben (Abb. 25).

Abb. 24. Ein in einer mit Wasser gefüllten Tasse stehender Löffel erscheint an der Wasseroberfläche geknickt.

Folgender Versuch macht diese Erscheinungen verständlich:

Wir gießen in einen Glastrog Wasser, das wir mit Kalk, Kreidepulver oder mit ein wenig Milch etwas trüben. Mit Hilfe einer Spaltblende aus Pappe und einer dahintergestellten Glühlampe erzeugen wir wie auf S. 13 ein schmales Lichtbündel und lassen es schräg in das getrübte Wasser fallen. Der Verlauf des Lichtbündels in der Luft wird durch eine weiße Papptafel sichtbar gemacht, an der wir das Lichtbündel entlangstreifen lassen. Wir können beobachten, daß das Lichtbündel beim Eintritt in das Wasser seine Richtung ändert. Es verläuft im Wasser steiler als in der Luft (Abb. 26). Außerdem wird ein Teil des Lichtes an der Wasseroberfläche reflektiert.

Ein Lichtstrahl wird beim Übertritt von Luft in Wasser gebrochen.

Wir beziehen uns wieder auf das Einfallslot (Abb. 27). Der Winkel β, den der im Wasser befindliche Teil des Strahles mit dem Einfallslot bildet, heißt **Brechungswinkel**; er ist bei unserem Versuch kleiner als der Einfallswinkel α.

2. Das Brechungsgesetz. Wollen wir zusammengehörige Werte des Einfalls- und des Brechungswinkels ermitteln, so benutzen wir die optische Scheibe. Wir ersetzen den Spiegel durch einen Glasklotz von halbkreisförmigem Querschnitt. Er wird so an die Scheibe geklemmt, daß die Mittellinie seiner ebenen, schmalen, rechteckigen Seitenfläche durch den Mittelpunkt der Scheibe geht. Wir stellen die Scheibe zunächst so auf, daß der Lichtstrahl senk-

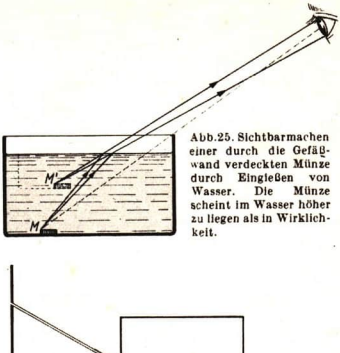


Abb. 25. Sichtbarmachen einer durch die Gefäßwand verdeckten Münze durch Eingießen von Wasser. Die Münze scheint im Wasser höher zu liegen als in Wirklichkeit.

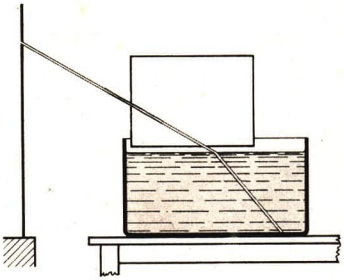


Abb. 26. Ein Lichtbündel fällt auf eine Wasseroberfläche. Es tritt in das Wasser über und wird aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt.

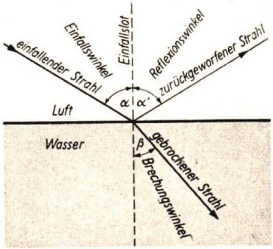


Abb. 27. Einfallswinkel und Brechungswinkel. Beim Übergang von Luft in Wasser wird ein Lichtstrahl zum Einfallslot hin gebrochen. Der Brechungswinkel ist kleiner als der Einfallswinkel.

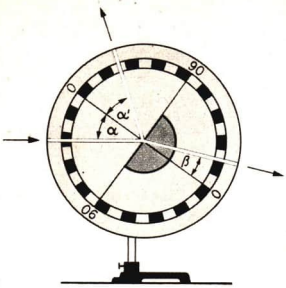


Abb. 28. Untersuchung der Lichtbrechung mittels der optischen Scheibe. Der einfallende Lichtstrahl wird an der ebenen Seitenfläche eines an der optischen Scheibe befestigten Glasklotzes gebrochen.

Lichtbrechung beim Übergang von Luft in Glas bzw. in Wasser		
Einfallswinkel (α) in Luft	Brechungswinkel (β)	
	in Glas	in Wasser
0°	0,0°	0,0°
10°	6,5°	7,4°
20°	13,0°	14,8°
30°	19,5°	22,0°
40°	25,4°	28,8°
50°	30,7°	35,1°
60°	35,3°	40,5°
70°	38,8°	44,8°
80°	41,0°	47,6°
90°	41,8°	48,6°

recht auf den Glasklotz fällt. Die Richtung des Strahles bleibt ungeändert. Dreht man die Scheibe etwas, so wird der *Lichtstrahl beim Übergang in das Glas zum Einfallslot hin gebrochen* (Abb. 28). Die am Rande der Scheibe angebrachte Winkelteilung macht es uns möglich, zu jedem Einfallswinkel den zugehörigen Brechungswinkel abzulesen. Der Versuch liefert nur dann richtige Ergebnisse, wenn der von der Blende herkommende Lichtstrahl die ebene Seitenfläche des Glasklotzes in der Mitte trifft. In diesem Falle schneidet er die gekrümmte Fläche senkrecht und wird dabei nicht gebrochen.

Die an der optischen Scheibe ermittelten Werte einander zugeordneter Einfalls- und Brechungswinkel sind in der ersten und zweiten Spalte der beigefügten Tabelle zusammengestellt, wobei der Einfallswinkel in Stufen von je 10° steigt.

In ähnlicher Weise hat man auch beim Übergang eines Lichtstrahles von Luft in Wasser zusammengehörige Werte der Einfalls- und der Brechungswinkel gemessen. Diese sind aus der dritten Spalte der Tabelle zu entnehmen.

Noch anschaulicher gibt eine auf Millimeterpapier gezeichnete *graphische Darstellung* mit Hilfe eines Achsenkreuzes die Zusammenhänge wieder (Abb. 29). Man versieht zwei aufeinander senkrecht stehende Achsen mit Winkelmarken und veranschaulicht die Werte der Einfallswinkel α auf der waagerechten, die Werte der Brechungswinkel β auf der senkrechten Achse. Zusammengehörige Werte der Einfalls- und Brechungswinkel bestimmen sowohl für den Übergang Luft-Glas wie für den Übergang Luft-Wasser je eine Punktreihe, die für jeden der beiden Fälle eine entsprechende Kurve festlegt.

Mit Hilfe dieser Kurven kann man ohne Schwierigkeit zu jedem beliebigen Einfallswinkel den zugehörigen Brechungswinkel ablesen.

Beispiel:

Punkt A der Luft-Glas-Kurve läßt erkennen, daß zu einem Einfallswinkel $\alpha = 25°$ ein Brechungswinkel $\beta = 16°$ gehört.

Bei Punkt B der Luft-Wasser-Kurve wird als der zum Einfallswinkel $\alpha = 55°$ gehörige Brechungswinkel $\beta = 38°$ abgelesen.

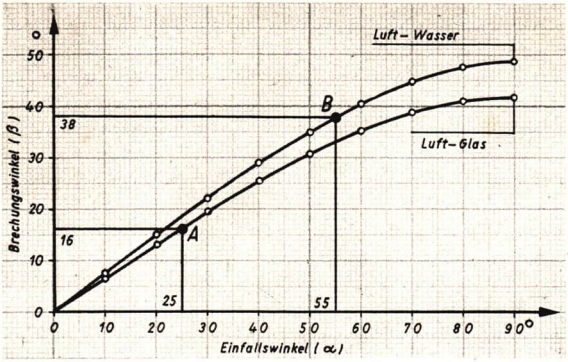


Abb. 29. Graphische Darstellung zusammengehöriger Werte der Einfalls- und Brechungswinkel für den Lichtübertritt von Luft in Glas und von Luft in Wasser

Erfolgt der Lichtübergang in umgekehrter Richtung, mithin von Glas in Luft bzw. von Wasser in Luft, so sind in den Tabellen die Winkelwerte beider Spalten zu vertauschen. In der graphischen Darstellung werden auf der senkrechten Achse die Werte der Einfallswinkel, auf der waagerechten Achse die Werte der Brechungswinkel abgetragen.

Wir entnehmen aus den Tabellen und aus der graphischen Darstellung das *Brechungsgesetz* für Glas und Wasser:

Geht ein Lichtstrahl aus Luft in Glas bzw. aus Luft in Wasser über, so wird er zum Einfallslot hin gebrochen. Beim Übergang von Glas in Luft bzw. von Wasser in Luft wird er vom Einfallslot fort gebrochen.

Stoffe, die einen in sie eindringenden Lichtstrahl *zum Einfallslot hin* brechen, nennt man *optisch dichter* als die Stoffe, aus denen der Lichtstrahl herkommt.

Wasser und Glas sind optisch dichter als Luft.

Wir können nunmehr auch die in Abb. 24 und in Abb. 25 dargestellten Versuche mit dem im Wasser stehenden Löffel und mit der von Wasser bedeckten Münze erklären. Von beiden im Wasser befindlichen Gegenständen gehen Lichtstrahlen aus. Sie werden beim Übergang aus dem Wasser in die Luft vom Einfallslot fort gebrochen. Das Auge nimmt die Brechung der Lichtstrahlen selbst nicht wahr. Es erblickt den Gegenstand in Richtung der rückwärtigen Verlängerung der Strahlen, so daß die im Wasser befindlichen Gegenstände gehoben erscheinen.

3. Der Durchgang des Lichtes durch eine Glasscheibe. Wir halten hinter eine kleine Glasscheibe eine Stricknadel so, daß sie flach an der Scheibe anliegt und

noch über den Rand der Scheibe hinausragt. Blicken wir schräg durch die Scheibe gegen die Nadel, so erscheint diese am Scheibenrande derart in zwei Teile zerlegt, daß die beiden Teile parallel zueinander versetzt sind. Die Ursache für diese Erscheinung ist aus Abb. 30 leicht zu erkennen. Der Lichtstrahl trifft bei A auf eine von zwei parallelen Ebenen begrenzte Glasplatte, eine *planparallele*[1] *Platte*, und wird zum Einfallslot hin gebrochen. Bei B tritt er in die Luft aus; er wird dabei wieder in der gleichen Weise vom Lot weg gebrochen. Die Winkel α_1 und α_2, ebenso aber auch β_1 und β_2 in Abb. 30 sind paarweise einander gleich. Der eintretende Lichtstrahl L_1 und der wieder austretende L_2 sind nur parallel gegeneinander verschoben. So erklärt es sich auch, daß man Gegenstände durch eine fehlerfreie Fensterscheibe hindurch unverzerrt sieht.

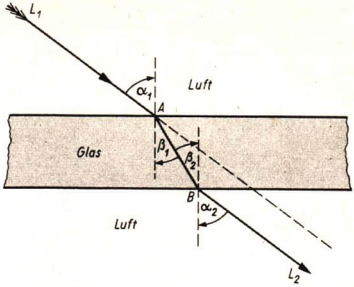


Abb. 30. Lichtdurchgang durch eine planparallele Platte. Es tritt keine Richtungsänderung, sondern nur eine seitliche Verschiebung der Lichtstrahlen ein.

4. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Stelle einen leeren Glastrog auf den Tisch! Fertige aus vier Stricknadeln und vier Fläschchen, durch deren Verschlußkorken du die Nadeln steckst, vier Zeiger an, die du senkrecht auf den Tisch stellen kannst! Verteile sie so auf dem Tisch, daß zu beiden Seiten des Glastroges je zwei Zeiger stehen! Richte die Stricknadeln durch Visieren so aus, daß die von ihnen festgelegte Fluchtlinie schräg durch den Trog läuft! Gieße nunmehr Wasser in den Trog und visiere durch das Wasser hindurch an den Nadeln entlang! Was für eine Veränderung der Fluchtlinie kannst du beobachten? Wie ist die Stellung des einen Nadelpaares zu verändern, damit beim Visieren wieder alle vier Nadeln in einer Geraden liegen?

2. Deute auf einer Heftseite durch eine Gerade die Trennungsfläche zwischen Luft und einem Glasklotz an! Zeichne schräg dazu eine Gerade, die einen durch die Luft einfallenden Lichtstrahl darstellt! Zeichne das Einfallslot ein, miß den Einfallswinkel und entnimm der graphischen Darstellung auf S. 25 den dazugehörigen Brechungswinkel! Ergänze die Zeichnung durch den entsprechenden gebrochenen Strahl! Wiederhole die Zeichnung für andere Einfallswinkel!

3. Erweitere die nach Aufgabe 2 gefertigte Zeichnung, indem du im Abstande von etwa 3 cm eine parallele Gerade ziehst, um dadurch auch die andere Begrenzungsfläche des Glasklotzes anzudeuten! Trage in die Zeichnung auch den aus dem Glasklotz austretenden Lichtstrahl ein! Welchen Einfluß haben

[1] planus (lat.) = eben

die Größe des Einfallswinkels und die Dicke des Glasklotzes auf die seitliche Verschiebung des Strahles?

4. Befestige auf einer schmalen, etwa 30 cm langen Holzleiste nach Art von Abb. 31 mittels eines dünnen Nagels zwei kurze, etwa 10 cm lange Holzleisten! Tauche die lange Leiste bis zum Nagel senkrecht in einen mit Wasser gefüllten Eimer und verstelle die im Wasser befindliche kurze Leiste so, daß sie einen spitzen Winkel mit der langen bildet. Drehe die in der Luft befindliche kurze Leiste so, daß sie die Richtung der im Wasser erblickten fortzusetzen scheint. Ziehe die Leiste aus dem Wasser und vergleiche die spitzen Winkel miteinander!

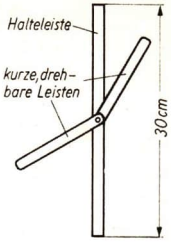


Abb. 31. Halteleiste mit zwei kurzen drehbaren Leisten

§ 5. Optische Linsen

1. Linsenformen. Wir beschaffen uns ein sogenanntes Leseglas oder eine *optische Linse*. Das Glas hat durch Pressen sowie durch nachfolgendes Schleifen und Polieren eine Form erhalten, die mit einer Linsenfrucht vergleichbar ist (Abb. 32). Durch Beschauen und Betasten stellen wir fest, daß das Glas in der Mitte dicker ist als am Rande. Linsen dieser Art sind *nach außen kugelig gewölbt*. Man nennt sie deshalb **Konvexlinsen.** Wir beschränken uns hier auf den einfachen Fall, daß die Linse auf beiden Seiten von Kugelflächen gleicher Krümmung begrenzt wird. Doch sind auch andere Linsenformen gebräuchlich. Es gibt Linsen, die nach innen gewölbt sind. Sie erscheinen *von außen her ausgehöhlt* und heißen deshalb **Konkavlinsen.** Sie sind in der Mitte dünner als am Rande.

Die beiden Seitenflächen einer Linse brauchen durchaus nicht von gleicher Form zu sein. Eine Linse kann auf der einen Seite konvex, auf der anderen konkav sein. Eine der beiden Seitenflächen kann auch eben sein. Abb. 33 gibt uns eine Übersicht über die wichtigsten Linsenformen.

Abb. 32. Polieren von Linsen mit der Hand, aufgenommen auf dem Ausstellungsstand der Rathenower Optischen Werke (ROW) in der Fünfjahrplanausstellung in Berlin. Die Linsen sind auf einen halbkugeligen Linsenträger gekittet und werden durch eine rotierende Schale poliert.

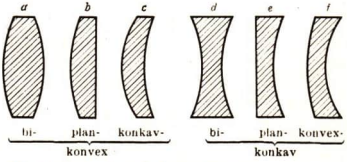


Abb. 33. Die wichtigsten Linsenformen

2. Strahlengang beim Durchgang des Lichtes durch eine Konvexlinse. Wir halten die Linse in das Sonnenlicht. Es gelingt uns, mit ihrer Hilfe ein Sonnenbildchen auf einem Papier zu erzeugen. Dabei ist es gleichgültig, von welcher Seite her wir das Sonnenlicht durch die Linse treten lassen. Bringen wir an die Stelle des Sonnenbildchens eine Streichholzkuppe, so entzündet sich diese (Abb. 34).

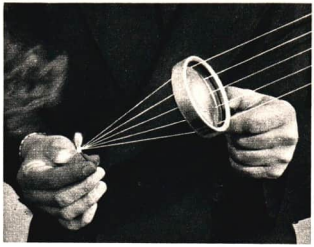


Abb. 34. Die durch eine Sammellinse fallenden Sonnenstrahlen entzünden eine in den Brennpunkt gehaltene Streichholzkuppe. Die im Bild sichtbaren „Lichtstrahlen" sind nachträglich eingezeichnet.

Eine Konvexlinse wirkt als Sammellinse.

Der Punkt, in dem das Sonnenbild entsteht, heißt, ebenso wie beim Hohlspiegel, der **Brennpunkt** (F). Seine Entfernung vom Linsenmittelpunkt heißt **Brennweite** der Linse. Es zeigt sich, daß die Konvexlinse zwei Brennpunkte hat. Sie liegen zu beiden Seiten der Linse im gleichen Abstand von dieser (F_1 und F_2 in Abb. 35) und fallen bei schwach gewölbten Linsen aus gewöhnlichem Glas nahezu mit den *Krümmungsmittelpunkten* der Linsenflächen zusammen. Die durch die beiden Brennpunkte F_1 und F_2 gelegte Gerade geht auch durch den *Linsenmittelpunkt O* und heißt wie beim Hohlspiegel *optische Achse* der Linse.

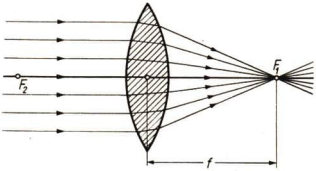


Abb. 35. Parallel zur Achse einer Konvexlinse einfallendes Sonnenlicht wird im Brennpunkt gesammelt. F_1 und F_2 Brennpunkte, f Brennweite.

Bringen wir in den einen Brennpunkt einer Konvexlinse die Glühbirne einer Taschenlampe oder eine Kerze, so entsteht auf einem entfernten Schirm ein Lichtfleck. An seiner Größe erkennen wir wie beim Hohlspiegel, daß die aus der Linse austretenden Strahlen zur optischen Achse parallel laufen (Abb. 36). Ferner lehrt die Erfahrung, daß Lichtstrahlen, die durch den Mittelpunkt der Linse laufen, ihre Richtung nicht ändern, wenn sie gegen die Achse nur wenig geneigt sind.

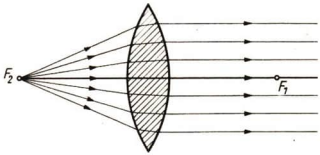


Abb. 36. Lichtquelle im Brennpunkt einer Konvexlinse. Lichtstrahlen, die vom Brennpunkt herkommen, verlassen die Linse parallel zur optischen Achse.

Abb. 37 zeigt zusammenfassend den Verlauf eines *Parallelstrahles*, eines *Brennpunktsstrahles* und eines *Mittelpunktsstrahles* an einer Konvexlinse. Auch bei der Linse nennen wir diese Strahlen wie beim Hohlspiegel *Hauptstrahlen*. Gleichzeitig weist uns die Abbildung auf die Möglichkeit der Bildentstehung an einer Konvexlinse hin.

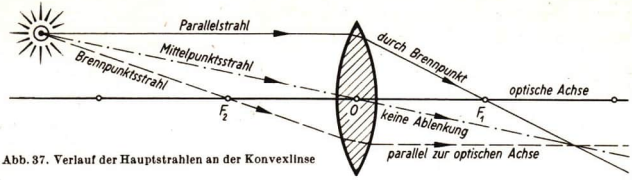


Abb. 37. Verlauf der Hauptstrahlen an der Konvexlinse

3. Die Bildentstehung an der Sammellinse. Wir beschränken uns bei unseren Betrachtungen im folgenden stets auf die Bikonvexlinse (vgl. Abb. 33) und verfolgen die Bildentstehung an der Linse im einzelnen. Dabei rücken wir wie beim Hohlspiegel eine brennende Kerze aus großer Entfernung allmählich an die Linse heran. Auf der anderen Seite der Linse entstehen umgekehrte reelle Bilder, die wir auf einem Papierschirm auffangen. Die hierbei zu unterscheidenden charakteristischen Fälle sind unter Ziffer 1 bis 3 der beigefügten Tabelle zusammengestellt.

Stellt man die Kerze innerhalb der einfachen Brennweite auf, so entsteht kein reelles Bild mehr. Betrachten wir dagegen die Kerze durch die Linse, so erblicken wir ein aufrechtes, vergrößertes Bild der Kerze. Es gelingt uns nicht, dieses Bild auf einem Schirm aufzufangen. Abb. 38 zeigt uns, daß man die aus der Linse austretenden Lichtstrahlen nach rückwärts verlängern muß, wenn sie sich schneiden sollen. Es handelt sich demnach hier um ein *virtuelles Bild* der Kerze.

Vergleiche hierzu Ziffer 4 der Tabelle!

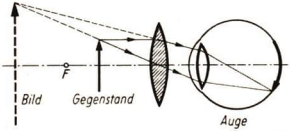


Abb. 38. Strahlengang an einer Sammellinse bei ihrer Verwendung als Vergrößerungsglas. Die aus der Linse austretenden Lichtstrahlen schneiden sich in ihrer rückwärtigen Verlängerung

Bildentstehung an der Sammellinse (Konvexlinse)		
Befindet sich der Gegenstand	**so entsteht sein Bild**	**Es ist**
1. außerhalb der doppelten Brennweite,	**auf der anderen Seite der Linse zwischen der einfachen und der doppelten Brennweite.**	**reell, umgekehrt und kleiner als der Gegenstand.**
2. in der doppelten Brennweite,	**auf der anderen Seite der Linse in der doppelten Brennweite.**	**reell, umgekehrt und ebenso groß wie der Gegenstand.**
3. zwischen der doppelten und der einfachen Brennweite,	**auf der anderen Seite der Linse außerhalb der doppelten Brennweite.**	**reell, umgekehrt und größer als der Gegenstand.**
4. innerhalb der einfachen Brennweite,	**auf derselben Seite der Linse.**	**virtuell, aufrecht und größer als der Gegenstand.**

Verwendet man eine Konvexlinse, um mit ihrer Hilfe ein vergrößertes, aufrechtes, virtuelles Bild eines Gegenstandes zu erzeugen, so bezeichnet man die Linse als *Vergrößerungsglas* oder als *Lupe*. Verschiedene gebräuchliche Ausführungsformen der Lupe werden in § 10,1 angegeben.
Die Entfernung des Gegenstandes von der Linse nennt man auch *Gegenstandsweite*, die des Bildes von der Linse *Bildweite*. Gib den Inhalt der Tabelle unter Benutzung dieser Ausdrücke wieder!

Bildkonstruktionen an einer Konvexlinse. Wir können, wie beim Hohlspiegel, auch die mittels einer Linse erzeugten Bilder zeichnerisch entwickeln. Der Gegenstand wird wieder durch einen Pfeil dargestellt. Ohne einen großen Fehler zu begehen, vereinfachen wir die Zeichnung durch die Annahme, daß die Parallelstrahlen und die Brennpunktsstrahlen bis zur Mittelebene der Linse ungebrochen verlaufen und erst dort abgelenkt werden. Abb. 39 gibt das zeichnerische Verfahren der Bildkonstruktion an einer Sammellinse für den Fall wieder, daß der Gegenstand außerhalb der doppelten Brennweite liegt. Wie bei den Bildkonstruktionen am Hohlspiegel kommt man auch hier mit zwei Lichtstrahlen aus; der dritte dient wieder zur Kontrolle für die Richtigkeit der Zeichnung.

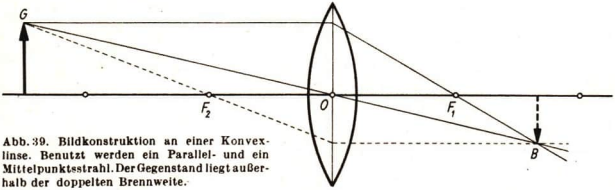


Abb. 39. Bildkonstruktion an einer Konvexlinse. Benutzt werden ein Parallel- und ein Mittelpunktsstrahl. Der Gegenstand liegt außerhalb der doppelten Brennweite.

4. Strahlengang an einer Konkavlinse. Eine Konkavlinse ist in der Mitte dünner als am Rande. Läßt man ein achsenparalleles Strahlenbündel hindurchfallen, so entsteht hinter der Linse auf einem Papierschirm ein heller Fleck, der größer ist als die Linse. Seine Größe nimmt zu, je weiter der Schirm von der Linse entfernt wird. Wir erkennen:

Durch eine Konkavlinse werden parallele Lichtstrahlen zerstreut.

Konkavlinsen heißen deshalb auch *Zerstreuungslinsen*. Bei ihnen treten keine reellen Bilder auf, da sich die gebrochenen Strahlen nicht treffen, sondern immer weiter auseinanderlaufen. Einen Überblick über den Strahlenverlauf beim Durchgang durch eine Konkavlinse vermittelt Abb. 40. Die bei einer Konkavlinse entstehenden Bilder sind stets *virtuell*, *aufrecht* und *verkleinert* wie beim erhabenen Spiegel.

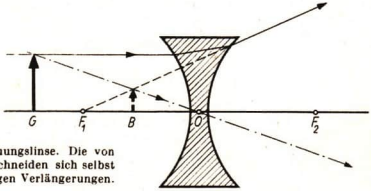


Abb. 40. Virtuelles Bild bei einer Zerstreuungslinse. Die von einem Punkte ausgehenden Lichtstrahlen schneiden sich selbst nicht wieder, sondern nur in ihren rückwärtigen Verlängerungen.

5. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Prüfe mit Hilfe einer brennenden Kerze, einer Sammellinse und eines Papierschirmes sämtliche in der Tabelle zusammengestellten Fälle der Bildentstehung nach!
2. Bilde eine Kerze mittels einer Sammellinse auf einem Papierschirm ab und verdecke dann die eine Hälfte der Linse mit schwarzem Papier! Was kannst du beobachten?
3. Ermittle die Brennweiten verschiedener Linsen in der auf S. 28 angegebenen Weise!
4. Fülle eine Glaskugel (Wandvase) mit Wasser und halte sie ins Sonnenlicht! Beschreibe die Wirkung der als Linse wirkenden Kugel und bestimme ihre Brennweite!
5. Beschreibe die sechs in Abb. 33 dargestellten Linsenformen!
6. Führe die auf S. 30 angegebene Bildkonstruktion für alle in der Tabelle auf S. 29 zusammengefaßten vier Fälle durch!

§ 6. Der Sehvorgang

1. Das menschliche Auge. Abb. 41 stellt einen waagerechten Schnitt durch das menschliche Auge dar.

Der in optischer Hinsicht wichtigste Teil ist die *Augenlinse*, auch *Kristallinse* genannt. Sie besteht aus einer farblosen, durchsichtigen, elastischen Masse und hat die Form einer bikonvexen Linse mit verschieden gekrümmten Begrenzungsflächen. Ihre Vorderseite grenzt an die ringförmige *Regenbogenhaut* oder *Iris*, die die *Pupille*, das Sehloch, umschließt.

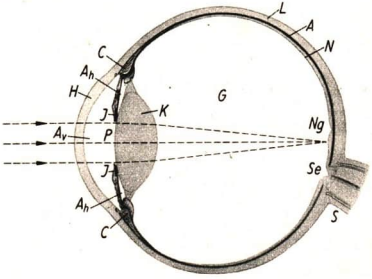


Abb. 41. Waagerechter Schnitt durch das Auge (schematisch).
L Lederhaut, feste undurchsichtige Hülle des Augapfels; *H* Hornhaut, durchsichtige Fortsetzung der Lederhaut; *A* Aderhaut, von feinsten Blutgefäßen durchzogen; *J* Iris, (Regenbogenhaut), dehnbare Fortsetzung der Aderhaut; *P* Pupille, Sehloch in der Regenbogenhaut; *N* Netzhaut, sie ist die lichtempfindliche Schicht des Auges und enthält die Enden der Sehnervfasern; *Ng* Netzhautgrube; *S* Sehnerv; *Se* Sehnervende; *K* Kristalllinse, durchsichtig, elastisch, in der Wölbung veränderlich; A_v und A_h vordere und hintere Augenkammer mit Augenwasser gefüllt; *C* Ciliarmuskel, Muskel zur Veränderung der Linsenkrümmung; *G* Glaskörper, aus einer gallertartigen, durchsichtigen Masse bestehend.

a) Die Augenlinse. Die von einem Gegenstand ausgehenden Lichtstrahlen dringen durch die Pupille in das Innere des Auges. Sie werden bei einem normalsichtigen Auge im wesentlichen durch die Linse so gebrochen, daß auf der Netzhaut ein reelles, umgekehrtes, verkleinertes Bild entsteht (Abb. 42). Der Linse fällt dabei noch eine besondere Funktion zu. Je weiter sich ein Gegenstand von der Linse entfernt, desto kleiner wird bekanntlich seine Bildweite. Je näher der Gegenstand heranrückt, desto größer wird sie (vgl. § 5, 3). Soll bei jeder beliebigen

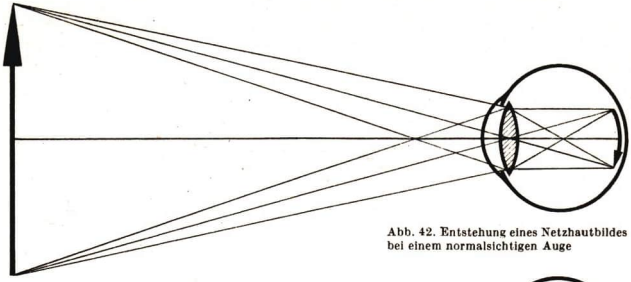


Abb. 42. Entstehung eines Netzhautbildes bei einem normalsichtigen Auge

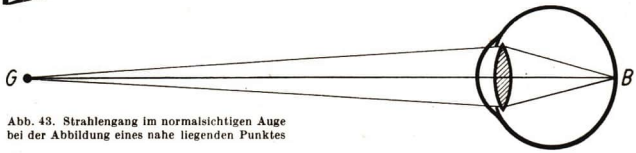


Abb. 43. Strahlengang im normalsichtigen Auge bei der Abbildung eines nahe liegenden Punktes

Entfernung des betrachteten Gegenstandes ein deutliches Bild auf der Netzhaut entstehen, so müßte sich der Abstand der Netzhaut von der Linse der Veränderung der Bildweite anpassen. Das heißt, der Augapfel müßte dehnbar sein. Dies ist aber nicht der Fall, die Entfernung Linse-Netzhaut ist unveränderlich. Veränderlich dagegen ist die Krümmung der Linse. Sie stellt sich so ein, daß sowohl beim Betrachten naher wie entfernter Gegenstände die Bilder stets in der gleichen Bildweite, nämlich auf der Netzhaut, entstehen. Richtet man den Blick auf einen nahe liegenden Gegenstand, so spannt sich der *Ciliarmuskel* selbsttätig. Dabei zieht sich die Linse infolge ihrer Elastizität etwas zusammen und krümmt sich stärker. Blickt man in die Ferne, so entspannt sich der Ciliarmuskel. Die Linse dehnt sich dabei und flacht sich ab.

Man kann die Entfernung eines Gegenstandes vom Auge nicht beliebig verringern, wenn Einzelheiten noch erkennbar sein sollen. Die Mindestentfernung, bei der dies noch der Fall ist, ist bei den einzelnen Menschen verschieden; sie beträgt 8 cm bis 18 cm. Umgekehrt vermag das normalsichtige Auge noch die in riesiger Entfernung befindlichen Sterne als leuchtende Punkte zu sehen, wenn auch Einzelheiten nicht mehr erkennbar sind.

In Abb. 43 ist noch einmal für ein normalsichtiges Auge der Strahlengang beim Betrachten eines auf der Augenachse liegenden Punktes wiedergegeben.

Die *Netzhautbilder stehen umgekehrt* (vgl. Abb. 42); trotzdem sieht der Mensch die Gegenstände aufrecht. Dieses Aufrechtsehen ist ein Ergebnis der Erfahrung und der Gewohnheit.

b) Die Iris oder Regenbogenhaut. Wir blicken ins Helle (doch nicht in die Sonne!) und betrachten kurz darauf die Größe unserer Pupillen im Spiegel. Wir führen dieselbe Beobachtung durch, nachdem wir uns längere Zeit in einem dunklen Raum

aufgehalten haben. Es fällt uns auf, daß sich die Pupillen von selbst bei starkem Lichteinfall verengen und umgekehrt in der Dunkelheit erweitern.
Zum deutlichen Erkennen eines Gegenstandes ist eine bestimmte Helligkeit dieses Gegenstandes erforderlich. Sie darf nicht zu klein, aber auch nicht zu groß sein. So werden die Augen durch das Lesen bei nicht hinreichender Beleuchtung überanstrengt, andererseits ermüden sie leicht beim Lesen im grellen Sonnenlicht.
Das Auge paßt sich mit Hilfe der veränderbaren *Iris* oder *Regenbogenhaut* der Helligkeit an. Durch die *Pupille* (das Sehloch) gelangen die Lichtstrahlen in das Innere des Auges und rufen dort einen Reiz hervor. Die Stärke dieses Reizes ist von der Helligkeit des betrachteten Gegenstandes und von seiner Entfernung vom Auge abhängig. Unsere Beobachtungen zeigen, daß die Größe der Pupillen wechselt. *Ist die Umgebung nur schwach erhellt, dann weiten sich die Pupillen*, so daß genügend Licht in das Innere des Auges eindringt. *Ist es zu hell, dann verengen sich die Pupillen* und gewähren nur einem Teil des Lichtes Zutritt. Die sehr empfindliche Netzhaut bleibt auf diese Weise vor einem Schaden durch zu starke Reizwirkung bewahrt.

2. Kurzsichtigkeit, Weitsichtigkeit, Übersichtigkeit. Manche Menschen vermögen in der Ferne nichts zu erkennen, während sie nahe Gegenstände deutlich sehen. Man bezeichnet einen solchen Augenfehler als **Kurzsichtigkeit**. Bei kurzsichtigen Menschen entstehen die von der Augenlinse erzeugten Bilder nicht auf, sondern vor der Netzhaut (Abb. 44a). Kurzsichtigkeit ist häufig auf eine übermäßige Länge des Augapfels zurückzuführen. Sie kann aber auch andere Ursachen haben und sich allmählich entwickeln. Bei fortgesetzter Beanspruchung auf Nahentfernung verliert nämlich die Augenlinse bis zu einem gewissen Grade ihre Fähigkeit, sich auf Fernbetrachtung einzustellen. Es ist daher verständlich, daß die hierauf zurückzuführende Kurzsichtigkeit besonders stark bei geistig arbeitenden Menschen verbreitet ist. Will man dem Auge seine Anpassungsfähigkeit an die Ferne erhalten, so muß man darauf achten, daß sich die Augen im normalen Sehabstand vom Papier befinden. Dieser beträgt etwa 25 cm.

Durch eine *Brille* läßt sich die normale Sehfähigkeit wiederherstellen. Brillen sind etwa seit der Mitte des 14. Jahrhunderts bekannt. Ihre Erfindung bedeutete für die menschliche Gesellschaft einen gewaltigen Fortschritt. Denn unzählige Menschen wurden dadurch vor einer Verminderung ihrer Arbeitsfähigkeit infolge Kurzsichtigkeit bewahrt.

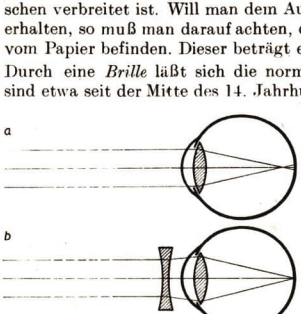


Abb. 44. Kurzsichtiges Auge
a) Kurzsichtigkeit infolge einer übermäßigen Länge des Augapfels. Das Bild eines fernen Punktes liegt vor der Netzhaut.
b) Kurzsichtiges Auge mit Brille. Die Kurzsichtigkeit wird durch eine Zerstreuungslinse (Konkavlinse) ausgeglichen.

Brillengläser für Kurzsichtige sind Konkavlinsen. Die vom Gegenstand auf die Brille treffenden Strahlen werden etwas zerstreut, so daß das Bild nun wieder auf der Netzhaut entsteht (Abb. 44b).

Von der **Weitsichtigkeit** werden von einem bestimmten Lebensalter an (40 bis 50 Jahre) die meisten Menschen betroffen. Gegenstände in der Nähe werden nicht mehr deutlich wahrgenommen. Weitsichtige halten beim Lesen das Buch in einer

Entfernung von 50 cm und weiter, um die Schrift deutlich zu erkennen. Diese *Altersweitsichtigkeit* hat folgende Ursache: Mit zunehmendem Alter verhärtet die Linse allmählich; ihre Elastizität läßt immer mehr nach. Dadurch verliert die Linse die Fähigkeit, sich stärker zu wölben; das Bild eines nahe liegenden Gegenstandes entsteht hinter der Netzhaut (Abb. 45a).

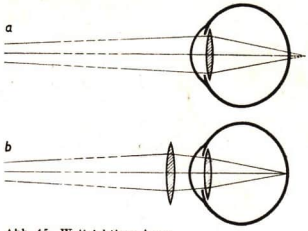


Abb. 45. Weitsichtiges Auge
a) Altersweitsichtigkeit. Die Linse wölbt sich nicht mehr genügend. Das Bild eines nahe liegenden Punktes entsteht hinter der Netzhaut.
b) Weitsichtiges Auge mit Brille. Die Weitsichtigkeit wird durch eine Sammellinse ausgeglichen.

Der Sehfehler kann aber auch dadurch verursacht sein, daß der Augapfel zu kurz ist. Man spricht dann von **Übersichtigkeit**. Beim weitsichtigen wie beim übersichtigen Auge schafft man *Abhilfe durch Brillen, deren Gläser aus Sammellinsen bestehen* (Abb. 45b). Sie unterstützen die Augenlinse beim Sammeln der Lichtstrahlen.

Woran erkennt man, ob man es mit einer Brille für Weitsichtige oder Kurzsichtige zu tun hat?

3. Der Sehwinkel. Wir können mit der Hand ein großes Wandbild verdecken. Wie stellen wir es an? Fernstehende Fabrikschornsteine erscheinen uns häufig kleiner als die Bäume an der Landstraße.

Halte ein Geldstück dicht vor das Auge und strecke dann langsam den Arm! Beobachte, welche Flächen dabei das Geldstück an der Wand überdeckt!

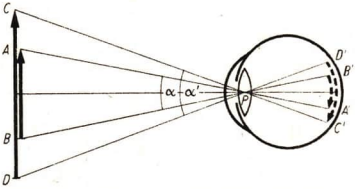


Abb. 46. Die Abhängigkeit der Größe des Sehwinkels von der Größe des Gegenstandes bei gleicher Entfernung. Eine Vergrößerung des Gegenstandes ist notwendigerweise mit einer Vergrößerung des Sehwinkels verbunden.

Es ist ohne weiteres einleuchtend, daß *von einem größeren Gegenstand ein größeres Netzhautbild entsteht* als von einem kleineren, gleich weit entfernten. Einzelheiten über die Abhängigkeit des Netzhautbildes von der Größe des Gegenstandes vermittelt uns Abb. 46. Der Pfeil AB der Abb. 46 ruft das Netzhautbild $A'B'$ hervor, der in der gleichen Entfernung liegende größere Pfeil CD das ebenfalls größere Netzhautbild $C'D'$. Wir erblicken den Pfeil AB unter dem Winkel α und den Pfeil CD unter dem Winkel α'. Diese Winkel nennt man *Sehwinkel.*

Je größer ein betrachteter Gegenstand ist, desto größer ist bei gleicher Entfernung der Sehwinkel. Je größer der Sehwinkel ist, desto größer ist das Netzhautbild.

Wie uns Abb. 47 zeigt, ist die Größe des Netzhautbildes aber nicht nur von der Größe des Gegenstandes abhängig.

In Abb. 47 sind die beiden Pfeile AB und CD gleich groß, aber in verschiedenen Abständen vom Auge gezeichnet. Den weiter entfernten Pfeil AB erblicken wir

unter dem kleinen Sehwinkel α, den dem Auge näher liegenden Pfeil CD unter dem großen Sehwinkel α'. Dementsprechend entstehen die verschieden großen Netzhautbilder $A'B'$ und $C'D'$. Für die Größe des Sehwinkels ist also außer der Größe des Gegenstandes auch die Entfernung von unserem Auge maßgebend.

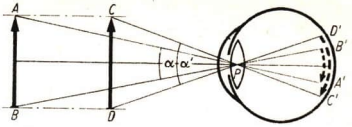


Abb. 47. Abhängigkeit der Größe des Sehwinkels von der Entfernung des Gegenstandes. Eine Annäherung des Gegenstandes an das Auge führt zu einer Vergrößerung des Sehwinkels.

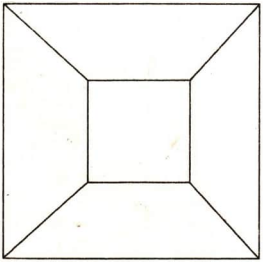
Je mehr sich ein Gegenstand dem Auge des Beschauers nähert, um so größer wird der Sehwinkel; je weiter sich der Gegenstand vom Auge entfernt, desto kleiner wird der Sehwinkel.

Sinkt der Sehwinkel unter ein bestimmtes Maß, so wird der Gegenstand für unser Auge unsichtbar. Beobachten wir beispielsweise bei klarer Sicht einen fliegenden Vogel, so entschwindet er bei einer gewissen Entfernung unseren Blicken.

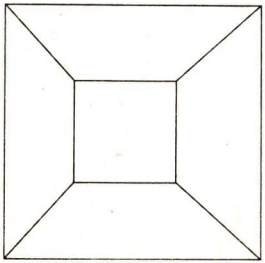
4. Das körperliche Sehen. Wir schließen ein Auge und versuchen, eine Nähnadel einzufädeln. — Wir halten nur ein Auge geöffnet und greifen von der Seite her nach verschieden weit entfernten Gegenständen. — Wir stellen in ungefähr 40 cm Entfernung einen Bleistift vor uns auf den Tisch. Dann schließen wir ein Auge und versuchen, mit dem ausgestreckten Zeigefinger von der Seite her die Spitze des Bleistiftes zu treffen; es wird uns nicht immer gelingen. Anders ist es dagegen, wenn wir bei dem Versuch beide Augen öffnen.

Wir schließen daraus, daß wir zum räumlichen Sehen beide Augen brauchen. Beim Lesen und beim Betrachten eines ebenen Bildes bemerken wir keinen Unterschied, wenn wir mit dem rechten oder dem linken Auge allein sehen. Das rührt daher, daß flächenhafte Gebilde in beiden Augen übereinstimmende Netzhautbilder hervorrufen. Betrachten wir dagegen einen Körper, so gleichen sich die beiden Netzhautbilder nicht.

Blicken wir beispielsweise auf einen Pyramidenstumpf genau von oben, so sehen ihn beide Augen etwas verschieden (Abb. 48).



a) Bild beim Betrachten mit dem linken Auge



b) Bild beim Betrachten mit dem rechten Auge

Abb. 48. Bilder eines Pyramidenstumpfes beim Betrachten von oben

Der Unterschied zwischen beiden Bildeindrücken erklärt sich daraus, daß das linke Auge infolge seiner Stellung mehr von der linken Seite des Körpers erblickt, das rechte Auge aus dem gleichen Grunde mehr von der rechten Seite.
Nicht anders ist es, wenn wir einen Gegenstand mit dem ausgestreckten Arm vor uns hinhalten und ihn dabei gegen die Tafel als Hintergrund betrachten. Auf der Tafel bringen wir eine Reihe von Marken an. Öffnen wir nun abwechselnd das rechte und das linke Auge, so scheint der Gegenstand vor dem Hintergrund hin- und herzuspringen (Abb. 49). Die Verschiedenheit der Netzhautbilder und ihr Verschmelzen zu einem einzigen Seheindruck bewirken, daß wir die Körper räumlich und nicht flächenhaft sehen. Dabei spielt auch die Gewöhnung eine große Rolle. Unterstützt wird unser Urteil noch durch die Verteilung von Licht und Schatten.

Abb. 49. Scheinbare Verschiebung eines Gegenstandes vor dem Hintergrund. Das rechte Auge sieht den Gegenstand bei *I*, das linke Auge bei *II*.

Je weiter die Gegenstände von uns entfernt sind, um so weniger weichen die beiden Netzhautbilder voneinander ab. Daher kommt es, daß uns sehr weit entfernte Gegenstände (etwa von 1 km ab), z. B. ferne Gebirgsketten oder der Mond, nicht mehr körperlich, sondern flächenhaft erscheinen.

Wir können den in Abb. 48 dargestellten Pyramidenstumpf räumlich sehen. Dazu brauchen wir nur im sogenannten *Starrblick* das linke Teilbild mit dem linken Auge, das rechte Teilbild mit dem rechten Auge zu betrachten. Um dies zu erleichtern, benutzen wir eine Papptafel von etwa 25 cm bis 30 cm Länge! Wir stellen sie mit ihrem unteren Rand zwischen die beiden Teilbilder und nähern das Gesicht dem oberen Rand (mit der Nasenspitze berühren!), so daß das linke Auge nur das linke Bild und das rechte Auge nur das rechte Bild sieht. Nach einiger Zeit verschmelzen beide Bilder bei normalsichtigen Augen zu einem einzigen, körperlich erscheinenden Bild. Man hat darauf zu achten, daß beide Teilbilder gleich hell sind und nicht eins von ihnen durch die Pappscheibe beschattet wird.

5. Die Dauer des Lichteindruckes. Wir bewegen eine leuchtende Taschenlampe erst langsam, dann möglichst schnell im Kreise. Bei langsamer Bewegung können wir die Glühbirne deutlich erkennen, bei schneller Bewegung dagegen erscheint sie uns zu einer leuchtenden Linie auseinandergezogen, deren Einzelheiten wir nicht mehr unterscheiden können. — Blicken wir einen Augenblick gegen den glühenden Draht einer elektrischen Glühlampe und schließen dann die Augen, so haben wir noch lange den Eindruck, als sähen wir den leuchtenden Draht vor einem dunklen Hintergrund.
Das ins Auge dringende Licht übt einen Reiz auf die Netzhaut aus. Dieser Reiz ist um so stärker, je heller die Lichtquelle ist und je näher sie sich dem Auge befindet. Nach dem Erlöschen des Lichtes wirkt der Reiz noch eine Zeitlang nach. Infolgedessen besteht auch die Lichtempfindung in unserem Bewußtsein kurze Zeit fort. Folgen nun die einzelnen Lichteindrücke sehr schnell aufeinander, so ist der durch den vorangehenden Lichteindruck hervorgerufene Reiz noch nicht abgeklungen, wenn der neue Reiz erfolgt. Beide Lichteindrücke vereinigen sich daher zu einem einzigen Lichteindruck.

Diese Tatsache wird beim Vorführen von Kinofilmen ausgenutzt. Es werden von dem sich bewegenden Gegenstand in der Regel 24 Aufnahmen in der Sekunde gemacht. Diese 24 Aufnahmen sind alle voneinander verschieden; jede folgende

unterscheidet sich um so viel von der vorhergehenden, als der Bewegungsvorgang während der Zeit von $\frac{1}{24}$ Sekunde weiter vorgeschritten ist (Abb. 50). Führt man den Film nun mit derselben Geschwindigkeit vor, mit der er aufgenommen wurde, dann hat der Zuschauer den Eindruck einer fortlaufenden Bewegung. Er entsteht, weil die Zeitspanne zwischen dem Aufleuchten zweier aufeinanderfolgender Filmbilder so bemessen ist, daß die durch die Bilder verursachten Netzhautreize miteinander verschmelzen. Läuft der Film bei der Wiedergabe mit größerer Geschwindigkeit als bei der Aufnahme, dann erscheinen alle Bewegungen überhastet und unnatürlich.

Will man schnell verlaufende Bewegungen wiedergeben, denen das Auge nicht zu folgen vermag, dann werden von diesen Bewegungsvorgängen beispielsweise 240 Aufnahmen in der Sekunde gemacht. Läßt man einen solchen Film bei der Vorführung mit normaler Geschwindigkeit laufen, dann benötigt man zum Ablauf der in einer Sekunde aufgenommenen 240 Aufnahmen 10 Sekunden. Der Bewegungsvorgang spielt sich mithin in einer 10mal so langen Zeit ab, er kann somit in seinen Einzelheiten besser verfolgt werden. Man spricht von *Zeitlupen-*, besser *Zeitdehnungsaufnahmen*. Zeitdehnungsaufnahmen finden unter anderem in Sportschulen als Lehrmittel Verwendung, wenn Sportschüler beispielsweise einen vorbildlichen Sprung oder die Körperhaltung beim Diskuswerfen in allen Einzelheiten studieren sollen.

Umgekehrt kann man mit Hilfe eines Lauffilmes auch Bewegungsvorgänge sichtbar machen, die sich über lange Zeiträume erstrecken und so langsam vor sich gehen, daß sie das Auge als Bewegungen nicht erkennt (z. B. das Aufblühen einer Rose). Man macht zu diesem Zwecke etwa in jeder Minute eine Aufnahme. Führt man diesen Film nachher mit normaler Geschwindigkeit vor, so spielt sich der Vorgang, der in der Natur 24 Minuten Zeit erfordert, in einer Sekunde ab. Man spricht in diesem Falle von *Zeitrafferaufnahmen*.

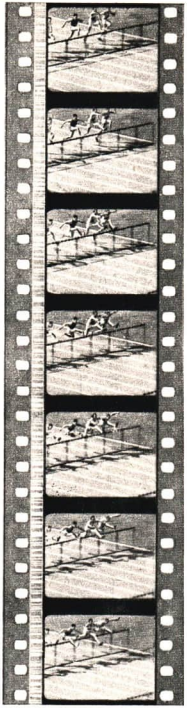


Abb. 50. Filmstreifen eines Hürdenlaufs. Aufgenommen bei den III. Weltfestspielen der Jugend und Studenten für den Frieden in Berlin 1951.

6. Versuche, Fragen, 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 unsichtbar.
2. Warum ermüden die Augen leicht beim Lesen im Sonnenlicht? — Warum werden sie beim Lesen bei unzureichender Beleuchtung überanstrengt?

3. Wie kann man mit einem vor die Augen gehaltenen Geldstück den Mond verdecken?
4. Warum erscheinen uns Sonne und Vollmond als Scheiben von nahezu gleicher Größe, obwohl die Sonne einen etwa 400mal so großen Durchmesser hat wie der Mond?
5. Warum erscheinen breite Flüsse vom Ufer aus schmaler, als sie in Wirklichkeit sind?
6. Warum scheinen die Telegraphenstangen an einer Eisenbahnlinie nach der Ferne zu immer kleiner zu werden?
7. Warum laufen die Schienen der Eisenbahn scheinbar in der Ferne zusammen?
8. Strecke den rechten Arm aus und halte dabei den Daumen empor! Schließe abwechselnd das rechte und das linke Auge und beobachte, wie der Daumen vor dem Hintergrund „springt"!
9. Auf den wievielten Teil der ursprünglichen Zeitspanne wird bei der oben erwähnten Zeitrafferaufnahme der aufgenommene Bewegungsvorgang zusammengedrängt?

§ 7. Die photographische Kamera

1. Die Plattenkamera. Abb. 51 zeigt schematisch einen Längsschnitt durch eine *Plattenkamera* älterer Bauart. Sämtliche Teile der Kamera sind beim Nichtgebrauch in einem Gehäuse untergebracht. Die Vorderwand läßt sich um 90° herabklappen und dient dann als Laufboden für einen aus dem Gehäuse herausziehbaren Rahmen. Dieser ist mit der Rückwand durch einen lichtdichten Lederbalgen verbunden und trägt den wertvollsten Teil der Kamera, die Linse oder das *Objektiv*. Ein gutes Objektiv besteht nicht, wie wir bisher stillschweigend angenommen haben, aus einer einzelnen Linse, sondern es ist aus mehreren Linsen zusammengesetzt (Abb. 52a). Dadurch erreicht man schärfere Bilder. Denn ein Linsensystem beseitigt Bildungenauigkeiten, die bei einer einzelnen Linse zum Teil noch auftreten. Mit großer Sorgfalt werden die Glassorten auf ihre optischen Eigenschaften geprüft, die Schliffe ausgeführt, die Linsen verkittet und in die Fassungen eingesetzt. Auch das bekannte Warenzeichen

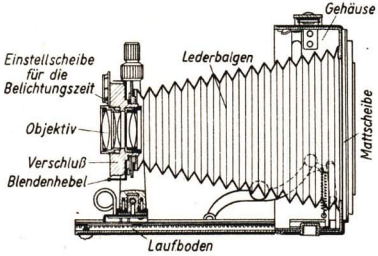


Abb. 51. Photographische Kamera. Plattenkamera älterer Bauart

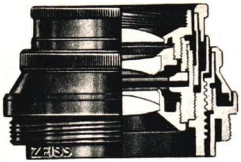


Abb. 52a Objektiv Zeiss-Tessar

Abb. 52b Warenzeichen des Carl-Zeiss-Werkes Jena VEB

auf den Erzeugnissen des volkseigenen Carl-Zeiss-Werkes stellt die Kombination einer Konvex- mit einer Konkavlinse dar (Abb. 52b). Diese Linsenkombination wird im Objektiv Zeiss-Tessar verwendet.
In die Rückwand der Kamera ist eine Scheibe aus Mattglas, die *Mattscheibe*, eingelassen. Bei der Bildaufnahme müssen wir das Objektiv so weit verschieben, bis auf der Mattscheibe ein scharfes Bild des aufzunehmenden Gegenstandes erscheint. Dann wechseln wir die Mattscheibe gegen eine in einer lichtdichten Kassette befindliche photographische[1] Platte aus und machen die Aufnahme. Wir lösen den *Verschluß* aus und geben dadurch für eine bestimmte, meist sehr kurze Zeit die Öffnung der Kamera frei, so daß die Platte belichtet wird. Plattenkameras der beschriebenen Art werden meist für die Bildgrößen 6 cm × 9 cm und 9 cm × 12 cm gebaut.

2. Die Rollfilm-Klappkamera. Wesentlich einfacher ist die Handhabung einer **Rollfilmkamera** (Abb. 53). Bei ihr erfolgt die Aufnahme auf einem Filmband. Es liegt lichtdicht eingekapselt in einem schmalen Gehäuse und wird mit Hilfe einer Drehvorrichtung von einer Spule ab- und auf eine zweite aufgewickelt (Abb. 54). Ein aus dem Gehäuse herausklappbarer Lederbalgen schließt den Kameraraum allseitig lichtdicht ab und trägt an der Vorderseite das Objektiv und den Verschluß mit der Blende. Die üblichen Bildgrößen der Rollfilmkameras sind 6 cm × 9 cm, 6 cm × 6 cm und 4½ cm × 6 cm.
Bei einer Rollfilmkamera fällt die Scharfeinstellung des Bildes auf der Mattscheibe fort. Man schätzt möglichst genau die Entfernung des Aufnahmegegenstandes von der Kamera und stellt das Objektiv mit Hilfe einer an einer Fassung angebrachten Skala durch Drehen auf die geschätzte Entfernung ein. Da die Möglichkeit zur direkten Beobachtung des Bildes auf der Mattscheibe fehlt, ist jede Rollfilmkamera mit einem *Sucher* ausgestattet, der dem Kameragehäuse seitlich anliegt. Er dient zum Ermitteln des Bildausschnitts.

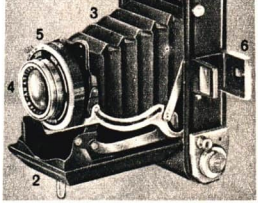


Abb. 53. Rollfilm-Klappkamera „Erkona", hergestellt von VEB Zeiss Ikon, Dresden. Objektiv: Novar, Brennweite: 11 cm, Bildgröße: 6 cm × 9 cm.

1 Gehäuse mit Filmspulen, *2* Klappdeckel mit Führungshebeln für das Objektiv, *3* Lederbalgen, *4* Objektiv, *5* Verschluß, *6* Aufgeklappter Sucher.

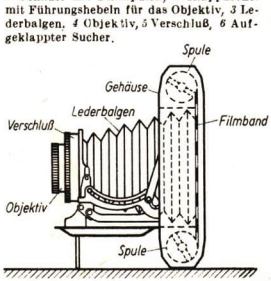


Abb. 54. Schnitt durch eine Rollfilm-Klappkamera (schematisch)

3. Die Kleinbildkamera. Die modernste Form der Kamera ist die *Kleinbildkamera*. Ihre übliche Bildgröße ist 24 mm × 36 mm. Als Aufnahmematerial dient gewöhnlicher Kino-

[1] phos (griech.) = Licht, gráphein (griech.) = schreiben

Abb. 55. Kleinbildkamera „Praktika", hergestellt von den volkseigenen Kamera-Werkstätten, Dresden.
Zeiss-Objektiv Biotar, Brennweite 5,8 cm
Bildgröße 24 mm × 36 mm
Der Sucher ist nicht herausgeklappt.

1 Auslöseknopf
2 Filmtransportknopf
3 Bildzählscheibe
4 Einstellknopf für Verschlußzeiten
5 Rückspulknopf
6 Objektiv
7 Einstellung für die Blendenöffnung
8 Einstellring für die Entfernung
9 Sucher

film. Er ist in einem Gehäuse zwischen zwei Spulen ausgespannt. Die eigentliche Kamera wird gebildet von einem Metallrohr, das auf dem Gehäuse aufsitzt und das Objektiv trägt. Dieses muß mit Rücksicht auf die Kleinheit der Bilder optisch besonders gut durchkonstruiert sein.

Abb. 55 zeigt die bekannte „Praktika", eine hochentwickelte, von den volkseigenen Kamera-Werkstätten Dresden, geschaffene Form der Kleinbildkamera. Bei ihr wird die Scharfeinstellung des Bildes durch eine sinnreiche, mit dem Sucher verbundene Spiegeleinrichtung weitgehend vereinfacht. Einstellungsfehler werden dadurch unmöglich gemacht.

4. Die Blenden des photographischen Apparates. Die in das Innere des photographischen Apparates gelangende Lichtmenge muß so bemessen sein, daß die lichtempfindliche Schicht weder über- noch unterbelichtet wird. Die eindringende Lichtmenge muß der Helligkeit des Aufnahmegegenstandes angepaßt werden. Dies erfolgt aber nicht automatisch; wir müssen die Regelung dieser Lichtmenge selbst vornehmen. Das geschieht, indem wir den Verschluß der Kamera verschieden lange öffnen. Hinter dem Objektiv befindet sich eine Blende mit einer in ihrer Größe veränderbaren, kreisrunden Öffnung. Da die Veränderung der Blendenöffnung rein äußerlich eine gewisse Ähnlichkeit mit der Erweiterung und Verengung der Pupille des Auges durch die Regenbogenhaut oder Iris hat, heißt eine derartige Blende *Irisblende* (Abb. 56). Aufgabe der Blende ist es zunächst, die den Rand der Linse durchdringenden Strahlen abzublenden. Dadurch wird eine schärfere Zeichnung der Bilder erreicht, und zwar um so mehr, je kleiner die Blendenöffnung ist. Außerdem wird durch die Größe der Öffnung die einfallende Lichtmenge beeinflußt. Es ergibt sich daraus neben der Verstellung des Verschlusses eine weitere Möglichkeit zur Regelung der Belichtungszeit.

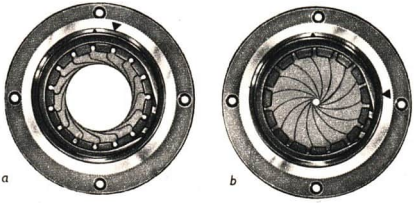


Abb. 56. Irisblende
a) große, b) kleine Blendenöffnung. Die Deckplatte ist abgenommen. Eine Drehung des Stellringes nach rechts bewirkt eine Verengung der Blendenöffnung. Beachte die Einstellmarken!

5. Versuche und Fragen:

1. Richte eine Mattscheibenkamera aus geringer Entfernung gegen ein Fenster und betrachte das Mattscheibenbild! Schließe die Blende allmählich! Welchen Einfluß hat dies a) auf die Helligkeit, b) auf die Schärfe des Bildes?
2. Welchem Zweck dient bei einer photographischen Kamera der Verschluß?
3. Welche Aufgabe hat bei einer photographischen Kamera die Blende?
4. Welche Möglichkeiten bestehen bei einer photographischen Kamera zur Regelung der in die Kamera eindringenden Lichtmenge?
5. Welcher der in der Tabelle auf S. 29 zusammengefaßten Fälle findet auf die photographische Kamera Anwendung?

§ 8. Lichtmessung

1. Lichtstärke und Beleuchtungsstärke. Warum geht man beim Einfädeln einer Nähnadel nahe an die Lampe heran? Wenn wir die Lampe näher rücken, um beim Lesen oder bei einer Handarbeit gut sehen zu können, so strahlt sie deshalb zwar nicht mehr Licht aus, aber es wird doch heller auf unserem Platze.

Wir haben zu unterscheiden zwischen der *Lichtstärke* und der *Beleuchtungsstärke*.

Die Lichtstärke kennzeichnet die Helligkeit einer Lichtquelle, die Beleuchtungsstärke kennzeichnet die Helligkeit einer beleuchteten Fläche.

Wie man durch einen Versuch zeigen kann, ist die *Beleuchtungsstärke* in bestimmter Weise *von der Entfernung* des beleuchteten Gegenstandes *von der Lichtquelle abhängig*. Siehe dazu Abb. 57!

Wir lassen das Licht einer kleinen elektrischen Glühlampe (Taschenlampe, Fahrradlampe) auf einen weißen Papierschirm fallen, der mit Millimeterpapier

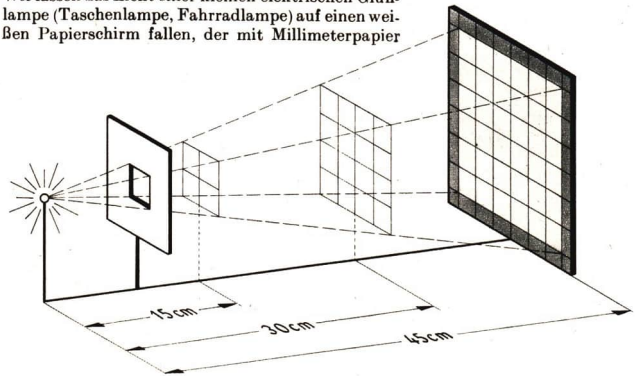


Abb. 57. Die Beleuchtungsstärke einer beleuchteten Fläche nimmt ab, wenn man diese von der Lichtquelle abrückt. Die Stellung der quadratischen Blende bleibt unverändert. Der Schirm wird der Reihe nach auf eine Entfernung von 15 cm, 30 cm, 45 cm von der Lichtquelle gebracht. Die letzte Stellung ist in der Abbildung wiedergegeben.

überzogen ist. Zwischen die Lampe und den Schirm stellen wir als Blende einen Pappschirm mit quadratischem Ausschnitt. Den Abstand des Schirms von der Lampe wählen wir so, daß auf ihm gerade 4 Quadrate beleuchtet werden. Der Abstand betrage beispielsweise 15 cm. Vergrößern wir nunmehr die Entfernung des Schirms von der Lichtquelle auf das Doppelte, also auf 30 cm, so wächst die beleuchtete Fläche auf 16 Quadrate, mithin auf das Vierfache der ursprünglichen Größe an. Beim Vergrößern der Entfernung auf das Dreifache, d. h. auf 45 cm, werden 36 Quadrate, mit anderen Worten, die neunfache Fläche beleuchtet.
Die durch die Öffnung dringende Lichtmenge bleibt unverändert. Infolgedessen sinkt die Beleuchtungsstärke, der Vergrößerung der beleuchteten Fläche entsprechend, vom ursprünglichen Wert (1 in einem Schirmabstand von 15 cm) auf den vierten, bzw. auf den neunten Teil.
Die beigefügte Tabelle faßt die Versuchsergebnisse noch einmal zusammen:

Zusammenhang zwischen der Entfernung von der Lichtquelle und der Beleuchtungsstärke

Entfernung des Schirms von der Lichtquelle		Zahl der beleuchteten Quadrate	Größe der beleuchteten Fläche		Lichtmenge je Quadrat
15 cm	1fach	4	4 cm²	1fach	$\frac{1}{1}$ des ursprünglichen Wertes
30 cm	2fach	16	16 cm²	4fach	$\frac{1}{4}$
45 cm	3fach	36	36 cm²	9fach	$\frac{1}{9}$
60 cm	4fach				
75 cm	5fach				

Fülle die letzten beiden Zeilen der Tabelle selbst aus!
Noch anschaulicher gibt eine *graphische Darstellung* die Zusammenhänge wieder (Abb. 58). Wir tragen auf der waagerechten Achse die Abstände des Schirms von der Lichtquelle ab. Um die Zeichnung übersichtlich zu gestalten, verkleinern wir dabei den Maßstab der waagerechten Achse auf den zehnten Teil. Auf der senkrechten Achse veranschaulichen wir die Beleuchtungsstärke. Wir ordnen dabei der ursprünglichen Beleuchtungs-

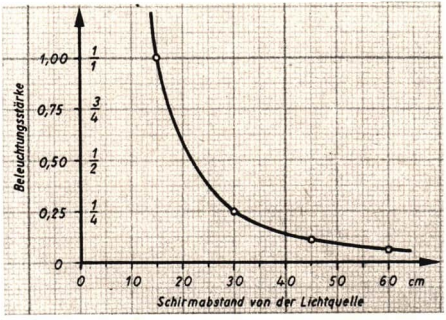


Abb. 58. Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke vom Schirmabstand

stärke (+) eine Strecke von 4 cm zu. Die durch die Bildpunkte gelegte Kurve läßt die Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke vom Schirmabstand erkennen.

Beim Verdoppeln der Entfernung einer beleuchteten Fläche von der Lichtquelle sinkt die Beleuchtungsstärke auf ein Viertel, beim Verdreifachen der Entfernung auf ein Neuntel ihres ursprünglichen Wertes.

2. Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke vom Einfallswinkel. Wir lassen das Lichtbündel einer parallelstrahligen elektrischen Lampe senkrecht von oben auf eine weiße Papierfläche fallen. Es entsteht ein kreisrunder Lichtfleck (Abb. 59). Lassen wir nun das Lichtbündel aus der gleichen mittleren Entfernung, aber schräg auf die Fläche fallen, so verbreitert sich die beleuchtete Fläche. Der Kreis geht über in eine ovale Fläche, eine *Ellipse*. Und zwar wird die Ellipse um so breiter, je schräger das Licht einfällt. Die einfallende Lichtmenge bleibt dabei unverändert. Sie verteilt sich aber auf eine immer größere Fläche. Dementsprechend nimmt die Beleuchtungsstärke der Fläche ab. Sie ist am stärksten bei senkrechtem Lichteinfall. Streift das Licht nur über die Fläche hin, so ist die Beleuchtungsstärke praktisch gleich Null.

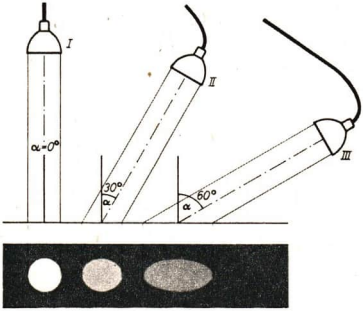


Abb. 59. Die Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke von der Neigung des einfallenden Lichtbündels gegen die beleuchtete Fläche

Stellung I:
Einfallswinkel $\alpha = 0°$, größte Beleuchtungsstärke.

Stellung II und III:
Einfallswinkel α größer als 0°, geringere Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke einer Fläche ist um so geringer, je schräger die Lichtstrahlen auf die Fläche fallen. Sie nimmt mit wachsendem Einfallswinkel ab.

3. Die Einheiten der Lichtstärke und der Beleuchtungsstärke. Man mißt die Lichtstärke einer Lichtquelle durch Vergleichen mit einer als Einheit festgesetzten Lichtstärke. Diese wird erzeugt von einer besonderen Lampe, die von *Hefner-Alteneck* eingeführt wurde. Die Hefnerlampe hat eine 4 cm hohe Flamme; ihre Lichtstärke heißt **Hefnerkerze** (HK). Eine neuerdings verwendete Einheit ist die **Neue Kerze** (NK); sie entspricht $1\frac{1}{9}$ HK.

Zusammenstellung der Lichtstärken einiger häufig gebrauchter Lichtquellen:

Elektr. Glühlampe	40 Watt etwa 40 NK	Elektr. Glühlampe	100 Watt etwa 130 NK
Elektr. Glühlampe	60 Watt etwa 70 NK	Leuchtstoffröhre	30 Watt etwa 800 NK

Die Einheit der Beleuchtungsstärke ist das **Lux**[1] (lx).

Eine rein weiße Fläche hat die Beleuchtungsstärke von 1 Lux, wenn sie bei senkrechtem Strahleneinfall von einer Lichtquelle mit einer Lichtstärke von 1 NK aus einer Entfernung von 1 m angestrahlt wird.

[1] lux (lat.) = das Licht

Zum Lesen und Schreiben ist bei Dauerarbeiten eine Beleuchtungsstärke von 75 bis 100 Lux erforderlich. Ein Arbeitsplatz für Feinarbeiten, z. B. feinmechanische Arbeiten, Spinnen, Weben, Lithographieren, Zeichnen, soll eine Beleuchtungsstärke von etwa 200 Lux haben. Direktes Sonnenlicht liefert eine Beleuchtungsstärke bis zu 3000 Lux.

4. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Erzeuge in der Mitte eines Blattes Zeichenpapier einen Fettfleck und betrachte ihn a) im durchscheinenden, b) im auffallenden Licht! Erkläre die Unterschiedlichkeit der zu beobachtenden Erscheinungen!
2. Wir stellen auf die eine Seite eines Fettfleckes in einiger Entfernung eine Paraffinkerze (1 NK). Stelle durch Probieren fest, wieviel gleich große Kerzen von der gleichen Art wie die erste wir in der doppelten Entfernung vom Fettfleck auf die andere Seite dicht nebeneinander stellen müssen, damit der Fettfleck auf beiden Seiten gleich hell erscheint! Vergleiche damit das auf S. 43 wiedergegebene Gesetz!
3. Wir stellen in einer Entfernung von etwa 30 cm senkrecht vor eine weiße Wand einen Stab und beleuchten ihn aus gleichen Entfernungen mit einer schwachen und einer stärkeren Lichtquelle. Beurteile die Dunkelheit der beiden auf die Wand fallenden Schatten!
4. Man stellt auf die eine Seite eines Fettflecks eine kleine Petroleumlampe, auf die andere Seite eine Paraffinkerze (1 NK). Der Fettfleck erscheint von beiden Seiten gleich hell, wenn die Lampe 3mal so weit vom Fettfleck entfernt steht wie die Kerze. Wie groß ist die Lichtstärke der Lampe?
5. Ein Arbeitsplatz wird von einer 1 m senkrecht darüber angebrachten Lampe mit einer Lichtstärke von 70 NK beleuchtet. Wie groß ist die Beleuchtungsstärke?
6. Wie lichtstark muß eine Lampe sein, wenn ein 3 m senkrecht darunter befindlicher Arbeitsplatz eine Beleuchtungsstärke von 60 Lux haben soll?

§ 9. Bildwerfer

1. Der Projektionsapparat.

Wollen wir von durchsichtigen Glasbildern stark vergrößerte Lichtbilder auf einer dazu bestimmten Wandfläche erzeugen, so benutzen wir einen *Projektionsapparat*, den wir auch *Diaskop*[1] nennen. Abb. 60 zeigt ihn uns in einer handlichen Ausführung, die in dem volkseigenen Werk Filmosto-Projektion entwickelt worden ist.

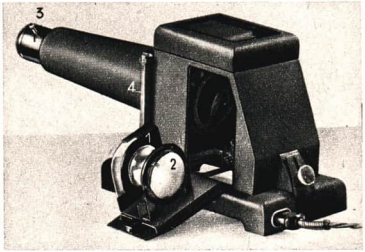


Abb. 60. Filmosto-Bildwerfer für Glasbilder und Filme, hergestellt vom volkseigenen Werk Filmosto-Projektion. Der Kondensor und der Reflektor sind seitlich herausgeklappt. Zwischen beiden steht im Lampengehäuse als Lichtquelle eine lichtstarke elektrische Glühlampe.

1 Kondensor, *2* Reflektor, *3* Objektiv, *4* Rahmen für Glasbilder

[1] dia (griech.) = durch, hindurch, skopeín (griech.) = sehen.

Wir wollen an Hand von Abb. 61 seinen Aufbau und die Wirkung seiner Teile näher betrachten.

Das lichtdicht abgeschlossene Gehäuse, das in der Abbildung fortgelassen ist, enthält eine starke Lichtquelle, meist eine elektrische Glühlampe besonderer Bauart. Die von ihr ausgehenden Lichtstrahlen fallen auf ein zweiteiliges Linsensystem, den sogenannten *Kondensor*[1], und werden von ihm gesammelt. Die beiden Kondensorlinsen sind plankonvex (vgl. § 5,1). Die ebenen Flächen sind nach außen gekehrt. Dicht vor einer der beiden ebenen Flächen liegt das Glasbild, das von den Lichtstrahlen durchdrungen wird. Durch ein Objektiv wird das durchleuchtete Glasbild auf dem Schirm abgebildet. Ersetzt man das Glasbild durch einen Lauffilm, so entsteht die Grundform des Filmapparates, aus der sich unsere heutigen Kinovorführapparate entwickelt haben. Abb. 62 zeigt uns ein *Schmalfilmvorführgerät*, wie es in Schulen benutzt wird.

2. Das Epidiaskop. Neben den einfachen Projektionsapparaten sind sogenannte *Epidiaskope*[2] im Gebrauch (Abb. 63). Diese Geräte enthalten nicht nur eine Einrichtung für die Projektion von Glasbildern, sondern er-

[1]condensare (lat.) = verdichten

[2]epi (griech.) = auf. Zu den übrigen Wortbestandteilen siehe Fußnote S. 44!

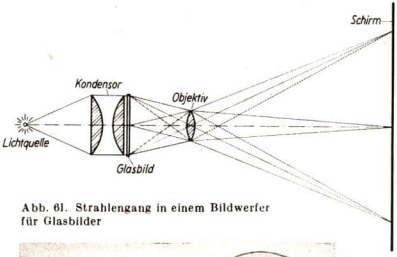


Abb. 61. Strahlengang in einem Bildwerfer für Glasbilder

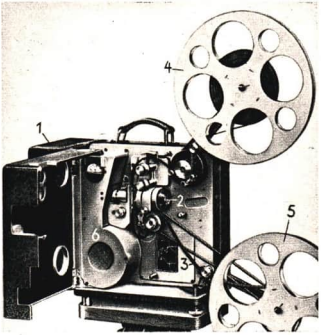


Abb. 62. Schmalfilm-Vorführgerät des Carl-Zeiss-Werkes VEB, Jena, mit eingelegtem Film. Die Seitenwand ist aufgeklappt.
1 Lampengehäuse, *2* Objektiv, *3* Film, *4* Abwickelspule, *5* Aufwickelspule, *6* Ventilator

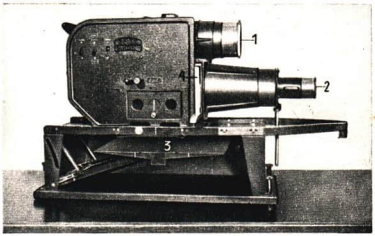


Abb. 63. Epidiaskop
1 Objektiv für Episkop, *2* Objektiv für Diaskop, *3* Bildbühne für Episkop, *4* verschiebbarer Rahmen für Glasbilder

möglichen es auch, Lichtbilder von undurchsichtigen Gegenständen, etwa von Postkarten, Buchseiten u. dgl., zu erzeugen. Je nachdem, ob es sich um die Projektion eines Glasbildes oder eines undurchsichtigen Gegenstandes handelt, wird durchscheinendes oder auffallendes Licht zur Beleuchtung verwendet. Seiner doppelten Verwendbarkeit entsprechend ist das Epidiaskop mit zwei Objektiven ausgestattet. Siehe dazu Abb. 64!

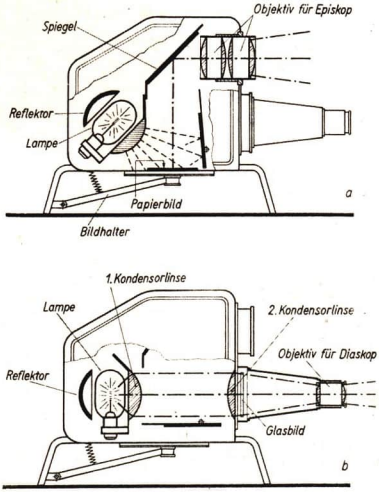


Abb. 64. Strahlengang im Epidiaskop beim Gebrauch a) als Episkop und b) als Diaskop (schematisch)

a) Epistellung: Die Lichtquelle und die erste Kondensorlinse sind schräg nach unten geneigt. Die Lichtstrahlen treffen den am Boden liegenden Gegenstand. Über einen ebenen Spiegel gelangen die Lichtstrahlen in das Objektiv für episkopische Projektion.

b) Diastellung: Die Lichtquelle und die erste Kondensorlinse stehen aufrecht. Die Lichtstrahlen treffen auf das Glasbild. Von dort aus gelangen sie in das Objektiv für diaskopische Projektion.

Bei der Diastellung befindet sich die Lichtquelle im Brennpunkt der ersten Kondensorlinse. Die aus dieser austretenden Lichtstrahlen verlaufen demnach parallel. Beim Übergang zur Epistellung rückt die erste Kondensorlinse der Lichtquelle ein wenig näher. Die austretenden Lichtstrahlen laufen infolgedessen etwas auseinander.

3. Fragen und Aufgaben:

1. Bezeichne genau die Strecken der Abb. 61, die die Gegenstandsweite und die Bildweite darstellen!

2. Gib an, in welcher Beziehung die Gegenstandsweite und die Bildweite zur Brennweite des Objektivs stehen müssen, wenn am Schirm ein stark vergrößertes Bild entstehen soll!

3. Welche Zeile der auf S. 29 wiedergegebenen Tabelle findet beim Projektionsapparat ihre Anwendung?

4. Welche Stellung muß man dem Glasbild geben, wenn auf dem Schirm ein Bild in der richtigen Lage entstehen soll?

5. Je größer der Durchmesser einer Linse ist, desto mehr Licht läßt sie hindurch. Aus welchem Grunde mag beim Epidiaskop das für die Epistellung gebrauchte Objektiv Linsen von größerem Durchmesser haben als das Objektiv für Diastellung?

6. Aus welchem Grunde sind die Epidiaskope meist mit einem Ventilator ausgestattet?

§ 10. Optische Geräte für Nah- und Fernbeobachtung

1. Die Lupe. Wir haben in § 5,3 erfahren, daß beim Betrachten eines Gegenstandes durch eine Sammellinse ein virtuelles, vergrößertes, aufrechtes Bild entsteht, wenn der Gegenstand innerhalb der einfachen Brennweite der Linse liegt (vgl. Abb. 38). Diese Eigenschaft der Sammellinse, vergrößerte Bilder zu erzeugen, ermöglicht es uns, an einem Körper Einzelheiten zu erkennen, die wir mit bloßem Auge schwer oder gar nicht sehen können. Solche Vergrößerungsgläser bezeichnet man als *Lupen*. Je nach ihrem Verwendungszweck werden sie mit einer Vorrichtung zum Aufstellen oder mit einem Handgriff versehen. Aus Abb. 65 ist die Wirkung eines *Leseglases* zu ersehen. Abb. 66 zeigt uns eine *Fadenzähllupe*, wie sie in Webereien verwendet wird. In Abb. 67 sehen wir eine *binokulare Kopflupe*, ein Erzeugnis des Carl-Zeiss-Werkes. Sie wird durch ein Kopfband gehalten, ermöglicht die gleichzeitige Beobachtung mit beiden Augen und läßt dem Benutzer die Hände zur Arbeit frei. Andere Lupen, die die Uhrmacher und Feinmechaniker bei ihrer Arbeit benutzen, lassen sich mit ihrem Gehäuse vor das Auge klemmen.

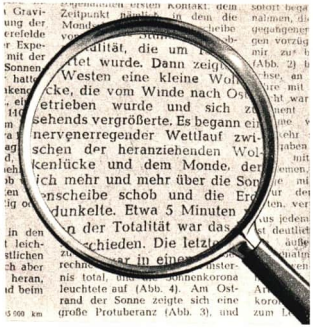


Abb. 65. Durchsicht durch ein Leseglas

Eine Lupe vergrößert um so stärker, je kleiner ihre Brennweite ist, d. h. je stärker die Sammellinse gewölbt ist.

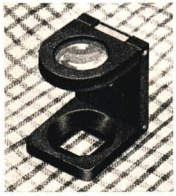


Abb. 66
Fadenzähllupe
Der Ausschnitt in der Fußplatte des Lupengestells beträgt genau 1 cm².

Abb. 67. Kopflupe aus dem volkseigenen Carl-Zeiss-Werk in Jena. Die Lupe ermöglicht das Betrachten mit beiden Augen.

2. Das Mikroskop. Mit einer Lupe erreicht man eine etwa acht- bis zehnfache Vergrößerung. Weit darüber hinaus kommt man mit einem *Mikroskop*. Mit seiner Hilfe kann man Gegenstände sichtbar machen, die man sonst wegen ihrer geringen Größe nicht erkennen kann. Das Mikroskop ist infolgedessen für viele wissenschaftliche und technische Untersuchungen ein unerläßliches Hilfsmittel.

Abb. 68 stellt einen senkrechten Schnitt durch ein Mikroskop mit gerader Durchsicht dar. Ein schweres Stativ trägt ein durch Zahn- und Schraubentrieb zu bewegendes weites Rohr, den *Tubus*. In seine untere Fassung werden die Objektive eingeschraubt. Das Objektiv eines Mikroskops ist eine Sammellinse mit einer Brennweite von nur wenigen Millimetern oder von noch geringerer Größe. Aus diesem Grunde muß das Objektiv sehr nahe an das Objekt herangebracht werden. Bei einem modernen Mikroskop ist das *Objektiv aus mehreren Linsen zusammengesetzt*, die kunstvoll in eine Fassung eingefügt sind. Abb. 69 gibt uns ein Beispiel wieder. (Vgl. die Objektive beim photographischen Apparat!) In die obere Tubusöffnung wird die konvexe Augenlinse, das *Okular*, eingesetzt.

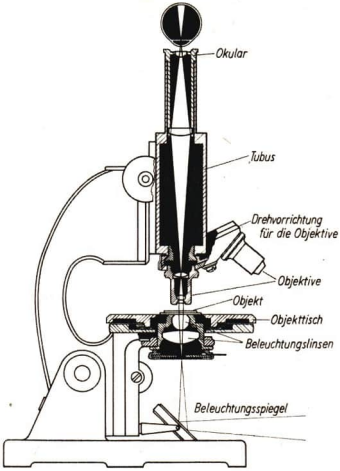


Abb. 68. Achsenschnitt durch ein Geradsichtmikroskop mit eingezeichnetem Strahlengang zur Begrenzung des Gesichtsfeldes

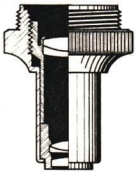


Abb. 69
Schnitt durch ein Mikroskopobjektiv

Unter dem Objektiv sehen wir eine waagerecht liegende Platte, den *Objekttisch*, auf den die zu untersuchenden Gegenstände gebracht werden. Man fertigt von ihnen Schnitte an, deren Dicke $\frac{1}{100}$ mm beträgt oder noch geringer ist. Diese Schnitte werden auf eine schmale rechteckige Glasscheibe, den *Objektträger*, gelegt und mit einem dünnen Glasplättchen, dem *Deckglas*, bedeckt. Den so vorbereiteten Körper nennt man *Präparat*. Mikroskopische Präparate werden meist im durchscheinenden Licht betrachtet. Die Beleuchtung des Präparates erfolgt von unten her durch einen *Beleuchtungsspiegel*. Man stellt ihn so, daß er das Licht nach oben durch eine kreisförmige Öffnung des Objekttisches und durch das auf ihm liegende Präparat hindurch in das Objektiv des Mikroskops wirft. Dann wird der Tubus so weit gesenkt, daß sich das Präparat unmittelbar unter dem Brennpunkt des Objektivs befindet. Das Objektiv erzeugt ein reelles, umgekehrtes, vergrößertes Bild des Gegen-

standes, das man durch das Okular als Lupe betrachtet. Abb. 70 läßt als schematische Zeichnung den Strahlengang in einem Mikroskop erkennen. Zeige das vom Objektiv erzeugte Bild! Es liegt innerhalb der einfachen Brennweite des Okulars, so daß das Okular als Lupe wirkt.

Eine mehr als 2000fache Vergrößerung ist auch mit den besten Mikroskopen nicht zu erzielen. Punkte, die weniger als $\frac{1}{2000}$ mm voneinander entfernt sind, kann man in Lichtmikroskopen nicht mehr getrennt erkennen. Neuerdings ist es mit den auf elektrischer Grundlage arbeitenden Elektronenmikroskopen gelungen, die Vergrößerung gegenüber den Lichtmikroskopen fast auf das 100fache zu steigern. Man kommt damit auf eine etwa 200000fache Vergrößerung.

Ernst Abbe (1840—1905)

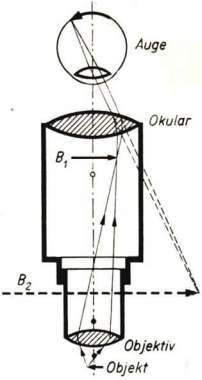


Abb. 70. Strahlengang im Mikroskop (schematisch; Mikroskop und Auge sind nicht maßgetreu gezeichnet.)

Bis in die zweite Hälfte des vorigen Jahrhunderts wurden Mikroskope rein handwerksmäßig hergestellt. Erst der Jenaer Physiker *Ernst Abbe* stellte ihren Bau auf eine wissenschaftliche Grundlage. Ihm und seinen Mitarbeitern verdankt das Carl-Zeiss-Werk in Jena seine Bedeutung. Es ist heute der wichtigste Betrieb der volkseigenen optischen Industrie in der Deutschen Demokratischen Republik. Neben ihm sind noch die Rathenower Optischen Werke (ROW) zu nennen. Die Erzeugnisse unserer optischen Industrie haben wegen ihrer besonderen Qualität eine große Bedeutung für den Export. Der Fünfjahrplan sieht deshalb für feinmechanische und optische Erzeugnisse bis 1955 eine Steigerung der Jahresproduktion auf 239% gegenüber dem Jahre 1950 vor.

Aus dem Zeiss-Werk gingen auch die *Mikroskope mit gewinkeltem Tubus* hervor, die sich heute allgemein durchgesetzt haben (Abb. 71). Sie erleichtern die Arbeit dadurch wesentlich, daß sie das Beobachten im Sitzen ermöglichen. In einem in den Tubus eingebauten halbkugeligen Gehäuse enthalten sie ein Ablenkprisma,

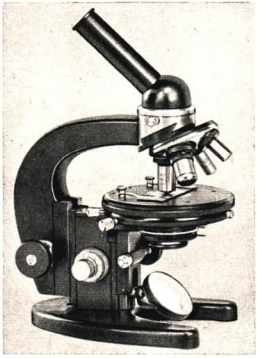


Abb. 71. Monokulares[1] Mikroskop mit gewinkeltem Tubus aus dem volkseigenen Carl-Zeiss-Werk in Jena

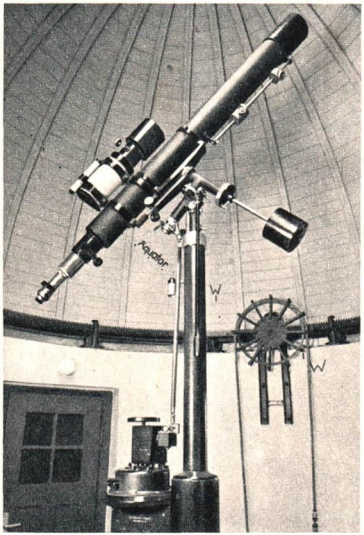
[1] mónos (griech.) = eins, oculus (lat.) = Auge; monocular = für ein Auge

von dessen geschliffenen Flächen das Lichtbündel wie von einem Spiegel zurückgeworfen wird, so daß es in den schräggestellten Tubus gelangt.

3. Fernrohre. Während Mikroskope dazu dienen, uns die Kleinwelt sichtbar zu machen, können wir mit Hilfe von *Fernrohren* weit entfernte Gegenstände beobachten. So ermöglichten erst die Erfindung der Fernrohre und deren ständige Vervollkommnung die Entwicklung der Astronomie zu ihrem heute erreichten Wissensstande.

Wir betrachten im folgenden das *Himmelsfernrohr* und den *Feldstecher*.

a) Das Himmelsfernrohr oder das Keplersche Fernrohr. Das Himmelsfernrohr wird nach seinem Verwendungszweck auch *astronomisches Fernrohr* genannt (Abb. 72). Bereits *Johannes Kepler*[1] benutzte ein einfaches Fernrohr zu seinen Beobachtungen, aus denen er die nach ihm benannten, für die Astronomie so außerordentlich wichtigen Gesetze ableitete. Wir sehen an diesem Beispiel besonders deutlich, wie die auf Grund unserer physikalischen Erkenntnisse geschaffenen



Johannes Kepler (1571—1630)

Abb. 72. Astronomisches Fernrohr in der Schulsternwarte der Pestalozzischule in Rodewisch im Vogtland. Das Rohr trägt seitlich eine photographische Kamera für Sternaufnahmen, einen Astrographen.

Länge des Rohres	170 cm
Durchmesser des Objektivs	10,5 „
Brennweite des Objektivs	150 „
Durchmesser des Astrographenobjektivs	7 „
Brennweite des Astrographenobjektivs	35 „
Durchmesser des Kuppelraumes	4 m
Höhe des Kuppelraumes	4,20 „

[1] *Johannes Kepler* (1571—1630), deutscher Astronom, fand die Gesetze der Planetenbewegung.

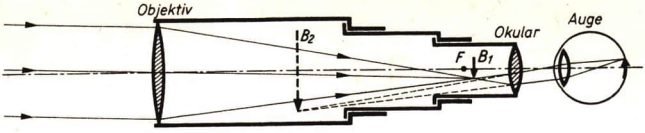


Abb. 73. Strahlengang im Keplerschen Fernrohr (schematisch). Die von einem Punkte am Rande des Sternes herkommenden parallelen Strahlen werden in einem Punkt vereinigt. B_1 ist das umgekehrte, verkleinerte, reelle Bild des Sternes, B_2 ist das durch das Okular gesehene, umgekehrte, virtuelle Bild. (Fernrohr und Auge sind nicht maßgetreu gezeichnet.)

Apparate uns ihrerseits in Stand setzen, die Erscheinungen und die Zusammenhänge in der Natur immer besser und umfassender zu erkennen. Das Fernrohr enthält zwei Konvexlinsen, das Objektiv und das Okular (vgl. Abb. 73). Das Objektiv ist eine Sammellinse von großer Brennweite und verhältnismäßig großem Durchmesser. Da die beobachteten Gegenstände, die Sterne, außerordentlich weit entfernt liegen, sind die auf das Objektiv fallenden Strahlen als parallel zu betrachten. Das Objektiv entwirft von dem beobachteten Stern ein reelles, umgekehrtes, verkleinertes Bild B_1 (Abb. 73); dieses entsteht nahe dem Brennpunkt des Objektivs. Das dem Auge zugekehrte Okular ist ebenfalls eine Sammellinse. Ihre Stellung wird jeweils so geändert, daß sich das vom Objektiv entworfene Bild innerhalb der einfachen Brennweite des Okulars befindet. Das Okular wirkt somit als Lupe. Wir erhalten dann ein virtuelles, vergrößertes Bild B_2. Die Brennpunkte von Objektiv und Okular fallen dabei fast zusammen. Für Himmelsbeobachtungen stört es nicht, daß die entstehenden Bilder umgekehrt sind. Oft werden für Himmelsbeobachtungen auch Spiegelfernrohre verwendet, bei denen statt des Objektivs ein Hohlspiegel zur Bilderzeugung benutzt wird.

b) Der Feldstecher. Um das astronomische Fernrohr auch für Beobachtungen auf der Erde ausnutzen zu können, muß man das umgekehrte Bild, das dieses Fernrohr liefert, aufrichten. Dies wird bei den sogenannten *Prismen-Feldstechern* in einer optisch sehr günstigen Weise erreicht. Sie wurden nach den Angaben von Ernst Abbe gegen Ende des vorigen Jahrhunderts zuerst vom Carl-Zeiss-Werk in Jena hergestellt (Abb. 74). Feldstecher sind für jedes Auge mit je einem Fernrohr ausgestattet. In den Strahlengang jedes Rohres sind je zwei *Glasprismen* eingebaut, an deren Flächen die Lichtstrahlen viermal wie an einem Spiegel zurückgeworfen werden. Dabei wird in einem der beiden Prismen oben und unten vertauscht, d. h. das Bild er-

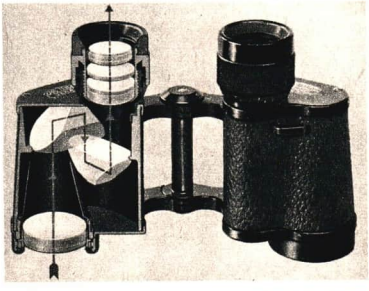


Abb. 74. Strahlengang im Prismenfernglas (Carl Zeiss Jena VEB)

scheint aufrecht (Abb. 75). Bei der Spiegelung im anderen Prisma erfolgt dann die Vertauschung von rechts und links, so daß der Gegenstand in seiner natürlichen Stellung erscheint. Durch diese Prismenanordnung wird außerdem erreicht, daß die an sich unhandlichen Fernrohre griffig und kurz werden.

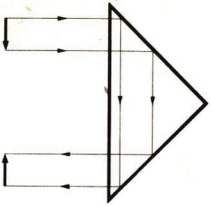


Abb. 75. Aufrichtung des Bildes durch ein Prisma
An den Kathetenflächen findet eine Reflexion der Lichtstrahlen statt.

4. Versuche und Fragen:

1. Stelle aus zwei Brillengläsern das Modell eines astronomischen Fernrohres her! Was für Gläser sind zu verwenden?
2. Warum muß man die Okulare der Mikroskope und Ferngläser in Richtung der Achse verstellen können?
3. Beim Feldstecher kann man durch seitliches Drehen der beiden Rohre die gegenseitige Entfernung der Okulare dem Augenabstand anpassen. Warum ist dies erforderlich, wenn eine gute Bildwirkung entstehen soll?
4. Betrachte einen Gegenstand, etwa einen Zentimeterstab, mit dem einen Auge durch eine Lupe, mit dem anderen unmittelbar!
   Vergleiche den durch die Lupe abgelesenen Durchmesser des Gesichtsfeldes mit seiner wirklichen Länge und stelle daraus die Vergrößerung der Lupe fest!
5. Warum ist der Tubus des Mikroskops im Innern stets geschwärzt?

§ 11. Das Sonnenlicht und die Farben

1. Das Spektrum. Jeder hat schon einmal einen Regenbogen am Himmel gesehen. Eine ähnliche Erscheinung kann man beobachten, wenn man im Sonnenlicht den Rasen sprengt. Wie es zu erklären ist, daß aus Sonnenlicht bunte Farben entstehen, zeigt uns folgender Versuch.

Wir beleuchten in einem verdunkelten Raum eine Spaltblende mittels einer lichtstarken elektrischen Lampe oder durch Sonnenlicht und bilden den Spalt durch eine Sammellinse auf einem Schirm ab. Wir erblicken ein weißes Bild des Spaltes. Abb. 76 zeigt die Versuchsanordnung im Grundriß.

Wir bringen nun in den Strahlengang ein dreiseitiges Prisma. Die Lichtstrahlen werden nach dem Brechungsgesetz (§ 4, 2) aus ihrer geraden Bahn abgelenkt; es

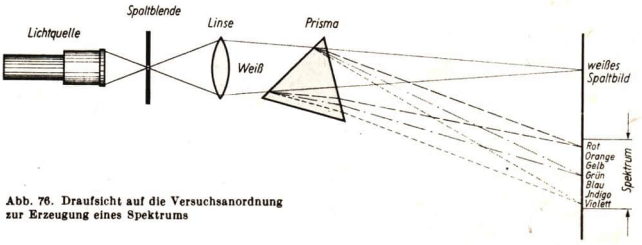


Abb. 76. Draufsicht auf die Versuchsanordnung zur Erzeugung eines Spektrums

entsteht dabei statt des weißen Spaltbildes auf dem Schirm ein bunter Farbenstreifen mit Farbübergängen von Rot bis Violett. Ein solcher Farbenstreifen weist immer die gleiche Farbfolge auf und heißt **Spektrum**. Die im Spektrum auftretenden Farben nennt man *Spektralfarben*. Da die Spektralfarben stufenlos ineinander übergehen, läßt sich für sie eine bestimmte Anzahl nicht angeben. Wir unterscheiden als auffallendste Farben *Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett*, ohne damit sagen zu wollen, daß sie scharf gegeneinander abgegrenzt seien.
Wir stellen hinter das Prisma in den farbigen Strahlengang eine größere Sammellinse. Das Spektrum ist nicht mehr zu sehen; an seiner Stelle erscheint wieder ein weißes Spaltbild. Es ist demnach gelungen, die Spektralfarben wieder zu Weiß zu vereinigen. Aus diesen Versuchen folgt:

> **Weiß ist keine Grundfarbe. Es ist eine Mischung sämtlicher Spektralfarben. Diese unterscheiden sich in ihrer Brechbarkeit; das rote Licht wird am wenigsten, das violette am stärksten gebrochen. Die Vereinigung aller Spektralfarben ergibt Weiß.**

Die einzelnen Spektralfarben lassen sich zwar durch ein zweites Prisma erneut ablenken, aber nicht weiter zerlegen. Man nennt sie daher auch **Grundfarben.**
Auch in die Bereiche des Spektrums, die jenseits von Rot und Violett liegen, gelangen Sonnenstrahlen hin. Wir können sie allerdings mit unseren Augen nicht wahrnehmen; sie sind unsichtbar. Man bezeichnet diese Strahlen als **ultrarote** (auch infrarote), bzw. als **ultraviolette Strahlen.** Sie sind erkennbar an der Wärmewirkung und an den chemischen Wirkungen, die von ihnen ausgehen. Auch auf lebende Organismen wirken ultraviolette Strahlen ein.

2. Mischfarben – Ergänzungsfarben. Wir stellen nochmals hinter das Prisma eine Sammellinse in den farbigen Strahlengang, blenden aber die roten Strahlen durch einen vor die Linse gehaltenen schmalen, weißen Kartonstreifen ab (Abb. 77). Auf dem Schirm erblicken wir statt des weißen ein grünliches Spaltbild. Es handelt sich dabei jedoch nicht um das spektrale Grün, sondern um ein Blaugrün, das als **Mischfarbe** aus allen Spektralfarben außer Rot entsteht. Lassen wir nun auch die roten Strahlen durch die Sammellinse gehen, so erhalten wir wieder ein weißes Spaltbild. Rot und Grün ergeben zusammen Weiß. Blendet man andere Farben aus dem Spektrum heraus, so entstehen andere Mischfarben. Sie werden stets durch die abgeblendeten Farben, die auf dem weißen Papierstreifen sichtbar sind, zu Weiß ergänzt.

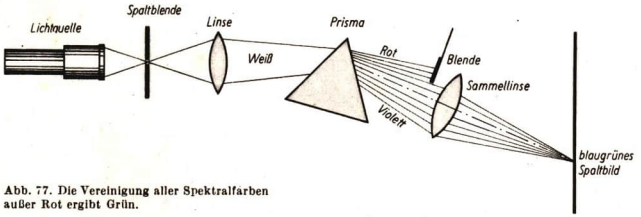


Abb. 77. Die Vereinigung aller Spektralfarben außer Rot ergibt Grün.

Die bekanntesten Farbenpaare dieser Art sind: *Rot-Grün*, *Orange-Blau*, *Gelb-Violett*. Diese Farben nennt man *Ergänzungsfarben* oder **Komplementärfarben**.

Rot und Grün, Orange und Blau, Gelb und Violett sind Komplementärfarben. Komplementärfarben ergänzen sich zu Weiß.

3. Körperfarben. Alle nicht selbstleuchtenden Körper zeigen ihre natürliche Farbe, ihre *Körperfarbe*, nur im weißen Licht. Darum kauft man farbige Spinnstoffe nicht gern bei künstlichem Licht. Denn Lampenlicht ist selten im Sinne des Sonnenlichts als Weiß zu bezeichnen. — Wenn man durch eine grüne Sonnenschutzbrille blickt, erscheinen die meisten *Körperfarben* verändert. Von der Sonne gelangt weißes Licht bis an die Vorderseite des Glases. In unser Auge tritt aber grünes Licht ein. Die übrigen Farben werden beim Durchdringen des grünen Glases von diesem zurückgehalten.

Farbige Körper verschlucken (absorbieren) einen Teil des auf sie fallenden weißen Lichtes. Sie erscheinen in der Farbe der Lichtart, die sie hindurchtreten lassen bzw. zurückwerfen.

Wir lassen ein Spektrum auf einen Schirm von spektral roter Farbe fallen. Alle Teile des Spektrums, außer Rot, erscheinen schwarz. — Betrachtet man farbige Stoffproben bei einfarbigem, z. B. rotem Licht, so kann man sich in der Beurteilung der Farbe leicht täuschen. Grüner Stoff verschluckt fast alles Licht außer dem grünen. Trifft rotes auf ihn, so kann er nur sehr wenig Licht zurückwerfen; er erscheint sehr dunkel, fast schwarz.

Körper, die kein Licht zurückstrahlen, erscheinen uns schwarz. Sie absorbieren alles Licht.

Durch künstliches Licht wird der Farbton geändert; denn *Tageslicht* enthält im Verhältnis zu den übrigen Lichtarten mehr blaues Licht als das künstliche Licht. In neuerer Zeit ist es gelungen, mit Hilfe der sogenannten *Leuchtstoffröhren* Lichtquellen zu schaffen, deren Licht dem Tageslicht sehr nahe kommt.

4. Versuche und Fragen:

1. Erzeuge mit Hilfe eines Prismas ein Spektrum und halte eine rote Nelke oder eine Rose in das Spektrum! Was fällt dir an den grünen und roten Pflanzenteilen auf, wenn du die Blüte durch das Spektrum führst?
2. Verwende bei dem in Abb. 77 wiedergegebenen Versuch an Stelle des schmalen Pappstreifens ein schmales Prisma, durch das ein Teil des spektral zerlegten Lichtes seitlich abgelenkt wird!
3. Verfolge den Strahlengang des Lichtes beim Durchgang durch ein Glasprisma und stelle fest, nach welcher Seite des Prismas der Lichtstrahl abgelenkt wird!
4. Wie ist es zu erklären, daß bei Bildern, die mittels einer Linse erzeugt werden, die Ränder vielfach farbig gesäumt sind?
5. Warum tritt beim Durchdringen des Lichtes durch die Fensterscheiben keine Farbenzerlegung ein?
6. Welche Farben absorbiert a) eine rote, b) eine blaue Glasscheibe? — Mit welchem Recht nennt man eine Fensterscheibe farblos?
7. Was fällt auf, wenn man farbige Gegenstände durch farbige Glasscheiben betrachtet? Begründe die eintretende Farbänderung!

II. Von den Kräften und den Bewegungen (Mechanik)

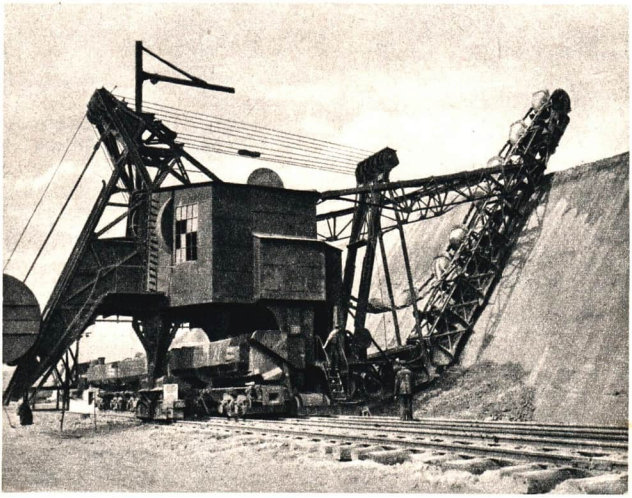


Abb. 78. Abraumbagger im Tagebau einer mitteldeutschen Braunkohlengrube

In Abb. 78 sehen wir einen der riesigen Abraumbagger, die in den Braunkohlengruben die mächtigen Erdmassen abtragen, die die Kohlenflöze bedecken. Starke Motoren bewegen eine schwere Eimerkette, die an einem weit ausladenden Ausleger umläuft. Die Eimer graben das Erdreich ab, schaffen es fort und schütten es in bereitstehende Loren der Grubenbahn. Jeder Eimer faßt 500 l Erde, das sind etwa 800 kg. Gewaltige Kräfte sind erforderlich, um solche Massen in Bewegung zu setzen. Nicht minder groß sind die Kräfte, die beim Heben und Senken des schweren Auslegers oder beim Verschieben des ganzen Baggers zur Wirkung kommen. Nach welchen physikalischen Gesetzen Kräfte übertragen werden, erfahren wir in den folgenden Paragraphen. Die Lehre von den Kräften ist die Grundlage nicht nur für die Physik, sondern für die gesamte Technik.

§ 12. Gewicht und Masse eines Körpers

1. Die Federwaage. Bei den Erfassungsstellen für Altmaterial, zu denen wir Lumpen, Papier, Glas oder Altmetall tragen, können wir häufig eine Waage sehen, die man als **Federwaage** oder auch als **Lumpenwaage** (Abb. 79) bezeichnet. Der wichtigste Bestandteil dieser Waage ist eine **Schraubenfeder** (Abb. 80), die durch die angehängte Last auf Zug beansprucht wird[1]. Die Feder wird auseinandergezogen, es wird in ihr eine Gegenkraft hervorgerufen, die dem Gewicht des angehängten Körpers das Gleichgewicht hält. Ein Zeiger gleitet dabei über eine in Gewichtseinheiten geteilte Skala.
Außer den **Zugfedern** gibt es auch Schraubenfedern, die durch die Last zusammengedrückt werden. Wir nennen sie deshalb Druckfedern (Abb. 81).

Wir unterscheiden bei den Schraubenfedern je nach der Art der Beanspruchung Zugfedern und Druckfedern.

Wir belasten eine Zugfeder aus Stahldraht mit einer wachsenden Zahl gleich großer Gewichtsstücke und messen jedesmal die Länge der Feder (Abb. 82). Die Ergebnisse tragen wir in eine Tabelle ein.

Beispiel:

Belastung	Länge der Feder	Gesamtverlängerung	Zunahme der Verlängerung
0 Gewichtsstücke	20,0 cm	—	—
1 Gewichtsstück	22,4 cm	2,4 cm	2,4 cm
2 Gewichtsstücke	24,9 cm	4,9 cm	2,5 cm
3 Gewichtsstücke	27,2 cm	7,2 cm	2,3 cm

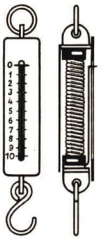


Abb. 79
Federwaage (Lumpenwaage) schematisch

Abb. 80
Schraubenfeder (Zugfeder)

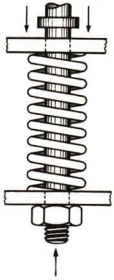


Abb. 81
Schraubenfeder (Druckfeder)

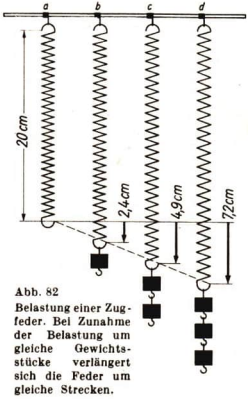


Abb. 82
Belastung einer Zugfeder. Bei Zunahme der Belastung um gleiche Gewichtsstücke verlängert sich die Feder um gleiche Strecken.

[1] Vergleiche auch Abb. 33 im Lehrbuch der Physik für das 6. Schuljahr!

Wir geben die gefundenen Werte, ähnlich wie es schon früher geschehen ist, durch eine *graphische Darstellung* auf Millimeterpapier wieder. Die an der Feder angreifenden Gewichte veranschaulichen wir durch Strecken und tragen diese auf einer waagerechten Achse ab. Senkrecht dazu zeichnen wir die Verlängerungen der Feder als Strecken ein, diesmal zweckmäßigerweise nach unten, da sich die Feder auch nach unten dehnt (Abb. 83). Die Bildpunkte, die die zusammengehörigen Werte von Belastung und Federverlängerung darstellen, liegen nahezu auf einer Geraden. Wir folgern daraus, daß die Federverlängerung in ganz bestimmter Weise von der Belastung abhängig ist. Zur Veranschaulichung ziehen wir vom Nullpunkt aus eine Gerade, die die einzelnen Bildpunkte möglichst gut erfaßt.

Wir entnehmen aus der graphischen Darstellung das Gesetz:

> **Nimmt die Belastung einer Schraubenfeder immer wieder um den gleichen Betrag zu, so wird die Feder jeweils um das gleiche Stück verlängert.**

Sobald die Feder nicht mehr belastet wird, nimmt sie die ursprüngliche Länge wieder an. Geschieht dies nicht, so ist die Elastizitätsgrenze überschritten worden. Das oben angegebene Gesetz gilt dann nicht mehr.

2. Gewicht ist Kraft. Ziehen wir, wie die Abb. 84a zeigt, an dem Haken einer Federwaage, so müssen wir Kraft aufwenden, um die Feder auseinanderzuziehen. Je größer die Kraft ist, mit der wir ziehen, um so länger wird die Feder. Das gleiche können wir durch schwere Gegenstände erreichen, die wir an die Federwaage hängen (Abb. 84b). Wir folgern daraus, daß das Gewicht eines Körpers wie eine Kraft wirkt.

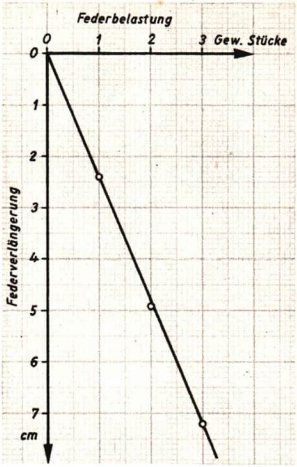
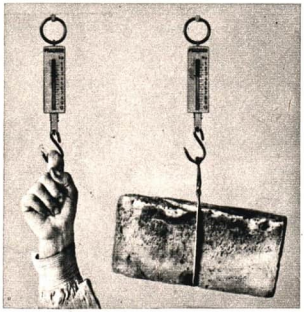


Abb. 83. Abhängigkeit der Verlängerung einer Feder von der Belastung



a b

Abb. 84. Mit der Federwaage messen wir Kräfte.
a) Spannen einer Feder durch Muskelkraft
b) Spannen einer Feder durch das Gewicht eines Körpers

Mit dieser Schlußfolgerung stimmt auch unsere Erfahrung überein. Wenn wir einen Ziegelstein längere Zeit mit ausgestrecktem Arm halten, so haben wir das Gefühl, als zöge jemand den Arm nach unten. Die hierbei wirkende Kraft ist auf den Mittelpunkt der Erde hin gerichtet. Man nennt sie *Schwerkraft.*

Das Gewicht eines Körpers ist eine Kraft.

Wir können demnach Federwaagen dazu verwenden, um Kräfte bzw. Gewichte miteinander zu vergleichen und sie zu messen. Es ist dazu nur erforderlich, daß wir die Skala der Federwaage unter Verwendung einer geeigneten Gewichtseinheit herstellen.

3. Gewicht und Masse. In der Umgangssprache werden Gewichte in Kilogramm oder Gramm angegeben. Doch ist dies physikalisch nicht richtig. Denn das Gramm und das Kilogramm sind keine Gewichtseinheiten, sondern Masseneinheiten.

Daß es sich dabei um zwei ganz verschiedene Größen handelt, lehrt uns folgender Versuch:

Wir heben einen Normalziegelstein auf der flachen Hand empor und überwinden dabei die ihn nach unten ziehende Kraft, mit anderen Worten, sein **Gewicht**. Um das Gewicht zu ermitteln, hängen wir den Ziegelstein an eine Federwaage (vgl. Abb. 84b). Wir stellen fest, daß der Zeiger dabei genau auf 3,5 Gewichtseinheiten einspielt. Berühren wir jetzt von unten her den hängenden Stein mit der flachen Hand, so ist vom Gewicht nichts mehr zu verspüren. Durch die Spannkraft der Feder, die sein Gewicht trägt, ist er für uns praktisch gewichtslos geworden. Trotzdem müssen wir eine Kraft aufwenden, wenn wir den Stein durch einen Stoß von der Seite her in Bewegung setzen. Wir nehmen deutlich einen Widerstand wahr, den der Stein der Bewegung entgegensetzt. Dieser Widerstand ist nicht auf das Gewicht des Steines zurückzuführen; denn das Gewicht wirkt senkrecht nach unten. Dieser Widerstand beruht vielmehr auf einer Eigenschaft des Körpers, die wir als seine **Masse** bezeichnen. Die Masse ist durch ihre *Trägheit* gekennzeichnet, die wir beim Verschieben als Widerstand empfinden. *Die Masse ist von der Stoffmenge abhängig*, die den Körper ausfüllt. Man kann umgekehrt die Größe der *Masse als Maß für die Stoffmenge* ansehen.

Wir müssen streng unterscheiden zwischen der Masse, die einen Körper ausfüllt und ihn träge macht, und dem Gewicht, das der Körper infolge der Schwerkraft besitzt.

Die Einheiten der Masse sind die uns bekannten Einheiten **Kilogramm** (kg) und **Gramm** (g). Wir haben sie bereits früher zur Angabe von Stoffmengen verwendet. Zur Angabe von Gewichten dürfen wir sie nicht gebrauchen. Denn für Gewichte sind in enger Anlehnung an die Masseneinheiten besondere Einheiten eingeführt worden, und zwar das **Kilopond** (kp) und das **Pond**[1] (p).

1 kp = 1000 p.

Wir haben uns zu merken:

1 Kilogramm (kg) ist die Masse eines Liters Wasser bei 4° C.

1 Kilopond (kp) ist das Gewicht eines Liters Wasser bei 4° C in Meereshöhe auf einer geographischen Breite von 45°.

[1] póndus (lat.) = Last

4. Abhängigkeit des Gewichtes vom Beobachtungsort. Wir haben im letzten Abschnitt die Einheit des Gewichtes im Gegensatz zur Einheit der Masse auf die geographische Breite von 45° bezogen. Im folgenden wollen wir uns darüber klarwerden, warum diese Einschränkung notwendig ist. Dabei wird uns der Unterschied zwischen dem Gewicht und der Masse eines Körpers noch deutlicher als bisher entgegentreten.

Wir haben oben festgestellt, daß das Gewicht des Ziegelsteines gerade 3,5 Gewichtseinheiten, d. h. also 3,5 kp beträgt. Erheben wir uns aber mit unserem Ziegelstein *in einem Flugzeug* oder in einem Ballon hoch über die Erde und nehmen dort eine Gewichtsmessung mittels einer **Federwaage** vor, so könnten wir bei sehr genauer Messung eine *Abnahme des Gewichtes* feststellen. Dies erklärt sich daraus, daß die Schwerkraft mit der Entfernung von der Erde abnimmt.

Auch unmittelbar auf der Oberfläche der Erde hat das Gewicht nicht an allen Orten den gleichen Wert. Nimmt man die Gewichtsmessung am *Pol* vor, so wird dort ein etwas größeres Gewicht angezeigt als auf einer geographischen Breite von 45°. An einer sehr genauen Waage würde man 3,507 kp ablesen. Führt man die gleiche Messung am *Äquator* durch, so zeigt die gleiche Federwaage 3,489 kp an.

Das Gewicht nimmt bei einer Verlagerung des Körpers vom Pol zum Äquator hin ein wenig ab.

Diese Tatsache erklärt sich auf folgende Weise:

Die Erde ist infolge ihrer täglichen Umdrehung an den Polen etwas abgeplattet. Bewegt man sich vom Pol zum Äquator, so wird die Entfernung vom Erdmittelpunkt allmählich etwas größer; die Schwerkraft nimmt infolgedessen etwas ab, mithin verringert sich das Gewicht. Außerdem gibt es noch andere Ursachen, die sich in gleicher Weise auswirken. Wir werden sie aber erst später kennenlernen.

5. Die Unabhängigkeit der Masse vom Beobachtungsort. Zu ganz anderen Erfahrungen führt uns eine Wägung mit einer **Balkenwaage**, mit der wir schon im 6. Schuljahr Stoffmengen ermittelt haben. Die Stoffmenge eines Körpers bleibt unverändert, wohin wir auch den Körper auf der Erde bringen mögen. Das drückt sich auch im Ergebnis der Wägung aus. Wir verwenden dazu genormte Metallklötze, die wir *Gewichtsstücke* nennen, obwohl sie eigentlich Massenstücke heißen müßten. Mit ihrer Hilfe gleichen wir den zu wägenden Körper so ab, daß der Waagebalken waagerecht einspielt. Wir erreichen dies z. B. bei unserem Normalziegelstein durch Auflegen von 3,5 kg. Daran ändert sich im Gegensatz zur Federwaage nichts, wenn wir die Wägung am Äquator oder am Pol vornehmen. Auch die Höhenlage unserer Meßstelle ist darauf ohne Einfluß.

Wie können wir uns den zwischen beiden Meßergebnissen liegenden scheinbaren Widerspruch erklären? Wir müssen folgendes berücksichtigen: *Die Federwaage ist ein Kraftmesser.* Wir messen mit ihrer Hilfe das Gewicht des Körpers, d. h. die Kraft, die ihn zu Boden zieht. Diese aber ist, wie wir sahen, vom Beobachtungsort abhängig. Die *Hebelwaage dagegen dient zum Vergleich von Massen.* Die Masse eines Körpers aber ist unveränderlich, solange man nichts zu ihr hinzufügt oder von ihr fortnimmt; sie ist an allen Orten die gleiche.

Die Masse eines Körpers ist vom Beobachtungsort unabhängig. Das Gewicht eines Körpers ist vom Beobachtungsort abhängig.

6. Die Wichte. Wir fertigen uns aus Eichen- und aus Fichtenholz zwei Klötze mit den Abmessungen 2 cm × 4 cm × 5 cm an und hängen sie mittels einer Fadenschlinge an eine Federwaage. Als Gewicht des Eichenklotzes lesen wir 37 p, als Gewicht des Fichtenklotzes 17 p ab. Wir wiederholen die Messung mit zwei Blechstücken aus Aluminium und Eisen von der Größe 0,1 cm × 12 cm × 6 cm. Das Gewicht des Eisenstückes beträgt 54 p, das des Aluminiumstückes 19 p. Aus den beiden Vergleichen sehen wir, daß die Gewichte von Körpern gleichen Rauminhaltes vom Stoff abhängig sind.

Körper aus verschiedenen Stoffen haben bei gleichem Rauminhalt in der Regel verschiedenes Gewicht.

Wir können die Vergleiche auch im umgekehrten Sinne durchführen, indem wir Körper gleichen Gewichtes bezüglich ihres Rauminhaltes miteinander vergleichen. Wir suchen uns z. B. ein Brett aus, das an der Federwaage den gleichen Ausschlag hervorruft wie ein Gewichtsstück mit einem Gewicht von 5 kp. Das Brett hat demnach ebenfalls ein Gewicht von 5 kp. Der bloße Augenschein aber zeigt uns, daß das Brett einen ungleich größeren Raum einnimmt als das eiserne Gewichtsstück. Ebenso ist es, wenn wir etwa eine Tüte voll Flaschenkorken mit einem Metallkörper gleichen Gewichtes vergleichen.

Wir sehen daraus:

Körper aus verschiedenen Stoffen haben bei gleichem Gewicht in der Regel verschiedene Rauminhalte (Abb. 85).

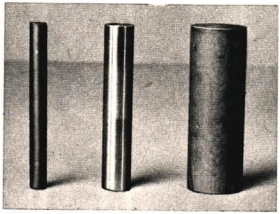


Abb. 85. Drei Zylinder aus Eisen, Aluminium, Hartholz. Sie haben gleiches Gewicht, aber verschiedene Rauminhalte.

Die vorangehenden Überlegungen ermöglichen es uns, aus dem Rauminhalt eines Körpers sein Gewicht, und umgekehrt aus seinem Gewicht seinen Rauminhalt zu berechnen. Wir brauchen dazu nur das Gewicht eines cm³ des Stoffes zu kennen. Aus Abb. 86 kann man die mit empfindlichen Federwaagen festgestellten Gewichte je eines cm³ verschiedener Stoffe entnehmen.

Dividiert man das Gewicht eines Körpers durch seinen Rauminhalt, so erhält man die Wichte des Stoffes, aus dem der Körper besteht.

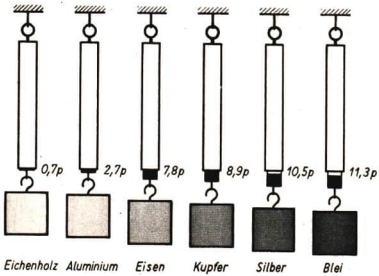


Abb. 86. Wichte verschiedener Stoffe

An den Federwaagen hängen Würfel von je 1 cm³. Die Wichten sind an den Federwaagen unmittelbar ablesbar. Die Federwaagen sind im Vergleich zu den Würfeln zu kurz gezeichnet.

Bezeichnet man die Wichte mit γ, das Gewicht mit G, den Rauminhalt mit V, so gilt

$$\gamma = \frac{G}{V}.$$

Die Maßeinheit der Wichte ist **Pond je Kubikzentimeter** (p/cm³).

Wichten einiger Stoffe (in p je cm³):

Platin	21,4	Kupfer	8,9	Wasser	1
Gold	19,3	Eisen	7,8	Eis	0,9
Quecksilber	13,6	Aluminium	2,7	Alkohol	0,8
Blei	11,3	Glas	2,5	Holz (trocken)	0,5 bis 0,9
Silber	10,5	Kohle	1,2 bis 1,5	Kork	0,2

7. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Stelle aus einer alten Schraubenfeder eine Federwaage her! Biege zu diesem Zweck die Enden der Feder zu Ösen und hänge die Feder an eine senkrecht gestellte Holzleiste, auf die ein Papierstreifen geklebt ist. Hänge an die Feder eine kleine Waagschale! Markiere die Stellung der unbelasteten Waagschale auf dem Papierstreifen als Nullpunkt und fertige eine Skala durch Belasten mit Gewichtsstücken an!
2. Führe den auf S. 56 für eine Schraubenfeder angegebenen Versuch an einem Gummifaden durch und stelle an Hand der graphischen Darstellung der gewonnenen Versuchsergebnisse fest, ob das auf S. 57 ausgesprochene Gesetz auch für den Gummifaden gilt!
3. Bestimme das Gewicht eines Eisenstückes mittels einer Federwaage und seinen Rauminhalt durch Wasserverdrängung in einem Meßglas und berechne daraus die Wichte des Eisens!
4. Führe dasselbe mit Glas, Messing, Blei, Aluminium durch!
5. Ein Kilogrammstück hat am Pol ein Gewicht von 1,002 kp, am Äquator ein Gewicht von 0,997 kp. Wieviel Prozent (Promille) beträgt die Änderung?
6. Warum wird bei technischen Gewichtsangaben die geographische Breite und die Höhenlage des Beobachtungsortes nicht berücksichtigt?
7. Wie schwer ist eine Eisenplatte von 12 cm Länge, 3 cm Breite und 2 cm Dicke? (Das Gewicht ist in p anzugeben!)
8. Wie schwer ist eine Bleiplatte von gleichen Abmessungen?
9. Welchen Rauminhalt hat ein Stück Eis mit einem Gewicht von 1 kp?
10. Ein Stück Metall hat eine Länge von 10 cm, eine Breite von 6 cm, eine Höhe von 3 cm. Es hat ein Gewicht von 486 p. Bestimme die Art des Metalls nach der Wichtezahl!

§ 13. Von der Schwerkraft und vom Schwerpunkt

1. Das Senkblei – Der Schwerpunkt. Wir sehen, wie Früchte, die sich vom Baume lösen, herabfallen. — Heben wir einen Stein von der Erde auf und lassen ihn los, so fällt er zu Boden. Wiederhole den Versuch mit einem anderen Körper! Alle Körper fallen senkrecht nach unten, wenn man sie nicht unterstützt oder festhält. Sie folgen der *Schwerkraft.*

Wir befestigen vorher den Körper an einem Faden, dessen freies Ende wir beim Versuch in der Hand behalten. Der Körper fällt beim Loslassen wieder senkrecht nach unten, bis der Faden gestrafft ist. Der Körper hängt dann an dem Faden. Der Faden verhindert ihn am weiteren Fallen und stellt sich selbst unter der Wirkung der Schwerkraft senkrecht ein. Eine solche Vorrichtung nennt man *Lot* oder *Senkblei*. Mit ihm wird z. B. bei einem Feldmeßgerät der Anfangspunkt der zu vermessenden Strecke auf dem Erdboden festgelegt (Abb. 87).

Wir unterstützen eine dünne Holzleiste in einem Punkte so, daß sie auf der Fingerspitze ruht, ohne herabzufallen. Wir achten auf die Lage des Unterstützungspunktes. — Wir unterstützen verschiedene Papierblätter von der Gestalt eines Quadrates, eines Rechtecks, eines Dreiecks, eines Kreises ungefähr in der Mitte der Fläche durch einen Bleistift und schieben sie so lange hin und her, bis sie auf der Spitze frei ruhen, ohne zu kippen.

Abb. 87. Lot an einem Feldmeßgerät
Durch das Lot wird auf dem Erdboden der Fußpunkt festgelegt, über dem sich das Meßgerät befindet.

Aus den Versuchen entnehmen wir folgendes:

Es gibt an jedem Körper einen Punkt, bei dessen Unterstützung sich der Körper im Gleichgewicht befindet. Man nennt diesen Punkt den Schwerpunkt.

Wir lassen noch einmal eine Holzleiste auf der Fingerspitze schweben, beschweren aber das eine Ende der Leiste durch einen aufgelegten großen Knopf. Wir müssen den Unterstützungspunkt in Richtung auf den Knopf hin verschieben. Bei regelmäßig geformten Körpern, z. B. einer Kreisscheibe, einer Kugel, einem Würfel, liegt der Schwerpunkt im *Körpermittelpunkt*, doch trifft dies nur zu, wenn die Masse gleichmäßig über den ganzen Körper verteilt ist. Bei ungleichmäßiger Verteilung der Masse ist der Schwerpunkt mehr nach der Körperseite hin verlagert, die das größere Gewicht hat.

2. Vom Gleichgewicht. Wir bauen nach folgenden Angaben einen *Stehauf*: Wir verschließen ein ausgeblasenes Ei am stumpfen Ende mit Gips. Durch die andere Öffnung füllen wir einige kleine Metall- und Paraffinstückchen (alte Kerzenstummel) ein. Die obere Öffnung überkleben wir mit Papier, dann tauchen wir das Ei in heißes Wasser und lassen es in aufrechter Stellung wieder abkühlen. Legt man das so hergerichtete Ei auf den Tisch, so richtet es sich von selbst auf (Abb. 88). Dieses Verhalten wird verständlich, wenn man bedenkt, daß sich der Schwerpunkt beim Aufrichten senkt.

Abb. 88. Ein „Stehauf" richtet sich von selbst auf.

Überläßt man einen beweglichen Körper sich selbst, so geht sein Schwerpunkt in die tiefste Lage über, die bei der gewählten Unterstützung möglich ist. Hat er sie erreicht, so ist der Körper im stabilen Gleichgewicht.

Wir prüfen die Gültigkeit dieser Feststellung zunächst an hängenden Körpern nach.

a) *Alle frei hängenden Körper befinden sich im stabilen (sicheren) Gleichgewicht.* Wir markieren an einer Holzleiste den im Innern liegenden Schwerpunkt durch einen Punkt S auf der Außenfläche und bohren durch die Leiste in der Nähe eines ihrer Enden ein Loch A. Durch dieses stecken wir ein Rundholz (Abb. 89a). Das Rundholz legen wir quer über zwei aufrecht nebeneinandergestellte Schachteln oder Holzklötze, so daß die Leiste zwischen beiden frei herabhängt. Kommt die Leiste nach einigen Schwingungen zur Ruhe, so befindet sich der Schwerpunkt senkrecht unter dem Unterstützungspunkt. Er nimmt dabei seine tiefste Lage ein.

Ein hängender Körper befindet sich im stabilen Gleichgewicht, wenn sein Schwerpunkt senkrecht unter dem Unterstützungspunkt liegt. Bei einer Störung des stabilen Gleichgewichts kehrt der Körper in die alte Lage zurück.

b) Wir versuchen, die auf dem Rundholz ruhende Holzleiste zwischen den beiden Schachteln in aufrechter Stellung ins Gleichgewicht zu bringen (Abb. 89b). Der Schwerpunkt liegt dann über dem Aufhängepunkt. Man spricht in diesem Fall vom *labilen (unsicheren) Gleichgewicht.* Es genügen die geringsten Erschütterungen, um dieses Gleichgewicht zu stören. Dabei geht der Schwerpunkt wieder in eine tiefere Lage über.

Ein hängender Körper befindet sich im labilen Gleichgewicht, wenn der Schwerpunkt senkrecht über dem Unterstützungspunkt liegt. Bei einer Störung des labilen Gleichgewichts geht der Körper in die stabile Lage über.

c) Wir durchbohren die Leiste im Schwerpunkt und versehen sie in diesem mit einem Rundholz als Achse (Abb. 89c).

Decken sich Schwerpunkt und Unterstützungspunkt, so kann der Schwerpunkt weder steigen noch fallen. Der Körper ist in jeder Lage in Ruhe. Er ist im *indifferenten Gleichgewicht.*

Fallen Schwerpunkt und Unterstützungspunkt zusammen, so befindet sich der Körper im indifferenten Gleichgewicht.

Anders liegen die Verhältnisse bei einer Kugel, die auf einer waagerechten Fläche ruht. Sie ist in jeder Lage im Gleichgewicht, obwohl ihr Schwerpunkt immer senkrecht über dem Unterstützungspunkt liegt.

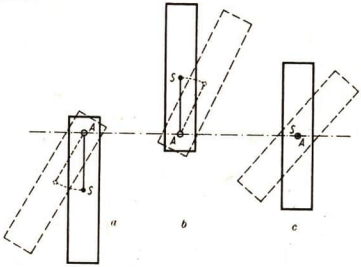


Abb. 89. Die verschiedenen Arten des Gleichgewichtes:
a) stabil — Schwerpunkt senkrecht unter dem Aufhängepunkt,
b) labil — Schwerpunkt senkrecht über dem Aufhängepunkt,
c) indifferent — Schwerpunkt im Aufhängepunkt.
Verwendet wird eine Holzleiste, durch die bei A ein Rundholz als Achse gesteckt ist. S ist der Schwerpunkt. Die zur Lagerung der Achse dienenden Klötze sind fortgelassen.

3. Die Standfestigkeit. Wir kippen einen Stuhl ein wenig zur Seite und lassen ihn los. Er kehrt wieder in seine alte Lage zurück, befindet sich demnach im stabilen Gleichgewicht. Das ist nicht überraschend, da der Schwerpunkt des Stuhles etwas unterhalb der Sitzfläche liegt und beim Ankippen stets gehoben wird. Er befindet sich demnach beim stehenden Stuhl in tiefster Lage. Um zum Ausdruck zu bringen, daß der Stuhl in diesem Falle fest steht, spricht man von *Standfestigkeit.* Dasselbe gilt für alle unsere Möbel und Gebrauchsgegenstände, sofern sie auf einer Unterlage stehen. *Ein stehender Körper befindet sich immer im stabilen Gleichgewicht.* Dies gilt auch dann, wenn seine Standfestigkeit nur gering sein sollte.

Wovon die Standfestigkeit im einzelnen abhängt, wird uns an folgenden Beispielen klar:

a) Eine hochkant aufgestellte leere Zigarrenkiste läßt sich leichter umwerfen als eine gleich große und ebenso aufgestellte, die mit Sand gefüllt ist. — Ein voller Eimer steht fester als ein leerer, weil er schwerer ist als dieser. — Ebenso kippt eine leere Flasche bei einem seitlichen Stoß leichter um als eine volle.

b) Damit eine Tischlampe fest steht, macht man ihren Fuß möglichst schwer und senkt dadurch den Schwerpunkt der Lampe. — Aus dem gleichen Grunde stehen niedrige Trinkgläser sicherer als langstielige, hohe. — Kraftfahrzeuge, die sich durch eine große Kippsicherheit auszeichnen sollen, baut man niedrig, so daß ihr Schwerpunkt möglichst tief liegt. — Warum ist bei einem hochbeladenen Heuwagen die Gefahr des Umkippens größer als bei einem leeren Wagen?

c) Wir stellen eine Zigarrenkiste auf ihre verschiedenen Flächen und versuchen sie umzuwerfen. Dies gelingt bei der großen Unterstützungsfläche nicht so leicht wie bei der kleinen. Ebenso steht eine Kerze, die man mit ihrer Endfläche auf eine kleine Holz- oder Pappscheibe klebt, viel fester, als wenn man sie ohne diese auf den Tisch stellt. — Aus dem gleichen Grunde werden Tischlampen mit einem möglichst breiten Fuß versehen.

Drei Unterstützungspunkte genügen, um einen Gegenstand sicher aufzustellen. Denke dabei an die Stative von Photoapparaten, an dreibeinige Schemel u. dgl.! Trotzdem bevorzugt man wegen der größeren Unterstützungsfläche meist vierbeinige Tische, obwohl sie nicht immer fest aufstehen, sondern häufig wackeln.

Man erkennt:

Ein Körper steht um so fester, je schwerer er ist, je tiefer sein Schwerpunkt liegt, je größer seine Unterstützungsfläche ist.

Kippt man einen auf einer Unterlage stehenden Körper zu stark, so fällt er um (vgl. Abb. 90). Der Schwerpunkt erreicht dabei eine Höchstlage (3). Überschreitet er sie, so trifft das vom Schwerpunkt aus gefällte Lot nicht mehr die Unterstützungsfläche. Der Körper kehrt nicht mehr in seine frühere Lage zurück; er fällt um.

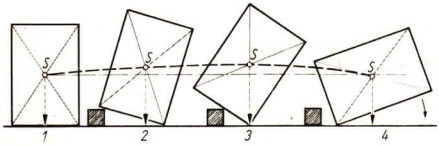


Abb. 90. Ein Körper fällt beim Kippen um, wenn der Fußpunkt des vom Schwerpunkt gefällten Lotes außerhalb der Unterstützungsfläche liegt.

Ein Körper fällt um, wenn der Fußpunkt des vom Schwerpunkt aus gefällten Lotes den Rand der Unterstützungsfläche überschreitet.

Der Schwerpunkt des menschlichen Körpers liegt ungefähr in der Höhe des Nabels. Tragen wir eine Last, so verschiebt sich der gemeinsame Schwerpunkt unseres Körpers und der Last nach der Seite der Last hin an den Rand unserer Unterstützungsfläche oder gar darüber hinaus. Unwillkürlich beugen wir uns nach der der Last entgegengesetzten Seite, um den Schwerpunkt wieder über die Unterstützungsfläche zu bringen.

Die Standfestigkeit spielt bei technischen Anlagen eine wichtige Rolle. Als Beispiel zeigt uns Abb. 91 einen der riesigen *Schaufelradbagger*, wie sie in unseren Braunkohlengruben verwendet werden. Die gewaltige Maschine bewegt sich auf Raupenketten und ruht auf einer im Verhältnis zum Ganzen kleinen Unterstützungsfläche. Trotz der weit ausladenden schwenkbaren Teile steht der Bagger stabil, da alle Teile durch Gegengewichte so ausgelastet sind, daß sich der Schwerpunkt immer über der Unterstützungsfläche befindet.

Aus diesem Beispiel ersieht man deutlich, welche große Bedeutung physikalische Erkenntnisse für die Entwicklung der Technik haben. Durch sorgfältiges Studium der physikalischen und aller sonst noch in Frage kommenden Grundlagen sowie auf Grund genauer Berechnungen ist es den Menschen gelungen, technische Großgeräte und Großbauten zu schaffen. Vergleiche dazu die Abbildungen 78, 91, 100, 101, aber auch Abb. 164!

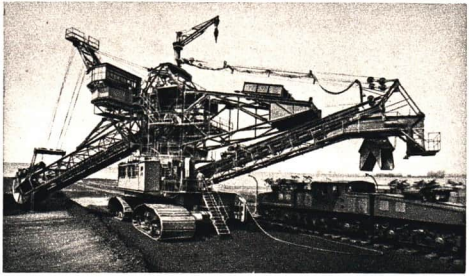


Abb. 91. Schaufelradbagger in einer Braunkohlengrube beim Abtragen der Kohle

Das auf Raupenketten ruhende fahrbare Gerät ist mit zwei weit ausladenden schwenkbaren Armen ausgestattet. Am Ende des einen Auslegers befindet sich ein Schaufelrad. Es gräbt die Kohle ab und schüttet sie auf ein vom Ausleger getragenes Förderband. Von diesem wird die Kohle an ein vom Verladearm getragenes Transportband weitergegeben, das sie den Wagen der Grubenbahn zuführt. Gewichtsmäßig sind die einzelnen Maschinenteile gegeneinander ausgeglichen. Die Abbildung gibt den Augenblick wieder, in dem der Kohlentransportzug vorfährt. Die elektrische Lok befindet sich gerade unter dem Verladearm.

4. Versuche und Fragen:

1. Durchbohre eine rechteckige Papptafel an verschiedenen Punkten in der Nähe des Randes und hänge sie an einem waagerechten Nagel frei schwebend auf! Markiere auf der Tafel für verschiedene Aufhängepunkte mit Hilfe eines einfachen Lotes die von den Aufhängepunkten ausgehenden Wirkungslinien der Schwerkraft! Die entstehenden Geraden sind Schwerlinien, die sich in einem Punkt schneiden. Auf diese Weise findet man die Lage des Schwerpunktes.

2. Wiederhole den Versuch mit einer dreieckigen, einer kreisförmigen, einer trapezförmigen, einer unregelmäßig begrenzten Pappscheibe!

3. Stelle nach Art von Abb. 92 aus drei Kartoffeln und drei dünnen Holzstäben (Wurstspeilen) ein Körpersystem her, das auf einer erhöhten Unterlage im Gleichgewicht ruht! Wo liegt der Schwerpunkt? Ersinne ähnliche Zusammenstellungen und probiere sie aus!

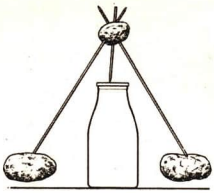


Abb. 92. Körpersystem aus drei Kartoffeln, das auf einer erhöhten Unterlage im Gleichgewicht ruht.

4. Fülle ein Tintenfläschchen mit Sand, stoße durch den Verschlußkorken eine Stricknadel und stecke darauf eine Kartoffel! Ändere die Höhenlage der Kartoffel an der Stricknadel! Wie ändert sich dabei die Standfestigkeit der Flasche?

5. Versuche einen Bleistift auf den Tisch zu stellen! Warum gelingt es schwer?

6. Warum kann ein Körper die labile Gleichgewichtslage, wenn überhaupt, dann nur kurze Zeit beibehalten?

7. In welchem Gleichgewicht befindet sich eine Kugel, die man a) in eine Kugelschale, b) auf eine umgekehrte Kugelschale, c) auf den Tisch legt?

8. Warum steht man auf einem fahrenden Wagen mit gespreizten Beinen sicherer als mit geschlossenen?

§ 14. Vom Druck in Flüssigkeiten

1. Druckkraft und Druck. Laufen wir im Gebirge durch losen Pulverschnee, so kann es geschehen, daß wir tief in den Schnee einsinken. Schnallen wir Skier unter, so ist dies nicht der Fall. — Leute, die ein Moor überqueren wollen, binden sich Bretter unter die Schuhe.

Eine von außen senkrecht gegen die Oberfläche eines festen Körpers gerichtete Kraft wird **Druckkraft** genannt. Sie wird infolge der Starrheit des Körpers auf die gesamte in der Wirkungsrichtung der Kraft liegende Begrenzungsfläche des Körpers übertragen. Wir haben von der Druckkraft streng den **Druck** zu unterscheiden. Dieser wird gemessen durch die auf 1 cm² der gedrückten Fläche wirkende Druckkraft. Er ist wie die Druckkraft senkrecht gegen die Begrenzungsfläche gerichtet.

Man findet den Druck, indem man die Druckkraft durch die Größe der gedrückten Fläche dividiert.

Bezeichnet man die Druckkraft mit P, die gedrückte Fläche mit F und den Druck mit p, so ist

$$p = \frac{P}{F}.$$

Die Einheit des Druckes heißt eine Atmosphäre (1 at); genauer eine technische Atmosphäre.
1 Atmosphäre = 1 Kilopond je Quadratzentimeter,
1 at = 1 kp/cm².

Bei gleicher Druckkraft ist der Druck um so größer, je kleiner die gedrückte Fläche ist.

Beispiel:

Ein Normalziegelstein hat ein Gewicht von etwa 3,5 kp; seine Kanten haben eine Länge von 24 cm, 11,5 cm, 7,1 cm. Wir legen ihn mit seiner größten Fläche von 276 cm² auf den Tisch. Die auf die Tischplatte ausgeübte Druckkraft beträgt 3,5 kp, der Druck dagegen, den eine beliebige Stelle der gedrückten Fläche auszuhalten hat, ist

$$3{,}5 \text{ kp} : 276 \text{ cm}^2 = \frac{3{,}5}{276} \text{ kp/cm}^2 \approx 0{,}013 \text{ at.}$$

Legen wir den Stein mit der kleinsten Fläche von 81,65 cm² auf den Tisch, so ist die Druckkraft die gleiche. Der Druck dagegen wächst an auf

$$3{,}5 \text{ kp} : 81{,}65 \text{ cm}^2 = \frac{3{,}5}{81{,}65} \text{ kp/cm}^2 \approx 0{,}043 \text{ at.}$$

In Abb. 91 lernten wir einen der großen *Schaufelradbagger* kennen, die neben anderen Fördermaschinen in den Braunkohlengruben zur Kohlenförderung verwendet werden. Obwohl ein solches Ungetüm bis zu 1 Mill. kp schwer ist, sinkt es in die weiche Kohle bzw. den Erdboden kaum ein, sondern kriecht auf seinen Raupenketten sicher weiter.

Abb. 93 zeigt uns einen Teil des *Fahrgestells*. Die Raupenkette besteht aus mächtigen Stahlplatten, die dem Boden mit einer Fläche von insgesamt 96 m², das sind 960000 cm², aufliegen. So kommt es, daß sich die Druckkraft von 1 Mill. kp auf 960000 cm² verteilt. Der an der Berührungsfläche wirksame Druck beträgt demnach $\frac{1000000}{960000}$ kp/cm², mithin nur 1,04 kp/cm². Diesem Druck ist das Kohlenflöz ohne weiteres gewachsen.

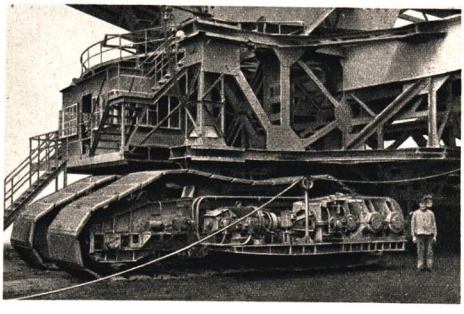


Abb. 93. Fahrgestell eines Schaufelradbaggers

Der Bagger ruht auf den mächtigen Raupenketten, die von Elektromotoren angetrieben werden. Im Vordergrund ist das Kabel zu sehen, das den Bagger mit Strom versorgt.

2. Der Wagenheber – Die Ausbreitung des Druckes im Wasser. Eine Glaskugel, die Öffnungen nach allen Seiten besitzt und an die ein Druckzylinder angesetzt ist, füllen wir vollständig mit Wasser. Drücken wir auf den Kolben, so tritt das Wasser gleichmäßig aus allen Öffnungen (Abb. 94). Es spritzt nicht nur aus denjenigen Öffnungen der Glaskugel, die dem Kolben gegenüberliegen, sondern aus allen Öffnungen gleich stark. Wir folgern daraus das *Gesetz von der Druckübertragung*:

Wirkt auf eine allseitig abgeschlossene Flüssigkeit von außen eine Druckkraft, so wird der dadurch in der Flüssigkeit hervorgerufene Druck durch die Flüssigkeit nach allen Seiten gleichmäßig übertragen.

Einen von außen her auf die Flüssigkeit ausgeübten Druck nennt man *Kolbendruck*. Die gleichmäßige Übertragung des Kolbendruckes in einer Flüssigkeit findet in der Technik vielfach Verwendung.

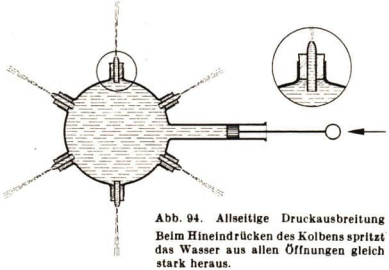


Abb. 94. Allseitige Druckausbreitung
Beim Hineindrücken des Kolbens spritzt das Wasser aus allen Öffnungen gleich stark heraus.

So sind Autoreparaturwerkstätten meist mit einem *hydraulischen Wagenheber* (Abb. 95) ausgerüstet. Mit seiner Hilfe kann man Personenkraftwagen hochheben, wenn man Reparaturen an den Rädern oder an der sonst schwer zugänglichen unteren Fläche des Wagens vornehmen will. Der Wagenheber ist mit einer durch einen Elektromotor betriebenen Pumpe ausgestattet. Seine Einrichtung wird durch Abb. 96 stark vereinfacht und schematisch wiedergegeben. Bei der zu dem oben abgebildeten Wagenheber gehören-

Abb. 95. Hydraulischer Wagenheber
Durchmesser der Drucksäule 25,2 cm, Querschnitt der Drucksäule 500 cm², Flüssigkeitsdruck 6 at

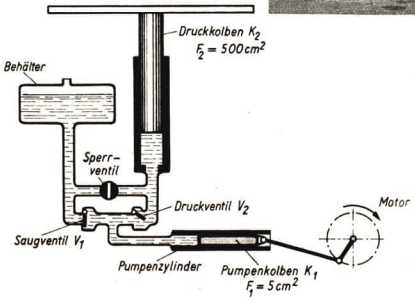


Abb. 96. Anlage eines hydraulischen Wagenhebers (Schema)
Die Flüssigkeit wird durch eine Pumpe aus einem Behälter gesaugt und in den Druckzylinder gepreßt. Den Durchfluß regeln die Ventile V_1 und V_2. Das Saugventil V_1 öffnet sich beim Saugen und schließt sich beim Drücken. Das Druckventil V_2 öffnet sich beim Drücken und schließt sich beim Saugen.

den Pumpe hat der Pumpenkolben einen Querschnitt von 5 cm² (Durchmesser etwa 2,5 cm). Wird mittels des Pumpenkolbens auf die im Zylinder befindliche Flüssigkeit eine Druckkraft von beispielsweise 30 kp ausgeübt, so wird dadurch ein Druck von

$$\frac{30}{5}\ \mathrm{kp/cm^2} = 6\ \mathrm{at}$$

hervorgerufen.

Dieser Druck gelangt nach dem Gesetz von der Drucküberragung auch an dem Kolben zur Wirkung, der im *Druckzylinder* gleitet und den Wagen trägt. Man nennt diesen Kolben allgemein die *Drucksäule*. Bei unserem Wagenheber hat sie einen Querschnitt von 500 cm² (Durchmesser 25,2 cm). Bei einem Druck von 6 at wirkt demnach auf den Kolben eine Druckkraft von $500 \cdot 6$ kp = 3000 kp. Diese Kraft ist imstande, einen Personenkraftwagen zu heben. Soll sich die Drucksäule wieder senken, so läßt man die Flüssigkeit durch ein Verbindungsrohr aus dem Druckzylinder in den Behälter zurückfließen. Als Betriebsflüssigkeit wird meist nicht Wasser, sondern Öl verwendet.

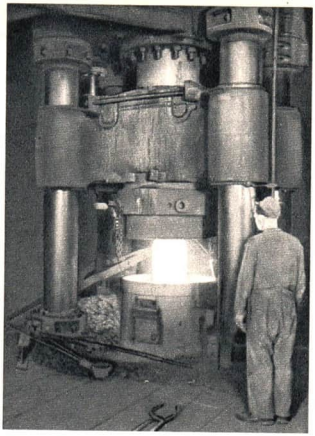


Abb. 97. Hydraulische Presse in einem Stahlwerk der Deutschen Demokratischen Republik

Der Druckzylinder wird von starken Stahlsäulen getragen. Der Stempel der Presse wirkt von oben nach unten. Der zu bearbeitende Stahlblock wird glühend unter den Stempel gebracht und durch die von oben ausgeübte Druckkraft geformt.

In ähnlicher Weise wie der Wagenheber arbeiten die *hydraulischen Pressen*, die in der Industrie zur Erzeugung hoher Druckkräfte bei der Formung von Werkstücken mannigfache Verwendung finden (Abb. 97).

3. Die gegen den Boden gerichtete Druckkraft (Bodendruckkraft). Wir öffnen einen Hahn der Wasserleitung und versuchen, mit dem Finger den Wasseraustritt zu verhindern. Wir verspüren die Wirkung des Wasserdruckes.

Um festzustellen, wovon er abhängig ist, benutzen wir die auf Seite 70 schematisch wiedergegebene Pascalsche Waage.

Sie trägt auf dem einen Arm ihres Waagebalkens eine Verschlußplatte, die den Boden eines *zylindrischen Gefäßes* a bildet. Füllt man Wasser in den Zylinder, so lastet es mit seinem ganzen Gewicht auf dem Boden. Die gegen den Boden wirkende Druckkraft wird durch das am Waagebalken hängende Gewichtsstück gerade ausgeglichen, wenn das Wasser die Höhe h erreicht. Gießen wir noch mehr Wasser in den Zylinder, so öffnet sich die Platte; das überschüssige Wasser fließt ab. Verwendet man ein anderes Gegengewicht, so ändert sich die Wasserhöhe entsprechend. Je größer das angehängte Gewicht ist, desto höher ist die Wassersäule.

Wir schrauben an die Stelle des Zylinders a das *trichterförmige Gefäß* b in die über der Verschlußplatte befindliche Fassung. Der Versuch ergibt, daß die Druckkraft gegen den Boden die gleiche ist, obwohl wir in b bis zur Höhe h eine größere Menge Wasser hineingießen können als in a. Auch beim Aufsetzen des *nach oben verjüngten Gefäßes* c messen wir die gleiche Bodendruckkraft, wenn wir das Gefäß bis zur gleichen Höhe mit Wasser füllen. Überraschend ist, daß in diesem Falle die Bodendruckkraft größer ist als das Gewicht der Flüssigkeit im Gefäß. Vgl. dazu Abb. 98!

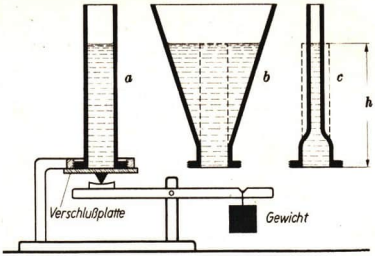


Abb. 98. Waage zur Untersuchung des Bodendruckes (Pascalsche Waage), schematische Wiedergabe

Die Gefäße a, b, c sind an ihrem unteren Ende mit einer Schraubfassung versehen und können gegeneinander ausgewechselt werden. Eine vom Waagebalken getragene dicht schließende Scheibe bildet den Boden.

Wir kommen zu dem auffallenden Ergebnis:

Die Druckkraft des Wassers gegen den Boden eines Gefäßes ist allein abhängig von der Größe der gedrückten Bodenfläche und von der Höhe der Wassersäule über der Bodenfläche. Sie ist von der Form des Gefäßes unabhängig.

Die Druckkraft des Wassers gegen den Boden ist so groß wie das Gewicht der Wassersäule, die senkrecht über der Bodenfläche stehend zu denken ist (in den Abbildungen 98b und c punktiert gezeichnet).

Handelt es sich um eine andere Flüssigkeit als Wasser, so gilt das gleiche Gesetz. Auch in diesem Falle ist die Druckkraft gegen den Boden gleich dem Gewicht der darüber stehenden Flüssigkeitssäule.
Will man die Druckkraft berechnen, so muß man die Wichte der Flüssigkeit berücksichtigen.

Man findet die Druckkraft einer Flüssigkeit gegen den Boden, indem man die gedrückte Fläche mit der Flüssigkeitshöhe und der Wichte multipliziert.

Dies läßt sich ausdrücken durch die Formel

$$P = F \cdot h \cdot \gamma,$$

worin P die Druckkraft, F die gedrückte Fläche, h die Höhe der drückenden Flüssigkeitssäule und γ die Wichte der Flüssigkeit bedeuten.

Teilen wir die gegen den Boden gerichtete Druckkraft durch die Größe der Bodenfläche, so erhalten wir den am Boden herrschenden Druck, den sogenannten *Bodendruck*. Für ihn gilt das gleiche Gesetz wie für die Druckkraft.

Der Bodendruck ist von der Form des Gefäßes unabhängig; er ist allein abhängig von der Höhe der Flüssigkeitssäule über dem Boden, gemessen bis zur Flüssigkeitsoberfläche, und von der Wichte.

4. Seitlich wirkende Druckkräfte (Seitendruckkräfte). Wird ein Wasserleitungsrohr undicht, so spritzt das Wasser seitlich heraus. Der im Wasser herrschende Druck löst in diesem Falle eine gegen die Seitenwand gerichtete Druckkraft aus. Der in Abb. 99 dargestellte Versuch zeigt uns, daß die gegen die Seitenwand gerichtete Druckkraft genau wie die gegen den Boden wirkende mit der Höhe der Wassersäule über der Druckstelle zunimmt.

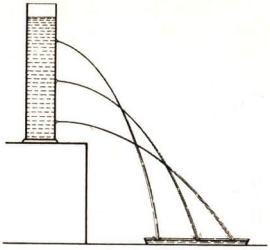


Abb. 99. Seitendruck des Wassers

Aus den seitlichen Öffnungen treten Wasserstrahlen aus. Die Spritzweite ist um so größer, je tiefer die Austrittsöffnungen liegen.

Aus diesem Grunde wird auch die *Sperrmauer* einer Talsperre so gebaut, daß sie nach unten hin stärker wird (vgl. Abb. 100). Ebenso wird sie im Bogen von einer Talwand zur anderen geführt, damit sie dem Wasserdruck besser gewachsen ist.

Talsperren errichtet man zur Sicherung stromabwärts liegender Gebiete vor Hochwasser, zur Versorgung von Städten und ganzen Landgebieten mit Trinkwasser, vor allem zur Nutzbarmachung der Wasserkraft beim Gewinnen elektrischer Energie. Dem Zweck der Trinkwasserbereitung und der Brauchwasserversorgung dient auch in erster Linie die neuerbaute *Sosatalsperre*. Sie beliefert das für unseren wirtschaftlichen Aufbau so überaus wichtige Erzgebiet bei Aue im Vogtland mit Trink- und Brauchwasser für die dort liegenden Erzgruben und industriellen Werke. Aus diesem Grunde war die Vollendung ihres Baus im Rahmen des Fünfjahrplans bis Ende 1951 vorgesehen. Die Talsperre wurde vorfristig fertiggestellt und am 21.12.51 als „Talsperre des Friedens" ihrer Bestimmung übergeben.

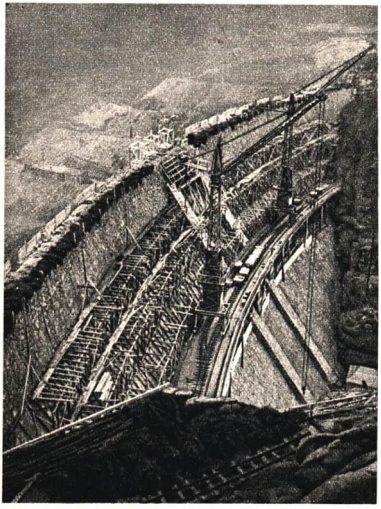


Abb. 100. Talsperre des Friedens im Tal der Kleinen Bockau

Blick auf die Außenseite der fertiggestellten Sperrmauer. Mauerhöhe 58 m, Mauerlänge (Krone) 196 m, Kronenbreite 4 m, Sohlenbreite 46 m, Fassungsvermögen 6 Mill m³, Fläche des Sperrbassins 34 ha.

Abb. 100 zeigt uns die Sosatalsperre am Tage der Einweihung. Wir blicken auf die

talabwärts gerichtete Seite der Mauer und erkennen deutlich das Zunehmen der Mauerstärke nach der Sohle hin und die Bogenführung von einer Talwand zur anderen. Auf einem an der Mauer angebauten Gerüst sind zwei gewaltige fahrbare Turmdrehkräne aufgestellt. Außerdem sind dort die Gleise der Förderbahn verlegt, die zum Heranschaffen der Baumaterialien diente.

Ein zweites Bauvorhaben des Fünfjahrplanes von ähnlicher Bedeutung sind die *Bodetalsperren* im Harz. Sie bilden ein ganzes System von Sperren, die zum Teil untereinander in Verbindung stehen. Insgesamt werden 131,4 Mill. m^3 Wasser gestaut werden. Auch die Bodetalsperren werden nach ihrer Fertigstellung im Jahre 1955 die Trinkwasserversorgung großer Gebiete sicherstellen. In den Städten Magdeburg, Halle/S. und Leipzig und ihrer weiteren Umgebung werden durch die entstehenden Anlagen etwa 4 Millionen Menschen besser mit Trink- und Brauchwasser versorgt werden als früher. Außerdem werden durch die beiden Kraftwerke an der Rappbodesperre und in Thale 40 bis 50 Millionen Kilowattstunden an elektrischer Energie gewonnen.

In ganz ungewöhnlichem Maße werden vorhandene Wasserkräfte in der Sowjetunion zur Versorgung ganzer Landteile mit elektrischer Energie ausgenutzt. Wir denken vor allem an die riesige Staumauer bei *Saporoshje* (Abb. 101) im Unterlauf des Dnepr und an die gewaltigen Stauwerke, die in der Wolga bei Stalingrad gebaut werden. Mit Hilfe von Talsperren und Staudämmen können die Menschen dort, wo sich Gelegenheit dazu bietet, die Natur zum Nutzen der menschlichen Gesellschaft weitgehend verändern. Sumpfige Gebiete werden auf diese Weise trockengelegt, Wüsten in fruchtbare Ländereien umgewandelt. Ein großartiges Beispiel dafür sind die Stalinschen Großbauten in Sibirien. Durch sie werden die Flußläufe des Jenissei und des Ob gänzlich geändert und zu einem gewaltigen Stausee vereinigt. Dieser Stausee wird die Grundlage für ein sich über einen ganzen Erdteil erstreckendes Bewässerungs- und Entwässerungssystem bilden.

Abb. 101. Staumauer bei Saporoshje im Unterlauf des Dnepr
Höhe 67 m
Länge 760 m

5. Aufwärts gerichtete Druckkräfte. Wir verschließen ein unten abgeschliffenes Glasrohr mit einer Metallscheibe, die wir mittels einer Schnur festhalten, und tauchen es in Wasser. Lassen wir die Schnur los, so fällt die Metallscheibe über-

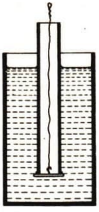


Abb. 102. Eine Metallscheibe, die der unteren Öffnung des in das Wasser getauchten Zylinders dicht anliegt, wird durch die von unten wirkende Druckkraft am Herabfallen gehindert.

raschenderweise nicht ab. Sie wird durch eine aufwärts wirkende Druckkraft des Wassers gegen den Röhrenrand gepreßt (Abb. 102).
Soll die Platte abfallen, so müssen wir das Glasrohr bis zum äußeren Wasserspiegel mit Wasser füllen. Dies trifft für jede Eintauchtiefe zu. Es erweist sich, daß die von unten her gegen den Boden gerichtete Druckkraft gleich dem Gewicht des im Zylinder befindlichen Wassers ist. Sie ist mithin wieder durch die Größe der gedrückten Fläche und durch die Höhe der darüber befindlichen Wassersäule bestimmt.

6. Der Druck im Innern einer Flüssigkeit. Wir sahen aus den vorangehenden Abschnitten, daß eine Flüssigkeit mit freier Oberfläche gegen die Gefäßwände Druckkräfte ausübt, die wir je nach der Lage der Wandflächen als *Bodendruckkräfte*, *Seitendruckkräfte* und *aufwärts gerichtete Drückkräfte* bezeichneten. Dividieren wir in jedem Fall die Druckkraft durch das gedrückte Flächenstück, so erhalten wir jeweils den *Wanddruck*, der immer senkrecht gegen die Gefäßwand gerichtet ist. Da er durch das Gewicht der Flüssigkeit hervorgerufen wird, heißt er auch *Schweredruck*.
Wir unterscheiden den *Bodendruck*, den *Seitendruck* und den *Aufdruck*. Außer als Wanddruck ist aber der Schweredruck auch an jedem Punkt im Innern einer Flüssigkeit nachweisbar. Dieser sogenannte *Innendruck* hat im Gegensatz zum Wanddruck keine bevorzugte Richtung, sondern wirkt in jeder Richtung mit gleicher Stärke. Wir können uns davon leicht überzeugen, indem wir drei Glasröhrchen von gleicher Länge, aber verschieden gerichteten Öffnungen als *Drucksonden* verwenden (Abb. 103). Wir verschließen die Röhrchen an ihrem oberen Ende mit dem Daumen und tauchen sie senkrecht in die Flüssigkeit ein. Geben wir die Öffnung frei, so schießt die Flüssigkeit bis zum äußeren Flüssigkeitsspiegel in den Röhrchen empor, ganz unabhängig davon, nach welcher Seite hin die untere Öffnung gerichtet ist.

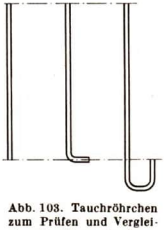


Abb. 103. Tauchröhrchen zum Prüfen und Vergleichen des Wasserdrucks

Die Größe des in einer Flüssigkeit herrschenden Druckes ist an jeder Stelle zahlenmäßig gleich dem Gewicht der Flüssigkeitssäule, die senkrecht auf einer waagerechten Fläche von 1 cm² ruht und bis zur Flüssigkeitsoberfläche reicht.

7. Vom Tauchen. In der Badewanne oder beim Baden in flachem Wasser fällt uns der Druck des Wassers noch nicht sonderlich auf. Aber schon beim Springen vom Sprungbrett einer Badeanstalt macht er sich bemerkbar, wenn man einige Meter unter die Wasseroberfläche hinabtaucht. Wir verspüren dabei deutlich den allseitigen Wasserdruck. Er wird um so größer, je tiefer man taucht. Daher erreicht man beim Tauchen selten eine Tiefe von 10 m. Ein *Taucher* im Taucheranzug (Abb. 104) kann etwa bis zu 30 m hinabtauchen. Es ist aber möglich, erheblich tiefer hinabzusteigen, wenn der Tauchende einen gepanzerten Taucheranzug anlegt. Er sichert sich dadurch gegen die schädigenden Einwirkungen des

Wasserdrucks. Mittels einer hohlen Stahlkugel ist es Menschen, die sich im Innern der Kugel befanden, sogar gelungen eine Tauchtiefe von 923 m zu erreichen.
In einer Wassertiefe von 10 m befindet sich über der Fläche von 1 cm^2 eine Wassersäule, die 1000 cm hoch ist. Ihr Gewicht beträgt daher 1 kp.

Der Wasserdruck beträgt in 10 m Tiefe 1 kp/cm^2, das ist 1 at.

Abb. 104. Ein Taucher geht ins Wasser.

8. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Wir stecken eine Glasröhre in eine kleine Gummiblase und binden diese an der Glasröhre wasserdicht fest. Die Blase füllen wir durch die Röhre mit gefärbtem Wasser. Wir tauchen sie in Wasser und heben und senken sie! Unter der Einwirkung des äußeren Wasserdrucks steigt das gefärbte Wasser in der Röhre hoch. Wie hoch?
2. Wir schließen an einen großen Trichter einen frei herabhängenden, langen Schlauch an und befestigen an diesem ein Rohr-T-Stück so, daß der Querbalken unten hängt. Gießen wir Wasser in den Trichter, so fließt es an beiden seitlichen Öffnungen des T-Stücks heraus. Schließen wir eine dieser Öffnungen mit einem Korkstückchen, so daß das Wasser nur zu einer Seitenöffnung austritt, so weicht das T-Stück nach der anderen Seite hin aus. Warum?
3. Warum sind die Tore einer Flußschleuse so eingerichtet, daß sie sich gegen den Strom öffnen? Vergleiche dazu Abb. 55 im Lehrbuch der Physik für das 6. Schuljahr! Warum werden die Schleusentore erst geöffnet, wenn an dem zu öffnenden Tor der Wasserstand in der Schleusenkammer dem auf der Stromseite gleich ist?
4. Die Wasserleitung eines Hauses ist an einen Hochbehälter angeschlossen, dessen Wasserspiegel 32 m über dem Erdboden liegt. Welcher Druck in at herrscht in der Wasserleitung a) zu ebener Erde, b) in einer Höhe von 16 m über dem Erdboden?
5. In einer chemischen Fabrik befindet sich ein aufrechtstehender Behälter, der mit Lauge gefüllt ist. Sein Boden hat eine Fläche von 8 m^2. Die Wichte der Lauge beträgt 1,05 p/cm^3; die Lauge steht im Kessel 5,3 m hoch. Welche Druckkraft wirkt gegen den Boden?
6. Auf den Pumpenkolben einer hydraulischen Presse mit einem Querschnitt von 1,5 cm^2 wirkt eine Kraft von 2,5 kp. Der Kolben im Hubzylinder hat eine Fläche von 450 cm^2. Welche Druckkraft kommt an ihm zur Wirkung?
7. Wenn wir eine Nähnadel in eine Holzplatte stechen, so üben wir eine Druckkraft von etwa 1 kp aus. Die Nadelspitze ist keineswegs wirklich spitz, sondern hat beispielsweise eine Fläche von etwa 0,05 mm^2. Wieviel cm^2 sind das? Berechne den Druck in at!

§ 15. Der Auftrieb

1. Gewichtsverlust eines Körpers im Wasser. Hebt man Wäsche aus dem Wasser, so scheint sie außerhalb des Wassers bedeutend schwerer zu sein als im Wasser. Man kann einen Eimer, der in einem vollständig mit Wasser gefüllten Zuber steht, mit dem kleinen Finger bis zur Oberfläche des Wassers heben. Obwohl der Eimer voll Wasser ist, scheint er leichter zu sein als der leere Eimer außerhalb des Zubers. — Man kann im seichten Wasser einen am Grunde liegenden schweren Stein mitunter mit Leichtigkeit anheben, ihn aber nicht über die Wasseroberfläche emporheben. Wir folgern aus diesen Beobachtungen, daß auf einen in einer Flüssigkeit befindlichen Körper von unten her eine Kraft einwirkt, die wir als **Auftrieb** bezeichnen.

Jeder Körper erleidet beim Eintauchen in eine Flüssigkeit einen Auftrieb; er wird dadurch scheinbar leichter.

Wovon der Auftrieb abhängig ist und wie er zustande kommt, lehrt uns ein Versuch, der durch Abb. 105 wiedergegeben wird.

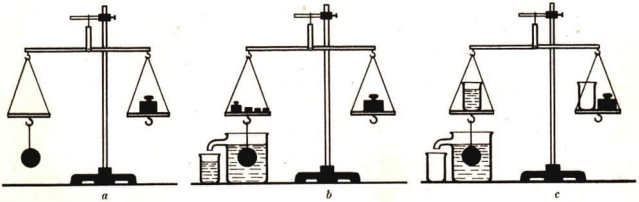


Abb. 105. Scheinbarer Gewichtsverlust einer Metallkugel im Wasser

a) Die Kugel wird gewogen.

b) Der Auftrieb wird durch einige auf die linke Waagschale gelegte Gewichtsstücke ausgeglichen.

c) Es wird dasselbe erreicht, wenn man das von der Kugel verdrängte Wasser auffängt und im Auffangglas auf die linke Waagschale stellt. Das Auffangglas selbst wird durch ein gleich großes, leeres Glas ausgeglichen.

a) Unter die linke Waagschale einer Hebelwaage hängen wir einen beliebigen Körper, dessen Wichte größer als die des Wassers, also größer als 1 p/cm³ ist. Als Versuchskörper dient eine Metallkugel. Wir bringen die Waage durch Auflegen von Gewichtsstücken auf die rechte Schale, beispielsweise durch ein 200-g-Stück, ins Gleichgewicht.

b) Wir lassen die Kugel in ein Überlaufgefäß mit Wasser eintauchen. Die rechte Waagschale senkt sich dann infolge des Auftriebes, den die Kugel erfährt. Durch Aufsetzen passender Gewichtsstücke auf die linke Schale — in unserem Beispiel durch 74 g — bringen wir den Waagebalken wieder in die waagerechte Lage. Das von der Kugel verdrängte Wasser fließt aus dem Überlaufgefäß in ein Becherglas über.

c) Nun ersetzen wir die auf die linke Waagschale gelegten Gewichtsstücke durch das Auffangglas mit dem übergelaufenen Wasser und stellen auf die rechte Waagschale ein gleich großes leeres Gefäß. Die Waage spielt wieder ein.

Wir stellen fest: die Masse der Kugel beträgt 200 g. Die Masse des verdrängten Wassers ist, wie aus c) in Verbindung mit b) folgt, gleich 74 g. Es kommt uns aber hier nicht auf die Massen, sondern auf die Gewichte an. Wie wir bereits wissen, hat in unserer geographischen Breite ein Körper mit einer Masse von 1 g fast genau ein Gewicht von 1 p. Wir dürfen daher das Gewicht der verdrängten Wassermenge gleich 74 p setzen. Wir folgern aus dem Vorangehenden:

Der Auftrieb eines Körpers in einer Flüssigkeit ist so groß wie das Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeitsmenge.

Dieses Gesetz wird nach seinem Entdecker, dem griechischen Gelehrten *Archimedes* (287—212 v. u. Ztr.), *Archimedisches Gesetz* genannt.

Die Ursache für das Zustandekommen des Auftriebes ist leicht einzusehen, denn der in die Flüssigkeit tauchende Körper verdrängt eine Flüssigkeitsmenge von gleichem Rauminhalt wie er selbst. Diese Flüssigkeitsmenge wird dabei emporgehoben und wirkt ihrerseits in gleicher Weise auf den Körper zurück.
Der Auftrieb wird in p gemessen, die Wasserverdrängung wird in cm^3 angegeben. Zahlenmäßig stimmen aber beide Größen überein. Da anderseits die Wasserverdrängung gleich dem Kugelvolumen ist, ermöglicht uns der oben angegebene Versuch, die **Wichte** der Kugel zu bestimmen. Man braucht nur die Maßzahl des Kugelgewichts durch die Maßzahl des Auftriebes zu dividieren und erhält nach § 12,6 die Maßzahl der Wichte.
In dem oben angegebenen Beispiel ist das Kugelgewicht gleich 200 p. Der Auftrieb der Kugel im Wasser beträgt 74 p, mithin das Kugelvolumen 74 cm^3. Demnach ist die Wichte

$$\gamma = \frac{200}{74}\ \mathrm{p/cm^3} = 2{,}7\ \mathrm{p/cm^3}.$$

Nach der auf S. 61 angegebenen Tabelle besteht die Kugel aus Aluminium.

2. Schwimmen, Schweben, Sinken. Wie wir aus Erfahrung wissen, trägt das Wasser mächtige Baumstämme und große Schiffe. Andere Körper, z. B. ein Stein, ein Nagel, ein Stück Glas, sinken unter, wenn man sie ins Wasser wirft. Das Gewicht eines Körpers allein ist nicht ausschlaggebend dafür, ob der Körper auf dem Wasser schwimmt.

Folgende Versuche verschaffen uns darüber Klarheit, warum ein Stein im Wasser untergeht, während ein Stück Holz auf dem Wasser schwimmt.
Wie es auf S. 75 geschildert wurde, vergleichen wir unter Benutzung einer Waage und eines Überlaufgefäßes das Gewicht des Steines mit dem Gewicht der vom Stein verdrängten Wassermenge. Wir finden, daß der Stein schwerer ist als das von ihm verdrängte Wasser.
Wir führen denselben Versuch mit einem kleinen Holzklotz aus, den wir in einem gefüllten Überlaufgefäß schwimmen lassen. Es läuft etwas Wasser aus, das wir in einem Becherglas auffangen. Wir vergleichen das Gewicht des Klotzes mit dem Gewicht der durch ihn verdrängten Wassermenge und stellen Übereinstimmung der beiden Gewichte fest.
Wir wiederholen den Versuch, tauchen aber den Klotz mit Hilfe eines Drahtes ganz in das Wasser ein. Die gesamte dabei verdrängte Wassermenge wird wieder aufgefangen. Ihre Wägung ergibt, daß sie schwerer ist als der Klotz selbst.

Wickeln wir etwas Draht um den Klotz, so können wir es erreichen, daß der Klotz im Wasser in jeder Höhenlage verbleibt, ohne unterzusinken oder emporzusteigen. Man sagt, er *schwebt* im Wasser. Die Gewichte des Klotzes und des verdrängten Wassers erweisen sich in diesem Fall als gleich groß.

Wir fassen zusammen:

a) Ein Körper sinkt im Wasser unter, wenn er schwerer ist als die von ihm verdrängte Wassermenge.

b) Ein Körper schwebt im Wasser, wenn er ebenso schwer ist wie die von ihm verdrängte Wassermenge.

c) Ein ganz von Wasser umgebener Körper steigt empor, wenn er leichter ist als die verdrängte Wassermenge.

d) Ein schwimmender Körper ist ebenso schwer wie die von ihm verdrängte Wassermenge. Die verdrängte Wassermenge hat denselben Rauminhalt wie der in das Wasser eintauchende Teil des Körpers.

Beziehen wir uns in den eben ausgesprochenen Sätzen auf die Wichte, so nehmen sie folgende Form an:

Ein Körper sinkt in einer Flüssigkeit, wenn seine Wichte größer als die Wichte der Flüssigkeit ist.
Ein Körper schwebt in einer Flüssigkeit, wenn seine Wichte gleich der Wichte der Flüssigkeit ist.
Ein Körper steigt in einer Flüssigkeit empor, wenn seine Wichte kleiner als die Wichte der Flüssigkeit ist.

Will man einen Körper schwimmfähig machen, so kann man dies auf zwei Arten erreichen:

1. Man verbindet den Körper mit einem anderen Körper, dessen Wichte kleiner ist als die der Flüssigkeit. So sind alle Rettungsringe oder -bälle mit Kork oder einem anderen Stoff gefüllt, dessen Wichte kleiner als 1 ist. Ihr Auftrieb ist so groß, daß sie das Gewicht eines ins Wasser gefallenen Menschen zu tragen vermögen.

2. Wir drücken ein Stück Stanniol zu einem dichten, festen Klumpen zusammen und werfen es ins Wasser. Es sinkt unter. Nehmen wir dagegen ein gleich großes Stück Stanniol, kniffen es zu einem Schiffchen oder Kästchen und setzen dieses aufs Wasser, so schwimmt es. Wir entnehmen daraus:

Man kann einen Körper, dessen Wichte größer ist als die der Flüssigkeit, dadurch zum Schwimmen bringen, daß man ihm die Form eines Hohlkörpers gibt.

Wird ihnen die richtige Form gegeben und wird die stabile Schwimmlage eingehalten, so sind sogar Schiffe aus Eisen schwimmfähig. Eisen (Stahl) hat eine Wichte von 7,8 p/cm³. Massive Eisenstücke gehen im Wasser unter; ihre Wasserverdrängung ist geringer als das Gewicht des Eisens. Man baut deshalb ein Schiff so, daß es einen genügend großen Hohlraum umschließt. Das Volumen des Schiffes muß so groß sein, daß seine Wasserverdrängung das Gewicht des Schiffes einschließlich der Ladung trägt. Dann schwimmt das Schiff. Vergleiche dazu die auf der nächsten Seite stehenden Abbildungen 106 und 107!

Erhält ein Schiff ein Leck, so strömt Wasser von außen in das Schiff. Die im Schiffskörper befindliche Luft wird hinausgedrängt, infolgedessen wird die Wasserverdrängung des Schiffes immer geringer, so daß das Schiff schließlich untergeht. Bei Seeschiffen ist deshalb der Innenraum durch wasserdichte Querwände, die man *Schotten* nennt, in einzelne Räume unterteilt. Wird ein solches Schiff leck, so läuft nur der leck gewordene Raum voll. Das Schiff als Ganzes bleibt noch schwimmfähig.

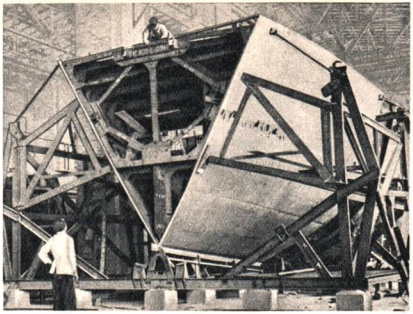


Abb. 106. Fischlogger im Bau auf der Volkswerft Stralsund
Das Bild läßt deutlich den von den Schiffswänden eingeschlossenen Hohlraum erkennen.

Der in Abb. 107 wiedergegebene *Fischlogger* wird in den volkseigenen Werften der Deutschen Demokratischen Republik in Serien aufgelegt und in einzelnen *Sektoren* fertiggestellt, die dann zusammengeschweißt werden. Einen dieser Sektoren zeigt die Abb. 106.

Erkläre das Schwimmen des Eises auf dem Wasser! Vergleiche dazu § 17,2 im Lehrbuch der Physik für das 6. Schuljahr!

Warum kann sich ein Nichtschwimmer mit einem Korkgürtel, einem Rettungsring oder mit einem aufgeblasenen Autoschlauch über Wasser halten?

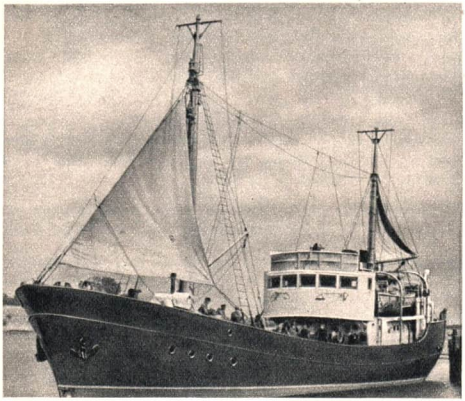


Abb. 107
Fischlogger der Vereinigung Volkseigener Werften, Rostock
Gesamtlänge 39 m
Breite 7,3 m
mittlerer Tiefgang 2,8 m
Wasserverdrängung 430 t
Motorleistung 300 PS

3. Wie schwimmt der Mensch? – Die Wichte der Flüssigkeiten. Atmet man beim Schwimmen tief ein, so dehnt sich der Brustkorb etwas aus. Man verdrängt infolgedessen eine etwas größere Wassermenge als vorher. Das Gewicht der verdrängten Wassermenge ist in diesem Falle ein wenig größer als das Körpergewicht. Beim Ausatmen dagegen wird die Wasserverdrängung geringer. Der Auftrieb reicht dann zum Tragen des Körpers nicht mehr ganz aus. Um wenigstens so weit über die Oberfläche zu ragen, daß wir atmen können, müssen wir durch Bewegungen des Körpers noch andere Kräfte wirksam werden lassen, die im gleichen Sinne wie der Auftrieb wirken (Schwimmbewegungen, Wassertreten u. a.). Demnach ist das Schwimmen des Menschen genau genommen kein Schwimmen im physikalischen Sinne.

Wer schon einmal im offenen Meer gebadet hat, wird mit Recht behaupten, daß ihm das Schwimmen dort leichter fällt als in der Badeanstalt im Heimatort. Worin besteht der Unterschied zwischen dem Meerwasser und dem Wasser der Flüsse und Seen?

Wir füllen in ein Reagenzglas einige Schrotkugeln (Abb. 108) und lassen es auf Wasser schwimmen. Wir kennzeichnen die Eintauchtiefe auf einem in das Glas gehängten Streifen aus Millimeterpapier. Dann wiederholen wir den Versuch in einer Salzlösung, ebenso in Spiritus und in Zuckerwasser. Wir beobachten verschiedene Eintauchtiefen und schließen daraus nach dem Archimedischen Gesetz auf eine verschiedene Wichte der Flüssigkeiten. Selbst der geringe Salzgehalt unserer Meere (Ostsee 1,7 %, Nordsee 3,3 %) wirkt sich nach dem Archimedischen Gesetz bereits günstig für das Schwimmen aus. Im Toten Meer, das einen etwa siebenmal so hohen Salzgehalt wie die Nordsee hat (22,3 %), kann ein Nichtschwimmer auf dem Wasser liegen, ohne unterzusinken.

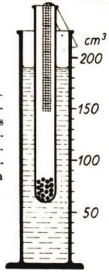


Abb. 108
Ein mit Schrotkugeln beschwertes Reagenzglas taucht in Salzlösungen mit verschiedenem Salzgehalt verschieden tief ein.

Aus dem gleichen Grunde hat ein Schiff im Seewasser einen geringeren Tiefgang als im Süßwasser.

Der Versuch mit dem Reagenzgläschen zeigt uns eine Möglichkeit, wie man in einfacher Weise die Wichte von Flüssigkeiten bestimmen kann. Wir benutzen dazu *Senkspindeln* oder *Aräometer*, die in ähnlicher Weise arbeiten wie das Reagenzglas mit den Schrotkugeln (Abb. 109). Sie besitzen auf dem dünnen, aus der Flüssigkeit herausragenden Glasrohr eine Teilung, an der man die Wichte bei verschiedenen Eintauchtiefen unmittelbar ablesen kann. Es gibt aber auch Senkwaagen, deren Skalen auf bestimmte wässerige Flüssigkeiten bezogen sind und den Prozentgehalt des dem Wasser beigemengten Stoffes angeben. So kann man mit einem *Milchprüfer* ohne weiteres den Fettgehalt der Milch, mit einem *Spirituspräfer* den Alkoholgehalt und mit einem *Säureprüfer* den Säuregehalt feststellen.

Abb. 109
Senkspindel oder Aräometer. Eine mit Schrot beschwerte Spindel trägt an ihrem oberen schlanken Ende eine Skala, an der man die Wichte der Flüssigkeit ablesen kann. Der erweiterte mittlere Teil enthält oft ein Thermometer, an dem man gleichzeitig die Temperatur abliest.

4. Versuche und Fragen:

1. Binde einen Stein an einen dünnen Faden und hänge ihn an eine Hornschalenwaage! Wäge den Stein in Luft und in Wasser und ermittle den Auftrieb als Differenz beider Meßergebnisse! Berechne daraus die Wichte des Steines!
2. Führe dasselbe an einem anderen Körper durch, z. B. an einem massiven Stück Glas, einem Stück Blei, einem Stück Eisen od. dgl.!
3. Binde einen Stein an einen dünnen Faden und hänge ihn an eine Federwaage! Bestimme das Gewicht in der Luft und dann im Wasser, wobei du unter die Federwaage ein Glas mit Wasser stellst, in das der Stein eintaucht! Ermittle aus beiden Meßergebnissen den Auftrieb und die Wichte des Steines!
4. Stelle ein Gefäß mit Wasser auf die eine Schale einer oberschaligen Tafelwaage und stelle durch Auflegen von Gewichtsstücken Gleichgewicht her! Läßt man jetzt einen an einem Faden hängenden Körper in das Wasser eintauchen, so senkt sich diese Schale. Gib die Ursache dafür an! Um welchen Betrag nimmt das Gewicht des Wassers scheinbar zu?
5. Cartesianischer Taucher. Fülle eine durchsichtige Bier- oder Selterswasserflasche vollständig mit Wasser und führe, mit der Öffnung nach unten, ein Aromaröhrchen ein! Bringe in dieses so viel Wasser, daß das Röhrchen, an der Oberfläche schwimmend, diese gerade von unten berührt! Verschließe nun die Flasche mit Hilfe des Gummiringverschlusses! Das Röhrchen sinkt zu Boden. Beim Öffnen der Flasche steigt es wieder an die Oberfläche empor. Achte dabei auf den Wasserstand im Röhrchen! Begründe das Verhalten des Röhrchens!
6. Warum sinkt eine bis zum Rand mit Wasser gefüllte Flasche im Wasser unter, während eine leere, verschlossene Flasche schwimmt? (Flaschenpost.)
7. Was versteht man unter dem „Kentern" eines Schiffes? Warum hat es meist den Untergang des Schiffes zur Folge? Kann ein gekentertes Schiff auch schwimmfähig bleiben?
8. Warum stattet man Rettungsboote meist mit Luftsäcken und Korkpackungen aus?
9. Wir legen ein Hühnerei in ein mit Wasser gefülltes Glas. Es sinkt zu Boden. Legen wir es in ein Glas mit starker Kochsalzlösung, so steigt es empor. Wir setzen so lange Salzlösung zum Wasser hinzu, bis das Ei in der Flüssigkeit in jeder beliebigen Höhenlage schwebt, ohne zu sinken oder zu steigen. Wie groß ist dann die Wichte der Flüssigkeit, verglichen mit der des Eies? Miß sie mit einer Senkwaage!
10. Nenne eine Flüssigkeit, auf der sogar ein massives Eisenstück schwimmt! Vergleiche die Tabelle der Wichten auf S. 61!

§ 16. Die Luft als Körper

1. Der Luftwiderstand. Schon im Lehrbuch der Physik für das 6. Schuljahr haben wir erfahren, daß die Luft und alle anderen Gase Körper sind. Zwar können wir die Luft nicht sehen und, sofern sie rein ist, auch nicht riechen und nicht schmekken. Wohl aber können wir sie durch unseren Tastsinn wahrnehmen. Freilich

verspüren wir bei langsamen Handbewegungen oder beim langsamen Vorwärtsschreiten kaum etwas von dem Vorhandensein der Luft. Anders dagegen, wenn wir schnell laufen oder radfahren. Wir fühlen deutlich, wie die Luft an uns vorbeistreift, und empfinden dies als eine uns entgegenwirkende Kraft, die wir zu überwinden haben. Wir sprechen von einem *Luftwiderstand*. Der Luftwiderstand macht sich bei allen Fortbewegungsarten bemerkbar. Es ist aber gelungen, ihn durch geeignete Formgebung erheblich herabzusetzen, was bei maschinell fortbewegten Fahrzeugen und bei Flugzeugen besonders wichtig ist (Abb. 110).

Abb. 110. „Stromlinienlokomotive"
Sie ist zur Herabsetzung des Luftwiderstandes mit einem Blechmantel verkleidet.

2. Der Überdruck verdichteter Luft. Luft läßt sich im Gegensatz zum Wasser stark zusammendrücken. Dies ist auch bei allen anderen Gasen der Fall. So werden Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlendioxyd und andere Gase unter einem Druck bis zu 150 at in *Stahlflaschen* zusammengepreßt. Sie können auf diese Weise aufbewahrt und versandt werden. Will man Gase stark verdichten, so genügt nicht eine so einfache Pumpe, wie wir sie in der Fahrradpumpe bereits im 6. Schuljahr kennenlernten. Man benötigt dazu eine kräftige Druckpumpe, die man auch als *Kompressor* bezeichnet. Abb. 111 gibt uns einen Schnitt durch einen Kompressor schematisch wieder.

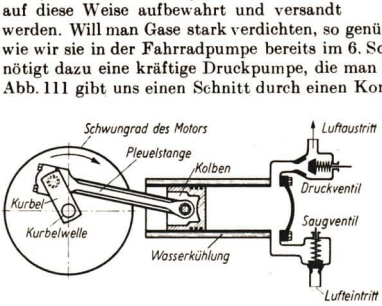


Abb. 111. Schnittzeichnung durch einen Kompressor
Der Druckzylinder ist liegend angeordnet.

Die Pumpe wird durch einen Motor angetrieben, der eine *Kurbelwelle* in Umlauf setzt. Die Übertragung der Bewegung von der Kurbel auf den *Kolben* erfolgt durch die *Pleuelstange*. Das ist eine hin und her gleitende, gleichzeitig aber auch auf und nieder schwingende Stange, die mit der Kurbel wie mit dem Kolben gelenkig verbunden ist. Vergleiche damit die Pleuelstange am Trittbrett der Nähmaschine! Die Pumpe saugt und drückt abwechselnd bei jedem Gang. Den Zufluß bzw. Abfluß der Luft regeln zwei Ventile, von denen sich das eine beim Saugen, das andere beim Drücken öffnet. Nach der Form des Ventilkörpers werden die in Abb. 111 verwendeten Ventile als *Kegelventile* bezeichnet. Abb. 112a gibt ein Kegelventil schematisch wieder. Andere häufig anzutreffende Ventile sind das *Klappenventil*, das *Kugelventil*, das *Scheibenventil* (Abb. 112b, c, d). Das *Schlauchventil*,

wie es beim Fahrrad in Gebrauch ist, wurde schon im Lehrbuch der Physik für das 6. Schuljahr, § 10,2 erwähnt.

Um Unterbrechungen in der Luftförderung zu vermeiden, läßt man Kompressoren in der Regel mit 2 Zylindern arbeiten, von denen immer abwechselnd der eine saugt und der andere drückt, oder man stattet sie mit einem doppelseitig wirkenden Kolben aus. Zum Ausgleichen des Luftstromes dient ein sogenannter *Windkessel*. Das ist ein Druckbehälter, in den die zusammengepreßte Luft zunächst gedrückt wird. Sie entspannt sich wieder selbsttätig.

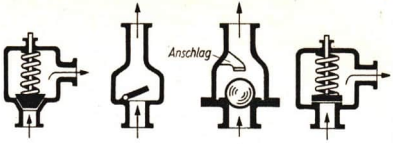


Abb. 112. Ventilformen

Man mißt den Gasdruck wie den Flüssigkeitsdruck in Atmosphären (at).

Der Gasdruck kann selbst bei kleinen Gasmengen sehr hoch werden, wenn man den Raum, in dem das Gas eingeschlossen ist, stark verkleinert. Übersteigt der Gasdruck die Festigkeit der Wand, so zerreißt diese (Platzen eines Fahrradschlauches). Es kommt zu einer Explosion.

Zur Verhütung von Betriebsunfällen müssen die Drucke in Dampfkesseln und anderen Druckbehältern ständig überwacht werden. Deswegen ist es gesetzlich vorgeschrieben, daß alle unter Druck stehenden Behälter mit Druckmessern zu versehen sind. Als solche werden *Manometer* benutzt. Man sieht sie auch auf den oben erwähnten Stahlflaschen für komprimierte Gase (Abb. 113). Bei höheren Drucken verwendet man meist *Röhrenfeder-Manometer* (Abb. 114). Sie enthalten

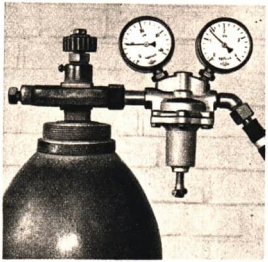


Abb. 113. Manometer für Hoch- und Niederdruck auf einer Stahlflasche. Zwischen beiden Manometern befindet sich ein Druckminderventil, durch das das herausströmende Gas vom Flaschendruck auf den Betriebsdruck entspannt wird.

Abb. 114. Röhrenfeder-Manometer

R Röhrenfeder, *E* Röhrenende, *S* Zahnradsektor. Das mit dem Zeiger verbundene Zahnrad ist im Bilde nicht zu sehen.

eine mit dem Gasbehälter verbundene, am freien Ende geschlossene Röhre aus Bronze oder Stahl, die sich bei Druckzunahme etwas streckt und bei Druckabnahme wieder krümmt. Die Bewegung ihres freien Endes wird mittels eines Zahnradsektors *S* und eines Zahnrades auf einen Zeiger übertragen.

Jeder Dampfkessel ist außerdem mit einem *Sicherheitsventil* versehen, das sich beim Überschreiten des zulässigen Höchstdruckes öffnet (vgl. Abb. 136).

Zusammengepreßte Luft *(Preßluft)* wird in Eisenbahnzügen zum Betätigen der Bremsen, in Bergwerken zum Betrieb der Bohrmaschinen und Preßlufthämmer benutzt. In Schmiedewerkstätten findet man noch vielfach den Blasebalg zum Entfachen des Schmiedefeuers.

Wir drücken auf ein Luftkissen und öffnen den Stutzen. Die Luft strömt gleich stark aus, ganz gleich wo und in welcher Richtung wir drücken.

In gasförmigen Körpern wirkt der Druck wie in den Flüssigkeiten nach allen Richtungen gleichmäßig.

3. Das Gewicht der Luft. Wir wissen bereits, daß Luft und alle anderen Gase wie alle Körper einen Raum einnehmen. Wir wollen nunmehr prüfen, ob Luft auch eine Masse und ein Gewicht hat. Einen großen Rundkolben (Rauminhalt etwa 2 l) verschließen wir mit einem Gummistopfen, durch den ein mit einem Hahn versehenes Glasrohr geführt ist. Wir wägen den Kolben genau (Abb. 115). Dann saugen wir zu wiederholten Malen kräftig die Luft aus dem Kolben und schließen in den Atempausen immer wieder den Hahn. Danach wägen wir den Kolben nochmals. Er ist leichter geworden. Der Versuch gelingt nur, wenn wir eine empfindliche Waage benutzen.

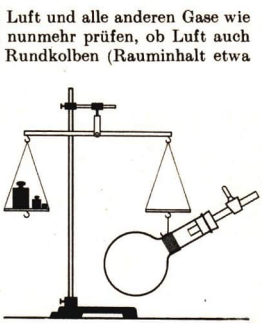


Abb. 115. Luft wird gewogen.

Beispiel:

Der Kolben wiegt vor dem Saugen	269,3 g.
Der Kolben wiegt nach dem Saugen	268,4 g.
Die herausgesaugte Luft wiegt somit	0,9 g.

Da einer Masse von 1 g ein Gewicht von angenähert 1 p entspricht, hat die herausgesaugte Luft ein Gewicht von 0,9 p. Es folgt daraus ganz allgemein:

Die Luft hat ein Gewicht.

Um den Raumteil zu messen, den die herausgesaugte Luft eingenommen hatte, tauchen wir die Öffnung des Rundkolbens in Wasser und öffnen den Hahn. Es strömt Wasser hinein. Bei unserem Versuch sind es, wie wir mit einem Meßzylinder feststellen können, 697 cm³. Durch Division findet man aus dem Meßergebnis das Gewicht eines Liters Luft.

Litergewicht der Luft: $G = 0{,}9\,\text{p} : 0{,}697 \approx 1{,}29\,\text{p}$.

1 Liter Luft hat ein Gewicht von etwa 1,29 p; seine Masse beträgt 1,29 g.

4. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Wir verschließen eine zu einem Viertel mit Wasser gefüllte Flasche durch einen Korken und führen eine Glasröhre hindurch, die an einem Ende spitz ausgezogen und mit einem Hahn versehen ist. Sie muß mit ihrem stumpfen Ende bis ins Wasser reichen. Durch die Spitze blasen wir Luft in die Flasche und schließen danach sogleich den Hahn. Wir öffnen ihn dann wieder bei aufrechter Stellung der Flasche. Was geschieht?
2. Wir verschließen eine zu einem Viertel mit Wasser gefüllte Flasche und führen durch den Korken eine bis in das Wasser reichende lange Glasröhre. Durch eine zweite gewinkelte Röhre blasen wir Luft hinein. Das Wasser wird dadurch in der ersten Röhre emporgedrückt. Ermittle aus der Länge der Wassersäule die Größe des in den Lungen herrschenden Druckes!
3. Ein Wasserhahn, wie wir ihn an jeder Zapfstelle finden, ist seiner Bauart nach ein Ventil (siehe Abb. 48 des Lehrbuches der Physik für das 6. Schuljahr). Vergleiche ihn mit den in Abb. 112 abgebildeten Ventilen! Welcher Form kommt er am nächsten?
4. Wie schwer ist die Luft in einem Zimmer von 5 m Länge, 4 m Breite und 3 m Höhe?

§ 17. Vom Luftdruck und seinen Wirkungen

1. Gewichtsdruck der Luft. Wir haben durch einen Versuch nachgewiesen, daß die Luft ein Gewicht hat (§ 16,3). Wie wir feststellten, beträgt das Litergewicht der Luft 1,29 p. Wenn dieses Gewicht auch nur gering ist, so lastet doch andrerseits eine Luftschicht von erheblicher Höhe auf uns. Die Wichte der Luft nimmt zwar mit der Höhe immer mehr ab, doch ist das Auftreten von Nordlichtern in den Polargegenden ein Zeichen dafür, daß noch in Höhen von über 100 km Luftteilchen anzutreffen sind. Diese Luftmasse muß notwendigerweise infolge ihres Gewichts eine Druckkraft auf die Erdoberfläche ausüben. Da sich der menschliche Körper dem Luftdruck angepaßt hat, merken wir zwar selbst nichts davon, doch kann man durch eine Reihe von Beobachtungen sein Vorhandensein nachweisen.

Beim Einkochen von Speisen verdrängt der entstehende Dampf die Luft aus den Einkochgläsern. Beim Abkühlen verdichtet er sich wieder, so daß unter dem Deckel ein luftverdünnter Raum entsteht. Der Deckel läßt sich dann nur unter Anwendung großer Kraft abheben, obwohl er nicht am Glase befestigt ist. Wir folgern daraus, daß es der Luftdruck sein muß, der ihn fest gegen das Glas preßt.

Wir füllen ein Trinkglas bis zum Rand mit Wasser und legen eine Postkarte auf die Öffnung. Wir kehren das Glas um, wobei wir die Karte mit der Hand andrücken. Lassen wir dann die Karte los, so fließt das Wasser nicht aus. Auch diese überraschende Tatsache beweist das Vorhandensein des Luftdruckes. *Otto von Guericke*[1] wies als erster den Gewichtsdruck

Otto von Guericke (1602–1686)

[1] Otto von Guericke (1602–1686), geboren in Magdeburg, nach dem Dreißigjährigen Kriege Bürgermeister in Magdeburg. Bedeutender Physiker seiner Zeit, geschickter Experimentator

der Luft durch Versuche nach. Mit einer von ihm erfundenen *Luftpumpe* gelang es ihm, eine Reihe von Aufsehen erregenden Versuchen durchzuführen, die alle das Vorhandensein des Luftdrucks schlagend beweisen. Einige dieser Versuche werden auch wir mit unseren Mitteln ausführen.

2. Versuche mit der Luftpumpe. Die von uns verwendete Luftpumpe unterscheidet sich in ihrer Wirkungsweise nicht von der uns bereits bekannten Fahrradpumpe und von dem in § 16,2 beschriebenen Kompressor. Nur benutzen wir sie hier nicht, um die Luft in einem Raum zu verdichten, sondern um einen luftverdünnten Raum, ein *Vakuum*, herzustellen. Wir lassen also die Pumpe im entgegengesetzten Sinne arbeiten wie früher.

Das Kernstück der Pumpe ist wie bei allen Pumpen ein Metallzylinder mit einem darin verschiebbaren, luftdicht abschließenden *Kolben*. Der Pumpenzylinder ist mit einem glattgeschliffenen, ebenen Teller verbunden (Abb. 116). Auf diesen stellt man mit luftdichtem Abschluß eine Glasglocke, aus der die Luft herausgesaugt wird. Man bezeichnet eine solche Glocke als einen *Rezipienten*.

Über einen sogenannten *Dreiwegehahn* wird der Zylinder abwechselnd mit dem Rezipienten und der Außenluft verbunden. Die Abbildungen 117a und b lassen deutlich die Funktion des Dreiwegehahns in Saugstellung und in Druckstellung erkennen. Wird der Kolben im Zylinder nach außen bewegt, so verteilt sich die im Rezipienten befindliche Luft über den Dreiwegehahn auf den ganzen ihr zur Verfügung stehenden Raum des Rezipienten und des Zylinders; sie verdünnt sich infolgedessen im Rezipienten. Man spricht dann von einer Saugwirkung der Pumpe. Man wiederholt den Vorgang mehrere Male hintereinander, wobei man das *Hahnküken* immer abwechselnd auf *Saug- und Druckstellung* umlegt. Auf diese Weise kann man allmählich ein ziemlich hohes Vakuum erreichen.

Einer der bekanntesten Versuche zum Nachweis des Luftdruckes ist der Versuch mit den **Magdeburger Halbkugeln**, der mit dem Namen Otto von Guerickes untrenn-

Abb. 116
Luftpumpe mit Teller zur Aufnahme eines Rezipienten

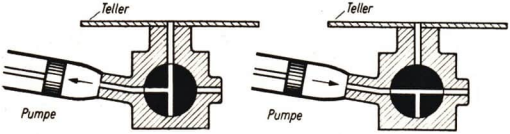


Abb. 117
Dreiwegehahn
a) Der Pumpenzylinder ist mit dem Rezipienten verbunden (Saugstellung).
b) Der Pumpenzylinder ist mit der Außenluft verbunden (Druckstellung).

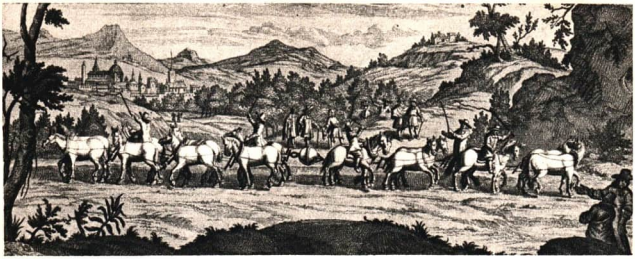


Abb. 118. Otto von Guerickes berühmter Versuch (nach einem alten Kupferstich). Durchmesser der Kugeln 42 cm. Erst durch Vorspannen von acht Pferden auf jeder Seite konnten die Kugeln auseinandergerissen werden.

bar verbunden ist und ihn weithin berühmt machte (Abb. 118). Wir führen den Versuch im kleinen aus und benutzen dazu zwei kleine Halbkugeln. Die eine von ihnen trägt einen Stutzen mit geschliffenem Rand, mit dessen Hilfe sie sich luftdicht auf den Teller der Luftpumpe stellen läßt. Nach dem Auspumpen der Luft vermögen wir die Halbkugeln trotz allen Kraftaufwandes nicht mehr voneinander zu trennen. Der äußere Luftdruck preßt sie zusammen. Lassen wir dagegen durch einen Hahn wieder Luft einströmen, so gelingt die Trennung ohne Schwierigkeit.

3. Die Größe des Luftdruckes. Otto von Guericke stellte durch einen Versuch auch die Größe des Luftdruckes fest. Er fertigte eine Röhre an, die bis zum obersten Stockwerk seines Hauses emporreichte; unten ließ er sie in einen Behälter mit Wasser tauchen. Dann pumpte er von oben her die Luft heraus. Das Wasser stieg in dem Rohr annähernd 10 m hoch; daraus folgerte er:

Der Luftdruck ist so groß, daß er dem Gewicht einer etwa 10 m hohen Wassersäule das Gleichgewicht hält.

Bei diesem Versuch beobachtete Otto von Guericke, daß der Wasserstand in der Röhre nicht zu allen Zeiten gleich hoch war.

Der Luftdruck ist nicht immer gleich groß.

Der Italiener *Torricelli*, der zur gleichen Zeit wie Otto von Guericke lebte und ein Schüler des großen Naturforschers *Galilei* war, benutzte statt des Wassers Quecksilber, dessen Wichte 13,6 mal so groß ist wie die des Wassers. Infolgedessen kam er mit einer bedeutend kürzeren Röhre aus.

Den *Torricellischen Versuch* führen wir in folgender Weise aus: Wir benutzen ein ungefähr 1 m langes, an einem Ende zugeschmolzenes Glasrohr mit einem lichten Durchmesser von etwa 3 mm und füllen es über einer flachen Wanne ganz mit Quecksilber. Wir schließen das Rohr mit dem Finger, drehen es um und tauchen das mit dem Finger verschlossene Ende in eine mit Quecksilber gefüllte Schale. Dann nehmen wir den Finger weg und richten das Rohr auf. Man sollte erwarten, daß das schwere Quecksilber ausfließt. Dies ist aber nicht der Fall; der Queck-

silberspiegel im Rohr sinkt nur wenig und bleibt in einer gewissen Höhe stehen (Abb. 119). Dabei entsteht im oberen Teil des Rohres über dem Quecksilber ein luftleerer Raum, ein Vakuum. Diese Feststellung darf allerdings nicht dahin mißverstanden werden, daß der Raum über dem Quecksilber vollständig leer sei. Er ist mit Quecksilberdampf gefüllt, der sich durch Verdampfen des Quecksilbers an seiner freien Oberfläche bildet.

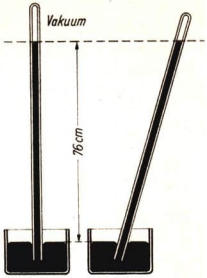


Abb. 119
Der Torricellische Versuch

Aus dem Versuch ersehen wir, daß die auf die Quecksilberoberfläche im Gefäß drückende Luft das Quecksilber im Rohr nur so weit sinken läßt, bis der Gewichtsdruck des Quecksilbers am Fuße der Quecksilbersäule durch den Druck der Luft ausgeglichen wird. Dies ist bei einer Quecksilberhöhe von etwa 76 cm der Fall, gemessen vom Quecksilberspiegel des Gefäßes. Dabei macht es nichts aus, ob das Rohr senkrecht steht oder etwas geneigt ist (vgl. Abb. 119).

In einem Rohr mit einem lichten Querschnitt von 1 cm^2 hat eine 76 cm hohe Quecksilbersäule einen Rauminhalt von 76 cm^3. Ihr Gewicht ist gleich dem Produkt aus dem Rauminhalt und der Wichte:

$$76\,cm^3 \cdot 13{,}6\,p/cm^3 = 1033\,p = 1{,}033\,kp.$$

Mithin ist der am Fuße der Quecksilbersäule herrschende Druck 1,033 kp/cm^2. Diesem Druck hält der Druck der Luft das Gleichgewicht. Man nennt diesen Druck eine **physikalische Atmosphäre** (1 Atm).

Der normale Luftdruck in Höhe des Meeresspiegels ist gleich einer physikalischen Atmosphäre (1 Atm). Diese ist nur um 33 p/cm^2 größer als die in § 14,1 eingeführte technische Atmosphäre (1 at).
1 Atm = 1,033 at

Wenn wir auch an den Luftdruck gewöhnt sind und ihn infolgedessen nicht besonders empfinden, so nehmen wir doch seine Veränderung bei einem plötzlichen Wechsel der Höhenlage wahr, z. B. in einem Fahrstuhl oder noch auffälliger in einem Flugzeug.

Statt den Luftdruck in Atm anzugeben, mißt man ihn in vielen Fällen durch die Länge der Quecksilbersäule selbst. Man verwendet dabei üblicherweise die Längeneinheit mm und gibt den Luftdruck in **mm Quecksilbersäule** (mm Hg[1]) an.

Der Luftdruck beträgt in Meereshöhe im Durchschnitt 760 mm Hg.

4. Barometer. Aus dem Torricellischen Versuch ist unmittelbar ein Gerät entwickelt worden, mit dessen Hilfe man den Luftdruck und seine Schwankungen in einfacher Weise messen kann. Es handelt sich um das *Quecksilberbarometer*. Abb. 120 zeigt eine für wissenschaftliche Messungen häufig verwendete Form. Eine etwa 100 cm lange Röhre ist an dem einen Ende zugeschmolzen,

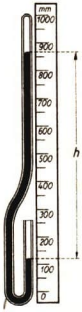


Abb. 120
Quecksilberbarometer (Heberbarometer)

[1] Hg Abkürzung für Hydrargyrum (griech.) = Quecksilber

am andern Ende offen. Sie ist U-förmig gebogen und so gekrümmt, daß der kürzere, offene Schenkel genau in der Verlängerung des längeren, geschlossenen Schenkels liegt. Die Röhre ist auf einem Brett befestigt. In ihr befindet sich so viel Quecksilber, daß der lange Schenkel bei waagerechter Lage damit ganz gefüllt ist. Richtet man das Brett auf, so tritt wie beim Torricellischen Versuch etwas Quecksilber in den kurzen Schenkel über. Im langen Schenkel bildet sich über dem Quecksilber ein Vakuum. An einem dicht neben der Röhre angebrachten Millimeter-Maßstab liest man die Höhe der Quecksilbersäule und damit den Luftdruck ab. Gemessen wird die Höhe h des oberen Quecksilberspiegels über dem unteren (vgl. Abb. 120).

Eine sehr gebräuchliche Form des Barometers, bei der kein Quecksilber verwendet wird, ist das *Dosenbarometer* (Abb. 121 und 122). Es enthält eine Dose mit einem Deckel aus elastischem Wellblech, die fast luftleer gepumpt ist. Vergrößert sich der Luftdruck, so drückt er den Deckel der Dose nach innen. Die Bewegung wird durch eine Blattfeder auf einen Winkelhebel und von diesem durch eine biegsame Drahtlitze auf einen Zeiger übertragen, der über einer kreisförmigen Skala gleitet. Durch eine kleine Spiralfeder wird die Litze gespannt und der Zeiger in die Ausgangsstellung zurückgezogen. Die Einteilung der Skala wird durch einen Vergleich mit einem Quecksilberbarometer gewonnen; sie gibt den Luftdruck in mm Quecksilbersäule (mm Hg) an. Die häufig an die Skala geschriebenen Wetterangaben sind nur als Mutmaßungen auf Grund der gesammelten Erfahrungen anzusehen. Sie bilden keine Grundlage für eine zuverlässige Wettervorhersage, da das Wetter außer vom Luftdruck noch von einer Reihe anderer Einflüsse abhängt (vgl. § 27 und 28).

Steigen wir auf einen Berg, so nimmt die Höhe der über uns liegenden Luftschicht ab; damit wird auch der Luftdruck geringer. Diesen Druckunterschied können wir schon feststellen, wenn wir den Luftdruck im Keller und im Dachgeschoß eines Hauses messen. Darum kann ein Barometer auch als Höhenmesser verwendet werden. In Erdnähe verringert sich der Luftdruck durchschnittlich um 1 mm Hg, wenn man 10,5 m emporsteigt.

Abb. 121
Dosenbarometer
Es enthält als druckempfindlichen Teil eine luftverdünnte Dose aus dünnem Wellblech. Die innere Skala ist in Millibar (mb) eingeteilt. Das Millibar ist eine in der Wetterkunde verwendete Einheit des Luftdrucks (siehe § 27, 2).

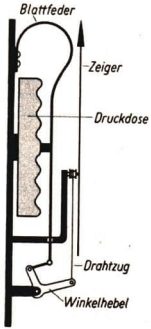


Abb. 122
Dosenbarometer, schematisch
Die schwachen Bewegungen des elastischen Deckels der Druckdose werden durch ein Hebelwerk stark vergrößert und auf einen Zeiger übertragen.

Um Barometerangaben von der jeweiligen Höhenlage der Meßstelle unabhängig zu machen, bezieht man alle Barometerablesungen bei wissenschaftlichen Arbeiten auf eine Höhe von 0 m über dem Meeresspiegel. Man bezeichnet einen Luftdruck von 760 mm Quecksilbersäule in der Höhe des Meeresspiegels als *normalen Luftdruck*.

5. Die Wasserpumpen. Benutzen wir beim Trinken von Limonade einen Strohhalm oder ein Glasröhrchen, so umschließen unsere Lippen dicht den Halm. Die Luft in der Mundhöhle wird durch Saugen verdünnt. Die äußere Luft drückt das Wasser in das Röhrchen. In ganz ähnlicher Weise spielt sich der Vorgang an einer Pumpe ab.

Die einfachste Pumpenart ist die sogenannte *Saugpumpe* oder besser *Saug-Hubpumpe*. Abb. 123 gibt sie schematisch wieder. Sie ist als Handpumpe überall in Orten anzutreffen, wo keine Wasserleitung vorhanden ist. Wir unterscheiden an ihr den *Pumpenzylinder* und das *Saugrohr*, das bis in das Grundwasser hineinreicht. Im Pumpenzylinder gleitet ein durch einen Pumpenschwengel bewegter Kolben auf und nieder. Der Pumpenzylinder ist gegen das Saugrohr durch ein Ventil abgeschlossen, das in der Zeichnung als Klappenventil wiedergegeben ist. Vergleiche dazu § 16,2! Dieses *Bodenventil* öffnet sich nur nach oben; es läßt Luft und Wasser lediglich in der Richtung vom Saugrohr zum Pumpenzylinder hindurchtreten. Ein zweites Ventil, das *Kolbenventil*, verschließt eine den Kolben durchsetzende Bohrung. Es öffnet sich wie das Bodenventil nur nach oben und gibt den Durchtritt für Luft und Wasser nur in dieser Richtung frei.

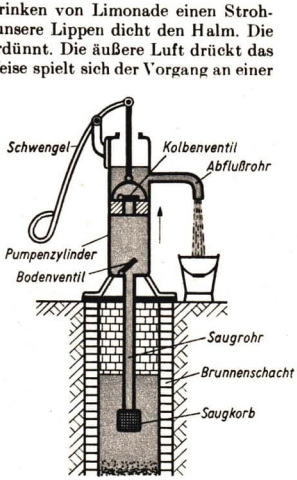


Abb. 123. Saugpumpe

Beginnt die Pumpe zu arbeiten, so entsteht beim Anheben des Kolbens unter diesem ein luftverdünnter Raum. In diesen wird das Wasser durch den äußeren Luftdruck hineingedrückt. Bei wiederholtem Heben und Senken des Kolbens füllt sich schließlich der ganze Raum unter dem Kolben mit Wasser. Wird der Kolben niedergedrückt, so tritt das Wasser durch das Kolbenventil über den Kolben; beim Anheben des Kolbens wird das übergetretene Wasser mit hochgehoben. Es fließt durch eine seitliche Öffnung des Pumpenzylinders in die daruntergestellten Gefäße ab.

Da es der äußere Luftdruck ist, der das Wasser vom Brunnenschacht her durch das Saugrohr in die Pumpe treibt, darf die Pumpe nicht höher als 10 m über dem Grundwasser liegen (warum?). Doch ist es praktisch kaum möglich, das Wasser allein durch Saugwirkung höher als 6 bis 7 m zu heben. Die beschriebene Saugpumpe ist ausschließlich für den Handantrieb bestimmt und hat eine verhältnismäßig geringe Förderleistung.

Weit günstiger arbeitet eine *Druckpumpe*, die man besser *Saug-Druckpumpe* nennen sollte. Sie ist für Maschinenantrieb vorzüglich geeignet. In Abb. 124

wird sie schematisch wiedergegeben. Im Gegensatz zur Saugpumpe ist der Kolben bei der Druckpumpe nicht durchbohrt. Der Pumpenzylinder ist mit einem in der Nähe des Bodens angesetzten Steigrohr ausgestattet, in das der Kolben das Wasser hineindrückt. Wie die Saugpumpe kann auch die Druckpumpe das Wasser nicht höher als 6 bis 8 m über den Wasserspiegel ansaugen. Infolge der durch den Kolben ausgeübten Druckkraft ist aber im Gegensatz zur Saugpumpe eine große Förderhöhe und Förderlänge zu erreichen. Um die schlagartige Beanspruchung der Rohrwände durch die einzelnen Kolbenstöße zu vermeiden, versieht man Druckpumpen mit einem Windkessel. Die in ihm enthaltene Luft gleicht infolge ihrer Elastizität die Wirkung der Kolbenstöße aus.

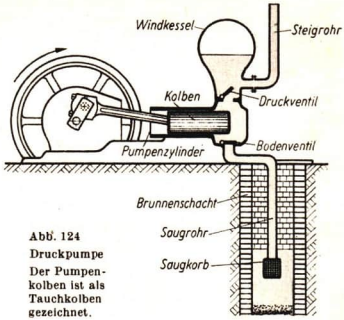


Abb. 124
Druckpumpe
Der Pumpenkolben ist als Tauchkolben gezeichnet.

6. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Lege ein Reagenzglas (einen Standzylinder oder ein anderes längliches Gefäß) so in eine Schüssel voll Wasser, daß sich das Glas ganz mit Wasser füllt! Richte dann das Glas auf, wobei du die Öffnung unter Wasser beläßt! Wie verhält sich das im Glas befindliche Wasser? Erkläre die Erscheinung! Was geschieht, wenn man die Öffnung des Glases aus dem Wasser hebt?
2. Binde an einem dünnwandigen Gummischlauch das eine Ende fest zu, nimm das andere Ende in den Mund und sauge die Luft aus dem Schlauch! Was geschieht mit dem Schlauch? Gib die Ursache an!
3. Befestige den Gummiring eines Bierflaschenverschlusses mittels einer breitköpfigen Schraube und einer Unterlegscheibe auf der ebenen Fläche eines Korkens! Feuchte den Ring ein wenig an, drücke ihn gegen eine Fensterscheibe und lasse ihn dann los! Was kannst du beobachten? Gib die Ursache der Erscheinung an!
4. Nimm eine Tropfpipette für Tinte! Hebe mit ihrer Hilfe aus einem Gefäß etwas Wasser und übertrage einige Tropfen in ein anderes Glas! Erkläre das Verhalten des Wassers im Rohr!
5. Gib genau die Wirkungsweise des Dreiwegehahns einer Luftpumpe in Saugstellung und Druckstellung an! Vergleiche dazu S. 85! Welche Stellung muß der Dreiwegehahn haben, wenn Luft a) allein in den Rezipienten, b) gleichzeitig in den Rezipienten und in den Pumpenzylinder von außen zuströmen soll? Zeichne diese Stellungen auf!
6. Beschreibe genau die Arbeitsweise der Ventile an der Saugpumpe und an der Saug-Druckpumpe beim Saugen und beim Drücken! Warum ist der Name Druckpumpe für die oben beschriebene Pumpe nicht ganz zutreffend?
7. Die Körperoberfläche eines erwachsenen Menschen beträgt im Durchschnitt etwa 1,5 m^2. Welche Druckkraft übt die auf ihm lastende Luft aus?

8. Ein Ort liegt a) 50 m, b) 120 m, c) 250 m über dem Meeresspiegel. Wie groß ist der normale Luftdruck an diesem Ort? Beachte die Angabe auf S. 88 über die Abnahme des Luftdruckes mit der Höhe!
9. Der Luftdruck wird auf einem Berggipfel mit 736 mm Hg und gleichzeitig am Fuße des Berges mit 758 mm Hg gemessen. Wie groß ist der Höhenunterschied gegenüber der Talsohle? Beachte den Hinweis in Aufgabe 8!

§ 18. Der Einfluß des Luftdruckes auf den Siedevorgang

1. Sieden unter vermindertem Druck. Wir haben im 6. Schuljahr gelernt, daß das Wasser bei 100 °C siedet. Dabei erfuhren wir, daß diese Angabe nur mit einer gewissen Einschränkung gilt, da der Siedevorgang vom Luftdruck abhängig ist. Wir wollen jetzt den Siedevorgang näher betrachten.

Alle Dämpfe besitzen eine Spannkraft, weil sie einen größeren Raum einnehmen als die Flüssigkeiten, aus denen sie entstanden sind. So bilden sich aus 1 l Wasser von 100 °C bei normalem Luftdruck rund 1700 l Wasserdampf von gleichem Druck. Wir wissen, daß die Dampfblasen beim Sieden im Innern der Flüssigkeit entstehen und an die Oberfläche emporsteigen. Dabei haben sie den Druck auszuhalten, der auf der Flüssigkeit lastet. Sollen sie unter der Einwirkung dieses Druckes nicht wieder zu Wasser verdichtet werden, so muß der im Innern der Dampfblasen herrschende Dampfdruck ebenso groß sein wie der äußere Druck.

Zwei Versuche geben uns darüber Aufklärung, welchen Einfluß Änderungen des äußeren Druckes auf den Siedevorgang haben. Wir füllen einen Rundkolben zur Hälfte mit Wasser und bringen es zum Sieden. Der sich bildende Dampf verdrängt die Luft aus dem Kolben und entweicht aus der Öffnung. Ist dies der Fall, so nehmen wir den Kolben von der Flamme und verschließen ihn dicht, so daß kein Wasserdampf mehr entweichen kann. Das Sieden hört auf. Drehen wir den Kolben um und übergießen ihn mit kaltem Wasser, so wallt das Wasser im Kolben wieder auf (Abb. 125). Es beginnt trotz der Abkühlung unter 100 °C wieder zu sieden.

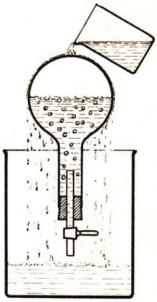


Abb. 125. Sieden unter vermindertem Druck

Der im Kolben befindliche Wasserdampf wird durch Abkühlen kondensiert. Infolgedessen sinkt der Dampfdruck im Kolben. Das Wasser beginnt unter 100 °C zu sieden.

Nach wiederholten Siedeversuchen tauchen wir den Kolbenhals mit seiner Öffnung in einem Gefäß unter Wasser und öffnen den Verschluß. Es dringt Wasser in den Kolben ein. Wir folgern daraus, daß im Kolben über der Wasseroberfläche ein Raum mit vermindertem Druck vorhanden war. Dies ist so zu erklären, daß sich durch die äußere Abkühlung ein Teil des im Kolben befindlichen Dampfes wieder zu Wasser verdichtete. Der Versuch zeigt uns, daß eine Verminderung des auf der siedenden Flüssigkeit lastenden Druckes ein Absinken der Siedetemperatur zur Folge hat.

2. Sieden unter erhöhtem Druck. Die umgekehrte Erscheinung beobachten wir bei einem zweiten Versuch. Durch den Verschlußstopfen eines Rundkolbens führt man ein Thermometer und eine kurze Röhre ein. An diese ist ein etwa 1 m langer Schlauch angeschlossen. Er endet oben in einem weiten Trichter. Das den Rund-

kolben füllende Wasser reicht bis in den Schlauch hinein (Abb. 126). Erwärmt man den Kolben, so dehnt sich das Wasser aus und steigt bis in den Trichter hinauf. Schließlich bilden sich Dampfblasen; doch dauert es längere Zeit, bis das Wasser siedet. Am Thermometer stellen wir dabei eine Temperatur von etwa 102 °C fest. Die Ursache für diese Temperaturerhöhung gegenüber der normalen Siedetemperatur von 100 °C sehen wir in dem erhöhten Druck, der im Siedegefäß herrscht. Denn auf dem siedenden Wasser lastet jetzt nicht nur der äußere Luftdruck, sondern auch das Gewicht der Wassersäule im Schlauch und im Trichter. Der Druck am Fuße einer 1 m hohen Wassersäule beträgt fast genau $\frac{1}{10}$ at. Dementsprechend ist auch der Dampfdruck der sich bildenden Dampfblasen um ungefähr $\frac{1}{10}$ at höher als beim Sieden unter normalem Luftdruck. Dies aber wird erst bei einer Temperatur von etwa 102 °C erreicht.

Abb. 126
Sieden des Wassers unter erhöhtem Druck
Auf dem im Kolben befindlichen Wasser lastet der äußere Luftdruck und die etwa 1 m hohe, im Schlauch stehende Wassersäule. Das Wasser siedet bei etwa 102° C.

Wie wir beobachten können, ist der Eintritt des Siedens mit einem heftigen Dampfausbruch verbunden. Der Dampf entweicht aus dem Schlauch und schleudert dabei einen Teil des Wassers aus dem Trichter. Infolge der Dampfentspannung sinkt im Siedegefäß sogleich der Druck und infolgedessen auch die Temperatur um einige Grad Das Sieden hört auf und beginnt erst wieder, wenn die Temperatur auf 102 °C gestiegen ist.

Die sich regelmäßig wiederholenden Dampfausbrüche geben modellartig die Vorgänge wieder, die sich beim Ausbruch eines Geisers abspielen. *Geiser* sind heiße Springquellen vulkanischen Ursprungs, die sich auf der Insel Island und im Yellowstonepark in Nordamerika befinden.

Bringt man eine Flüssigkeit in einem geschlossenen Gefäß zum Sieden, aus dem der Dampf nicht entweichen kann, so steigen der Druck und die Siedetemperatur erheblich an. Man macht davon beispielsweise in den *Autoklaven* Gebrauch. Das sind geschlossene Kessel, wie sie u. a. in Konservenfabriken zum Kochen der Konserven, aber auch in Polikliniken und Krankenhäusern zum Sterilisieren der Wäsche verwendet werden (Abb. 127). Sie arbeiten mit einem Druck von etwa 5 at bei etwa 150 °C.

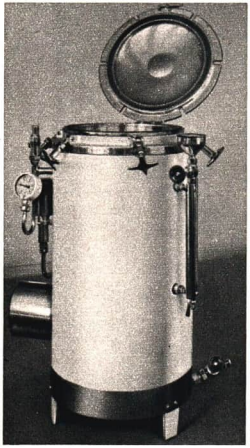


Abb. 127. Autoklave in einer Poliklinik
Die zu sterilisierende Wäsche kommt in einen Kessel, der von einem Dampfmantel umgeben ist. Der Kessel wird durch einen aufschraubbaren Deckel verschlossen. Man sieht an der linken Seite des Kessels den Druckmesser.

In den Kesseln moderner Dampfkraftanlagen und Lokomotiven bestehen noch wesentlich höhere Drücke und Siedetemperaturen. Sie liegen bei etwa 15 at und 200 °C, in Hochdruckkesseln bei etwa 60 at und 275 °C, ja bei 125 at und 325 °C.

In der Technik ist es üblich, statt des wirklichen Kesseldruckes den *Überdruck gegenüber dem äußeren Luftdruck* anzugeben. Man mißt den Druck dann nicht in at, sondern in atü (*Atmosphären-Überdruck*). Einem absoluten Kesseldruck von 15 at entspricht beispielsweise ein Überdruck von 14 atü.

3. Der Siedepunkt. Die Ergebnisse der Versuche lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

Eine Flüssigkeit siedet, wenn der Druck der sich bildenden Dampfblasen gleich dem Druck ist, der auf der Flüssigkeit lastet.

Der Siedepunkt einer Flüssigkeit ist demnach von dem Druck abhängig, der auf der Flüssigkeit lastet. Man muß daher neben der Temperatur auch den Druck angeben, unter dem die siedende Flüssigkeit steht.

Unter dem normalen Luftdruck von 1 Atm, d. h. bei einem Druck von 1,033 kp/cm², siedet das Wasser bei 100 °C.

Ganz allgemein versteht man unter dem *Siedepunkt* einer Flüssigkeit die Temperatur, bei der die Flüssigkeit unter normalem Luftdruck, d. h. unter dem Druck von 1 Atm, siedet.

Mit den Ergebnissen unserer Versuche decken sich die Erfahrungen, die man gemacht hat, wenn man Flüssigkeiten an hochgelegenen Orten sieden läßt. Je höher der Beobachtungsort liegt, desto geringer ist der auf einer siedenden Flüssigkeit lastende Luftdruck. So siedet Wasser auf dem Montblanc (4800 m) schon bei 84 ° C.

4. Fragen und Aufgaben:

1. Warum ist es nicht möglich, Wasser in einem offenen Gefäß bei normalem Luftdruck auf mehr als 100 ° C zu erhitzen? Wozu wird die gesamte dabei zugeführte Wärme verwandt?
2. Warum muß man bei der Festlegung einer Thermometerskala die Bestimmung des oberen Fixpunktes (100 ° C) bei normalem Luftdruck vornehmen?
3. In Großküchen sind vielfach Kochkessel aufgestellt, deren Deckel sich dicht schließend mit der Kesselwand verschrauben lassen. Welchen Einfluß hat dieser Verschluß auf den Siedevorgang? Aus welchem Grunde verwendet man solche Kessel?
4. Um in Hochgebirgsorten Fleisch gar zu kochen, verwendet man vielfach Schnellkochtöpfe mit fest verschraubbarem Deckel. Begründe die Zweckmäßigkeit dieses Verfahrens!
5. Warum sind Betriebsunfälle, die durch ausströmenden hochgespannten Dampf verursacht werden, besonders gefährlich? Man kann sie aber durch Sicherungseinrichtungen verhindern. Nenne solche Sicherungseinrichtungen!
6. Bei dem auf S. 92 beschriebenen Siedevorgang siedet Wasser unter einem Überdruck von rund $\frac{1}{10}$ at bei etwa 102 ° C. Berechne daraus schätzungsweise, bei welcher Temperatur Wasser unter dem Druck von 2 at siedet!
7. In einem Dampfbehälter steht der Dampf unter einem Druck von a) 5 at b) 12,5 at, c) 155 at. Gib den Druck in atü an!
8. Drücke den Dampfdruck von a) 1 atü, b) 25 atü, c) 140 atü in at aus!

§ 19. Hebel und Hebelgesetze

1. Der zweiseitige Hebel. Abb. 128a und b zeigen uns eine Wippe. Sie ist ein starrer Balken, der um eine meist durch seinen Schwerpunkt gehende Achse drehbar ist. Wir können die Wippe als einen *Hebel* betrachten. Auf beide Seiten des Hebels wirken Kräfte ein, die in unserem Falle durch die Gewichte der auf der Wippe sitzenden Kinder dargestellt werden. Die zwischen der Drehachse und den Angriffspunkten der Kräfte liegenden Teile des Balkens nennt man die *Arme* des Hebels. Da sie zu beiden Seiten der Drehachse liegen, heißt ein Hebel, wie ihn eine Wippe darstellt, ein *zweiseitiger Hebel.* Liegt die Drehachse der Wippe etwas oberhalb des Schwerpunktes, so stellt sich der unbelastete Balken von selbst waagerecht ein und befindet sich in dieser Lage im stabilen Gleichgewicht (vgl. § 13,2).

a) Auf dem Balken sitzen an beiden Enden zwei annähernd gleich schwere Kinder.

b) An die Stelle des links sitzenden Kindes hat sich ein Kind von größerem Gewicht gesetzt. Es muß näher an die Drehachse herangerücken, wenn das Gleichgewicht bestehen bleiben soll.

Abb. 128. Die Wippe

a) Der gleicharmige Hebel. Durch Versuche wollen wir Näheres darüber kennenlernen, in welcher Weise die an einem zweiseitigen Hebel angreifenden Kräfte voneinander abhängig sind, wenn das Gleichgewicht erhalten bleiben soll.
Wir nehmen eine Holzleiste — am einfachsten einen Meterstab — und durchbohren sie auf der halben Länge genau im Schwerpunkt. Einen als Achse durch die Öffnung gesteckten Metallstift befestigen wir an einem Stativ. Wir erhalten so das Modell eines Hebels. Denn jede unbiegsame Stange, die um eine Achse drehbar ist, ist ein Hebel. Da die Achse durch den Schwerpunkt geht, befindet sich der unbelastete Hebel in jeder Lage im Gleichgewicht (vgl. § 13,2).
An die eine Seite des Hebels hängen wir mittels einer Fadenschlinge ein Gewichtsstück mit einem Gewicht von 50 p. Die belastete Seite sinkt nieder. Wir müssen auf der anderen Seite des Hebels in der gleichen Entfernung ebenfalls 50 p einwirken lassen, wenn der Hebel wieder in jeder Lage im Gleichgewicht sein soll. Ändern wir auf der einen Seite des Hebels die Größe des Gewichtsstückes oder seine Entfernung vom Drehpunkt, so müssen wir eine entsprechende Änderung auch am Gegengewicht vornehmen. Hebel mit gleich langen Armen bezeichnen wir als *gleicharmige Hebel.*

Wir schließen aus unseren Beobachtungen:

Ein gleicharmiger Hebel ist im Gleichgewicht, wenn die Kräfte auf beiden Seiten gleich groß sind.

b) Der ungleicharmige Hebel. Wir ändern die Versuchsanordnung, indem wir den einen Arm unseres Hebelmodells in einer Entfernung von 10 cm von der Achse mit 200 p belasten und diese Kraft während des Versuchs unverändert lassen. An den anderen Hebelarm lassen wir als Gegengewicht zunächst ebenfalls 200 p, dann 150 p, 100 p, 50 p einwirken. Wir verschieben die Fadenschlingen, an denen die Gewichtsstücke hängen, jeweils so, daß der Hebel wieder in jeder Lage im Gleichgewicht ist. Die Kraftarme werden jedesmal gemessen. Abb. 129 gibt das letzte der angeführten Beispiele wieder.

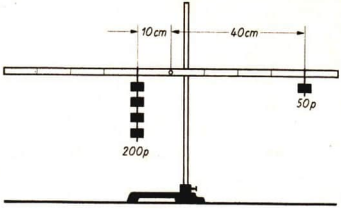


Abb. 129. Zweiseitiger Hebel
Last 200 p, Lastarm 10 cm, Kraft 50 p, Kraftarm 40 cm.

Die Meßergebnisse stellen wir in einer Tabelle zusammen:

Last p	Lastarm cm	Last mal Lastarm pcm	Kraft p	Kraftarm cm	Kraft mal Kraftarm pcm
200	10,0	2000	200	10,0	2000
200	10,0	2000	150	13,3	1995
200	10,0	2000	100	20,0	2000
200	10,0	2000	50	40,0	2000

Wir bezeichneten in der Bildunterschrift und in der Tabelle das im Gleichgewicht zu haltende Gewichtsstück als *Last* und das Gegengewicht als *Kraft*. Wir werden diese Ausdrücke auch weiterhin verwenden. Entsprechend unterscheiden wir am Hebel den *Lastarm* und den *Kraftarm*.

Wir entnehmen aus der Tabelle: Ist die Kraft nur gleich der Hälfte der Last, so ist der Kraftarm doppelt so lang wie der Lastarm. Ist die Kraft gleich dem vierten Teil der Last, so ist der Kraftarm viermal so lang usf.

Bilden wir in der Tabelle für jede Messung das Produkt aus der Kraft und dem zugehörigen Kraftarm, so sehen wir, daß diese Produkte gleich oder nahezu gleich dem Produkt aus Last und Lastarm sind. Wir haben somit das Hebelgesetz bestätigt. Es lautet:

Ein zweiseitiger Hebel ist im Gleichgewicht, wenn das Produkt aus Kraft und Kraftarm gleich dem Produkt aus Last und Lastarm ist.

Das Hebelgesetz läßt sich in allgemeiner Form wiedergeben:

Wirken auf einen Hebel zwei Kräfte im entgegengesetzten Drehungssinn, so ist der Hebel im Gleichgewicht, wenn die Produkte aus den Kräften und den zugehörigen Armen einander gleich sind.

Man kann sich leicht davon überzeugen, daß dieses Gesetz das oben für den gleicharmigen Hebel aufgestellte mit einschließt.

Bezeichnen wir die auf der einen Seite des Hebels angreifende Kraft mit P_1, die auf der anderen Seite wirkende Kraft mit P_2, die zugehörigen Hebelarme mit a_1 und a_2, so können wir das Hebelgesetz durch folgende Gleichung wiedergeben:

$$P_1 \cdot a_1 = P_2 \cdot a_2.$$

2. Der zweiseitige Hebel als technisches Hilfsmittel. Aus dem Hebelgesetz folgt:

Die am zweiseitigen Hebel zum Herstellen des Gleichgewichts erforderliche Kraft ist um so kleiner, je länger der Hebelarm ist.

Der zweiseitige Hebel erweist sich daher als ein ausgezeichnetes Hilfsmittel, wenn man einen schweren Gegenstand mit möglichst geringer Kraft heben will. Er wird aus diesem Grund als *kraftsparende Vorrichtung* an vielen technischen Einrichtungen, an Werkzeugen, an Maschinen aller Art verwendet. Hier seien nur einige wenige Beispiele angeführt und abgebildet:

Der *Hebebaum* (Abb. 130), der *Weichenstellhebel* bei der Straßenbahn (Abb. 131), die *Beißzange* (Abb. 132). Es lassen sich noch sehr viele Anwendungsbeispiele für den zweiseitigen Hebel angeben. Es seien davon einige genannt: die Handbremse am Fahrrad, alle Arten von Zangen, alle Scheren, alle Schlüssel und

Abb. 130. Hebebaum beim Hochheben der Seitenwand eines Wagens

Abb. 131. Weichenstellhebel der Straßenbahn

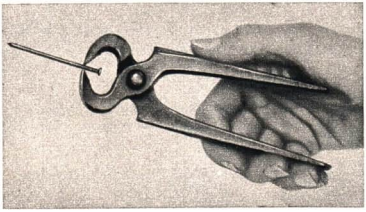


Abb. 132. Gebrauch einer Beißzange beim Durchkneifen eines Nagels

Klinken und vieles andere mehr. Vergleiche die Abb. 130 bis 132 miteinander! Gib zu jeder Abbildung den Drehpunkt des Hebels, den kurzen, den langen Hebelarm an! Wo greift in jedem Einzelfall die die Arbeit verrichtende Kraft an? Welches ist der zu überwindende Widerstand?

3. Der einseitige Hebel. Wollen wir einen schweren Körper etwas anheben, so benutzen wir dazu oft eine Brechstange. Wir schieben das eine Ende der Stange unter den Körper und heben das andere Ende etwas empor (Abb. 133). Die Stange wirkt wieder als Hebel, dreht sich aber jetzt um das eine Ende selbst. Der Hebel erstreckt sich in diesem Fall vom Drehpunkt aus nur nach einer Seite; er wird deshalb *einseitiger Hebel* genannt.

Wir können den oben am Hebelmodell durchgeführten Versuch dahin abändern, daß die verwendete Leiste als einseitiger Hebel wirkt. Da die Kraft jetzt an derselben Seite des Hebels angreifen soll wie die Last, muß sie nach oben gerichtet sein. Wir erreichen dies beispielsweise, wenn wir auf den Hebel die Zugkraft einer senkrecht nach oben gerichteten Federwaage einwirken lassen, wie es Abb. 134 zeigt. Verschieben wir den Angriffspunkt der Federwaage allmählich vom Drehpunkt fort auf das Ende des Hebels zu, so ist zum Herstellen des Gleichgewichts eine immer geringere Gegenkraft erforderlich. Wie vorhin können wir die Produkte aus der Last und dem Lastarm bzw. aus den Kräften und den zugehörigen Kraftarmen bilden. Es ergibt sich wieder, daß diese Produkte unverändert bleiben. Die Last- bzw. Kraftarme sind dabei nach wie vor vom Drehpunkt aus zu messen und überdecken sich teilweise.

Abb. 133. Verwendung einer Brechstange zum Anheben eines schweren Gegenstandes

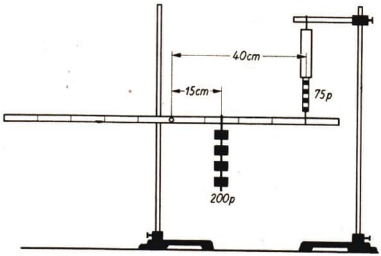


Abb. 134. Einseitiger Hebel. 200 · 15 pcm = 75 · 40 pcm

Das für den zweiseitigen Hebel aufgestellte Hebelgesetz gilt auch in gleicher Weise für den einseitigen Hebel.

4. Technische Anwendungen des einseitigen Hebels. Der einseitige Hebel wirkt ebenfalls kraftsparend wie der zweiseitige und wird aus diesem Grunde wie der zweiseitige Hebel an technischen Einrichtungen und Gebrauchsgegenständen vielfach verwendet. Es seien hier nur folgende Beispiele angeführt: die *Schubkarre*

Abb. 135. Schubkarre für Sand und Mörtel

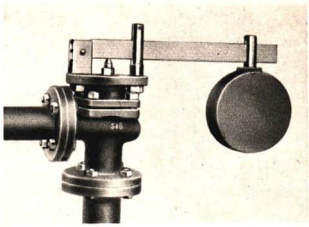


Abb. 136. Sicherheitsventil an einer Dampfleitung

für Sand und Mörtel (Abb. 135) und alle anderen Arten von Karren, die Stange an einem *Sicherheitsventil* (Abb. 136), der *Nußknacker*, die *Kartoffelquetsche*. Stelle in den Abbildungen 133, 135, 136 die Drehpunkte der Hebel fest! Gib überall die auf die Hebel wirkenden Kräfte an und bezeichne die zugehörigen Kraftarme!

5. Der Wurfhebel. Wenn man an einem Hebel die Gegenkraft am kurzen Hebelarm angreifen läßt, so ist sie größer als der Widerstand, den sie überwinden soll. Eine Kraftersparnis tritt nicht ein; es ist sogar ein erhöhter Kraftaufwand erforderlich. Trotzdem kann eine solche Anordnung zweckmäßig sein, wenn es darauf ankommt, das Ende des Lastarmes mit großer Geschwindigkeit zu bewegen. Man erkennt Hebel mit kurzem Kraft- und langem Lastarm in den Trittbrettern eines Schleifsteins und der Nähmaschine wieder (vgl. Abb. 189).

Man nennt Hebel, bei denen es nicht auf Kraftersparnis, sondern auf die Erzielung einer größeren Geschwindigkeit ankommt, *Wurfhebel*. Erkläre den Namen! Denke dabei an den Unterarm, bei dem ebenfalls die Muskelkraft am kürzeren Hebelarm angreift (Abb. 137)! Auch viele landwirtschaftliche Geräte, wie die Kartoffelgabel, der Rechen, die Hacke, die Sense, sind Wurfhebel. Erläutere ihre Wirkungsweise!

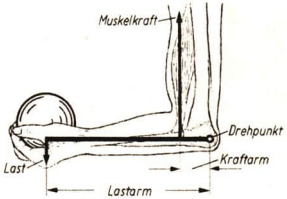


Abb. 137. Der Unterarm als Hebel

6. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Versuche mit einer Schere ein Stück Pappe zu zerschneiden! Halte die Pappe so zwischen die Schneiden, daß sie a) nahe deren äußeren Enden, b) in der Mitte, c) nahe dem Drehpunkt liegt. In welchem Fall ist die geringste Kraft anzuwenden, in welchem Fall die größte?
2. Wir wollen aus der Wand einen Haken entfernen und verwenden dazu einen kurzen Eisenstab. Zur Schonung der Wand benutzen wir außerdem eine Holzplatte. Wie verfahren wir dabei?

3. Warum wird es immer schwerer, ein Streichholz zu zerbrechen, je kürzer das Holz wird?
4. Nenne Werkzeuge, in denen a) ein zweiseitiger, b) ein einseitiger Hebel zur Wirkung kommt!
5. Zähle Haushaltsgegenstände auf, bei denen die Wirkung a) eines zweiseitigen, b) eines einseitigen Hebels ausgenutzt wird!
6. Gib solche Anwendungen des Hebels an, bei denen er als Wurfhebel anzusprechen ist!
7. Vergleiche die Papier- und die Heckenschere mit der Nagel- und der Blechschere hinsichtlich der Länge ihrer Hebelarme! Welche von ihnen sind als Wurfhebel anzusehen?
8. Fertige zu den in 4 und 5 genannten Beispielen einfache Zeichnungen an und kennzeichne in ihnen die Hebel schematisch durch farbige Striche! Deute die wirkenden Kräfte, etwa wie in Abb. 137, durch Pfeile entsprechender Länge senkrecht zu den Linien an, die die Hebel darstellen!
9. Auf der einen Seite eines zweiseitigen Hebels greift im Abstande von 10 cm von der Drehachse eine Kraft von a) 200 p, b) 500 p an. Berechne, wie groß bei Gleichgewicht die Gegenkraft ist, wenn der Angriffspunkt 10, 20, 30 . . . 100 cm von der Achse entfernt liegt!
10. An einem zweiseitigen Hebel hängt, 12 cm vom Drehpunkt entfernt, ein Körper mit einem Gewicht von 750 p. Das Gleichgewicht wird durch ein Gewichtsstück von 300 p hergestellt. In welcher Entfernung vom Drehpunkt greift es an?

§ 20. Hebelwaagen

1. Allgemeines über Hebelwaagen. Die Mehrzahl unserer Waagen sind *Hebelwaagen*. Während wir mit den Federwaagen Kräfte (Gewichte) messen, stellen wir mit Hebelwaagen die Masse der Körper fest, gemessen in kg bzw. g. Wir vergleichen sie dabei mit den bekannten Massen *genormter Meßkörper*. Bei der Wägung selbst wirken die auf den Waagschalen liegenden Körper mit ihren Gewichten auf den Waagebalken ein. Dabei entsprechen am gleichen Beobachtungsort gleichen Massen gleiche Gewichte und umgekehrt. Während aber die Massen der gewogenen Körper an allen Orten der Erde den gleichen Wert haben, sind die Körpergewichte ortsabhängig (vgl. § 12, 4). Eine Wägung mittels einer Balkenwaage vermittelt uns nur die Größe der Massen; die für den Beobachtungsort geltende Größe der Gewichte läßt sie nicht erkennen. Wir merken uns:

Mit einer Hebelwaage vergleicht und mißt man die Massen von Körpern.

Im täglichen Leben werden das Gewicht und die Masse der Körper nicht unterschieden. In der Umgangssprache bezeichnet man alle Ergebnisse von Wägungen als Gewichte der Körper und gibt sie in kg an. Dementsprechend werden im täglichen Leben die Hebelwaage und die Federwaage ohne Unterschied nebeneinander verwendet. Der Fehler, den man in physikalischer Hinsicht damit begeht, wird insofern ausgeglichen, als durch Wägungen fast immer Stoffmengen ermittelt werden. Stoffmengen aber werden, wie wir schon im 6. Schuljahr erfuhren, in kg bzw. g angegeben. In der Physik dagegen müssen wir streng zwischen der Masse und dem Gewicht eines Körpers unterscheiden: Wir messen mit der Hebelwaage lediglich Massen, mit der Federwaage dagegen Kräfte bzw. Gewichte.

2. Die einfache Balkenwaage. Die einfache Hebelwaage haben wir bereits kennengelernt. Sie ist als Hornschalenwaage im Lehrbuch der Physik für das 6. Schuljahr auf S. 27 abgebildet. Wir unterscheiden den *Waagebalken*, die *Waagschalen* und die sogenannte *Schere*, zwischen deren Schenkeln der Waagebalken schwingt. Die Schere umschließt bei der Hornschalenwaage auch den mit dem Waagebalken verbundenen *Zeiger* und die *Nullmarke*. Bei größeren Waagen ist der Zeiger nach unten gerichtet und spielt vor einer Skala. Zur Erhöhung der Empfindlichkeit sind der Waagebalken und die Aufhängevorrichtungen der Waagschalen meist auf *Schneiden* gelagert (Abb. 138). Jede Waage ist so eingerichtet, daß der Schwerpunkt des Waagebalkens etwas unterhalb der Drehachse liegt. Infolgedessen spielt die Waage beim Wägen waagerecht ein, wenn auf beiden Waagschalen die gleichen Massen liegen (vgl. § 19, 1). Zu jeder Waage gehört ein Kasten mit einem Satz genormter Vergleichsmassen. Man bezeichnet ihn aber allgemein als *Gewichtssatz* (Abb. 139). Er ist in mehrere Zehnerfolgen gegliedert, in der sich immer wieder die Stücke 1, 2, 2, 5 wiederholen. Dadurch ist es möglich, aus seinen Stücken innerhalb des Meßbereichs jede in vollen Gramm meßbare Masse wiederzugeben.

Beispiel (für 3 Zehnerfolgen):

1 g, 2 g, 2 g, 5 g; 10 g, 20 g, 20 g, 50 g; 100 g, 200 g, 200 g, 500 g.

Meßbereich: 1 bis 1110 g.

Man bezeichnet eine Waage als empfindlich, wenn sie einen kleinen Gewichtsunterschied durch einen großen Ausschlag anzeigt. Diese Bedingung erfüllen insbesondere die *Präzisionswaagen*, die man in Laboratorien und Apotheken benutzt (Abb. 140).

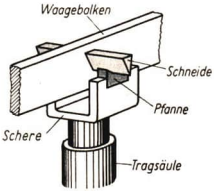


Abb. 138
Schneidenaufhängung des Waagebalkens
Durch den Waagebalken ragt eine keilförmige Schneide. Sie ruht auf zwei fest mit dem Gestell verbundenen Pfannen.

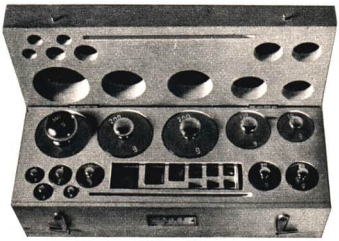


Abb. 139. Gewichtssatz. Seine Zusammensetzung entspricht dem angegebenen Beispiel.
In dem mit Glas bedeckten Behälter befinden sich die Bruchgramme. Die Gewichtsstücke dürfen nur mit einer Pinzette angefaßt werden.

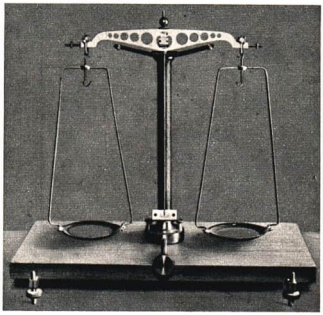


Abb. 140. Präzisionswaage für genaue Wägungen

3. Die oberschalige Tafelwaage. An Stelle der Waagschalen ist die *oberschalige Tafelwaage* mit zwei Tafeln ausgestattet, von denen die eine den zu wägenden Körper, die andere die zum Ausgleich dienenden Gewichtsstücke trägt. Die Tafeln sind oberhalb eines kastenartigen Gehäuses angeordnet, in dem die Hebeleinrichtung der Waage untergebracht ist (Abb. 141).

Die Tafeln schwingen beim Wägen auf und nieder und behalten stets dabei ihre waagerechte Lage. Die Wägung ist davon unabhängig, an welcher Stelle der Tafeln der zu wägende Körper bzw. die Gewichtsstücke liegen.

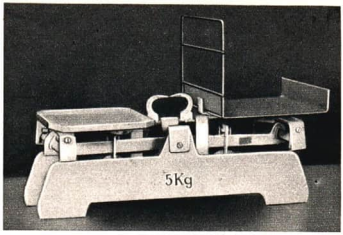


Abb. 141. Oberschalige Tafelwaage

4. Die Briefwaage (Abb. 142). Bei ihr findet ein ungleicharmiger Winkelhebel Verwendung. Das ist ein Hebel, dessen Arme nicht in einer Richtung liegen, sondern einen Winkel miteinander bilden. Die Wirkungsweise der Briefwaage beruht darauf, daß der auf die Waagschale gelegte Körper ein am langen Hebelarm befestigtes Gewichtsstück anhebt. Dieses setzt dem Hebel mit zunehmender Neigung einen immer stärker werdenden Widerstand entgegen. Die Drehkraft des Gewichtsstückes wird schließlich so groß, daß sie dem zu wägenden Körper das Gleichgewicht hält. Weil bei der Briefwaage die Messung auf Grund der Neigungsänderung eines belasteten Hebels erfolgt, bezeichnet man sie auch als *Neigungswaage*. Den gleichen Namen tragen alle Waagen, die auf einer ähnlichen Wirkungsweise beruhen.

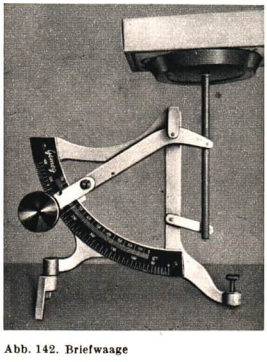


Abb. 142. Briefwaage

5. Die Zeiger-Schnellwaage. Die heute überall benutzten *Zeiger-Schnellwaagen* sind ihrer Bauart nach Neigungswaagen. Sie haben wegen ihrer einfachen Handhabung die früher üblichen Balkenwaagen fast ganz verdrängt. Es sind zwei Ausführungen der Zeiger-Schnellwaage im Gebrauch, die einschalige und die zweischalige. Die einschalige ist ähnlich gebaut wie eine Briefwaage. Bei der zweischaligen Schnellwaage enthält das Gehäuse eine gewöhnliche Tafelwaage. Diese ist zusätzlich mit einer Walze ausgestattet, die seitlich ein Neigungsgewicht trägt. Beim Wägen zieht der Waagebalken der Waage das Neigungsgewicht mittels eines Stahlbandes etwas empor und stellt dadurch das Gleichgewicht her. (Vgl. Abb. 143 und 144 auf S. 102!) Der Meßbereich beträgt in der Regel 1 kg. Man kann ihn dadurch erweitern, daß man auf die Gewichtsschale (im Bilde rechts) zusätzliche Gewichtsstücke, etwa 2 kg, auflegt. Der Meßbereich reicht dann von 2 bis 3 kg.

Abb. 143
Zeiger-Schnellwaage aus dem volkseigenen Werk Rapido in Radebeul

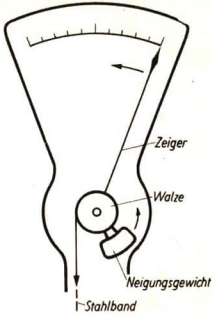


Abb. 144. Neigungsgewicht einer Zeiger-Schnellwaage (schematisch)

6. Die Dezimalwaage. Bei der Dezimalwaage betragen die zum Herstellen des Gleichgewichts auf die Waagschale gestellten Gewichtsstücke nur den zehnten Teil der Last. Wird z. B. auf der Dezimalwaage ein Sack mit 50 kg Kartoffeln gewogen, so ist auf die Waagschale nur ein 5-kg-Stück zu legen (Abb. 145).

Abb. 146 gibt schematisch die Wirkungsweise der Dezimalwaage wieder. Das Kernstück der Waage ist ein ungleicharmiger Waagebalken AB mit dem Drehpunkt D. Auf seinen langen Arm AD entfallen 10, auf seinen kurzen Arm BD 5 Längeneinheiten. Im Endpunkt A des langen Armes hängt die Waagschale. Im Endpunkt B des kurzen Armes und in seinem ersten Teilpunkt C hängen in Gelenken die beiden Stangen BE und CG. Die Stange BE trägt mittels eines in seinem Endpunkt E angebrachten Gelenkes den einseitigen Hebel EF.

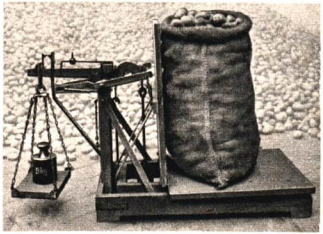


Abb. 145. Dezimalwaage im Gebrauch beim Abwägen eines Kartoffelsackes

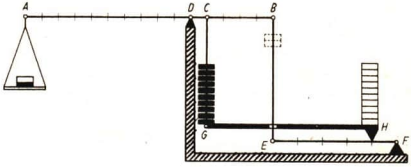


Abb. 146. Schematische Zeichnung einer Dezimalwaage

AB Waagebalken – D Drehpunkt – EF einseitiger Hebel – GH Brücke – CG und BE Verbindungsstangen. Die Übertragung des in G angreifenden Lastteils auf A ist durch schwarze Gewichtsstücke, die Übertragung des in H angreifenden Lastteils durch weiße Gewichtsstücke gekennzeichnet.

Der Hebel dreht sich um F und ist in 5 Teile unterteilt. Der kurze Arm des Waagebalkens und der einseitige Hebel sind außerdem durch eine durchbrochene Platte GH als *Brücke* verbunden. Sie hängt mit ihrem einen Ende G an der Stange CG und stützt sich mit dem anderen Endpunkt H auf den einseitigen Hebel in seinem ersten Teilpunkt.
Durch diese Konstruktion wird erreicht, daß jede auf der Brücke liegende Last durch den zehnten Teil ihres Gewichts auf der Waagschale ausgeglichen wird. Auf der Brücke liege beispielsweise im Endpunkt G eine Masse von 10 kg (in Abb. 146 schwarz gezeichnet). Ihr Gewicht überträgt sich unverändert auf C und von dort infolge der Hebelwirkung mit dem zehnten Teil auf A. Eine andere Masse von 10 kg (in der Abbildung weiß gezeichnet) liege im Endpunkt H der Brücke. Ihr Gewicht wird vom einseitigen Hebel EF im 1. Teilpunkt aufgenommen und mit $\frac{1}{5}$ seiner Größe auf E und damit auf B übertragen. Bei der Übertragung auf A erfährt es noch einmal eine Verminderung auf die Hälfte von $\frac{1}{5}$, im ganzen also auf $\frac{1}{10}$ seines ursprünglichen Wertes.

7. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Stelle an jeder dir zugänglichen Waage fest, welche Masse einen gerade noch sichtbaren Ausschlag hervorruft! Beurteile danach die Empfindlichkeit der untersuchten Waagen!
2. Ermittle die Masse, die einen Ausschlag von einem Skalenteil hervorruft, wenn man sie auf eine Waagschale einer unbelasteten Balkenwaage legt! Führe dieselbe Ermittlung durch, wenn die Waage auf beiden Seiten mit 250 g, mit 500 g belastet ist! Was kann man daraus hinsichtlich der Empfindlichkeit einer Waage folgern?
3. Wäge ein Stück Pappe von Postkartengröße auf einer Balkenwaage, einer Tafelwaage, einer Briefwaage, einer Zeiger-Schnellwaage! Welche Waagen sind für solche Wägungen geeignet? Welche nicht?
4. Auf der Brücke einer Dezimalwaage ruht ein Körper mit einer Masse von 50 kg. Wir denken sie uns auf das hängende und das aufgestützte Ende der Brücke mit 30 kg (10 kg) und 20 kg (40 kg) verteilt. Berechne, welche Masse das Gegengewicht auf der Waagschale haben muß!

Abb. 147. Seilhängebahn der Sosatalsperre
Die Bahn diente während des Baus der Talsperre zum Antransport der Baustoffe.
1 und 1' Tragseile, 2 und 2' Zugseile.

§ 21. Rollen und Flaschenzüge

1. Das Seil als Kräftevermittler — Die Rolle. Soll eine Kraft auf große Entfernung übertragen werden, so benutzt man dazu Seile, in der Regel Drahtseile (Abb. 147) oder auch einzelne Drähte. Da Seile nachgiebig und biegsam sind, nehmen sie

Kräfte nur in der Zugrichtung auf. Zur Weitergabe von Druck- oder Schubkräften ist eine starre Verbindung erforderlich.

Ein Seil überträgt ausschließlich Zugkräfte.

Will man die Zugrichtung eines Seiles oder eines Drahtes ändern, so benutzt man dazu **Rollen**. So wird bei den Signalanlagen der Eisenbahn der Drahtzug über zwischengeschaltete Rollen oft auf weite Strecken vom Stellwerk auf die zu bedienenden Signale und Weichen übertragen (Abb. 148). Da die Seile bzw. Drähte zwischen Sommer und Winter starken Temperaturschwankungen unterworfen sind, müssen sie durch eingebaute *Seilspanner* immer straff gespannt werden.
Abb. 149 zeigt einen solchen Seilspanner. Er stellt nichts anderes als einen großen Hebel dar. Das eine Ende des Hebels ist durch ein schweres Gewichtsstück belastet. Das andere Ende des Hebels trägt eine Rolle, um die das zu spannende Seil gelegt ist. Durch zwei mit dem Gestell verbundene feste Rollen wird es aus der waagerechten Richtung auf die Spannrolle hin geführt. Jedes der zwischen dem Stellwerk und dem Signal verlaufenden Seile muß für sich gespannt werden.

Mittels einer Rolle kann man die Richtung einer Zugkraft beliebig verändern.

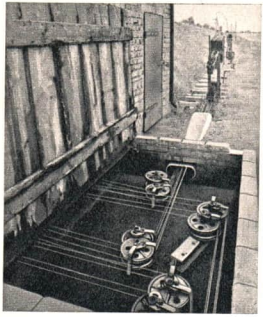


Abb. 148. Umlenkrollen im Rollenkasten eines Stellwerkes der Eisenbahn

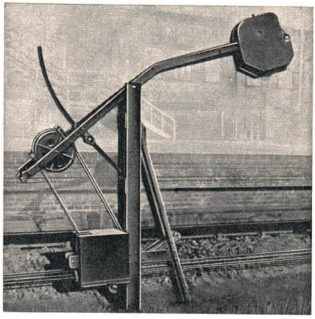


Abb. 149. Seilspanner einer Signalanlage der Eisenbahn. Die Seile werden durch Rollen über einen großen Hebel geführt und durch diesen gespannt.

2. Die feste und die lose Rolle als Hilfsmittel beim Lastenheben. Will man auf einem Neubau, an einem Speicher, in einer Scheune oder an einem anderen Ort ein Seil zum Heben einer Last benutzen, so wird man in den seltensten Fällen die Last am Seil unmittelbar emporziehen. Die Handhabung des Seils wird erleichtert, wenn man es über eine feste Rolle leitet und von unten her an ihm zieht. Die Rolle wird von einer sogenannten *Schere* umfaßt, zwischen deren Schenkeln sich die Rolle dreht. Irgendeine Kraftverminderung tritt dabei freilich nicht ein; denn die *feste Rolle* wirkt wie ein gleicharmiger Hebel (Abb. 150).

An der festen Rolle besteht Gleichgewicht, wenn die an beiden Seilenden wirkenden Kräfte gleich sind.

Vergleiche dazu Abb. 151, die eine zur Bestätigung dieses Gesetzes geeignete Versuchsanordnung wiedergibt!

Von der festen Rolle unterscheidet man die *lose Rolle*. Sie hängt in einer Seilschlinge, so daß ihr Drehpunkt sich heben und senken kann. An der nach unten gerichteten Schere trägt sie die Last. Hängt man eine lose Rolle in einer Schnurschlinge an zwei Federwaagen auf (Abb. 152), so kann man feststellen, daß sich die Last gleichmäßig auf beide Schnurenden verteilt. Jede Federwaage zeigt die Hälfte der Last an, wobei das Gewicht der losen Rolle in die Last mit einzubeziehen ist.

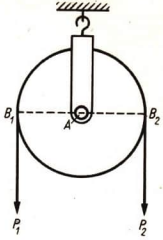


Abb. 150. Die feste Rolle als zweiseitiger Hebel
Beide Hebelarme sind als Radien einander gleich.

Diese Anordnung läßt sich leicht zu einer kraftsparenden Hebevorrichtung ausgestalten, die man als einfachen Flaschenzug bezeichnet (Abb. 153). Man befestigt die Schnur an einer waagerechten Tragstange, führt sie um eine lose und dann weiter um eine an der Tragstange hängende feste Rolle. Auf jedes Schnurende wird die Hälfte der an der losen Rolle hängenden Last übertragen. Am festen Schnurende wird die Zugkraft von der Tragstange aufgenommen; am freien Schnurende genügt als Gegenkraft die Hälfte der Last, um dieser das Gleichgewicht zu halten.

An einer losen Rolle herrscht Gleichgewicht, wenn die am freien Seilende wirkende Kraft halb so groß ist wie die an der losen Rolle angreifende.

Wir erkennen, daß mit einer solchen Hebevorrichtung Kraft gespart wird. Man nennt kraftsparende Vorrichtungen der beschriebenen Art wegen der großen

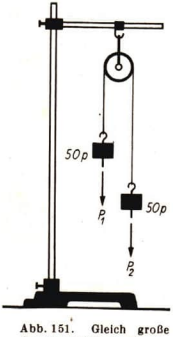


Abb. 151. Gleich große Gewichtsstücke im Gleichgewicht an der festen Rolle $P_2 = P_1$.

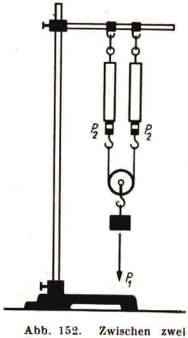


Abb. 152. Zwischen zwei Federwaagen hängende lose Rolle. Jede Federwaage nimmt die Hälfte der Last auf. $P_2 = \frac{P_1}{2}$.

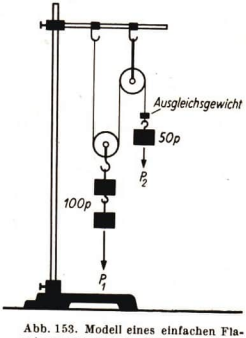


Abb. 153. Modell eines einfachen Flaschenzuges, bestehend aus einer losen und einer festen Rolle. Die Gegenkraft ist halb so groß wie die an der losen Rolle angreifende Kraft. $P_2 = \frac{P_1}{2}$

Das Gewicht der losen Rolle ist durch ein kleines Gegengewicht ausgeglichen.

In den Abbildungen 151, 152, 153, 155 bedeuten P_1 die zu überwindende Kraft, P_2 die dazu erforderliche Kraft.

Bedeutung, die dem Seil dabei zukommt, auch **Seilmaschinen**. Zu beachten ist, daß die Strecke, um die das freie Seilende der eben beschriebenen Hebevorrichtung gesenkt werden muß, doppelt so groß ist wie die Strecke, um die die Last gehoben wird.

3. Der Flaschenzug. Seilmaschinen finden als *Flaschenzüge* zum Heben von Lasten weitgehend Verwendung. Die in Abb. 153 dargestellte Vorrichtung ist nichts anderes als die einfachste Form des Flaschenzuges. Man kann die Wirkung dadurch erhöhen, daß man die einzelne lose und feste Rolle durch je einen *Block* von mehreren losen und mehreren festen Rollen ersetzt. In Abb. 154 sehen wir den Block der losen Rollen eines großen Flaschenzuges. Er besteht aus zwei auf gemeinsamer Achse nebeneinanderliegenden Rollen. Das in Abb. 155 wiedergegebene Flaschenzugmodell ist mit zwei losen und zwei festen Rollen ausgestattet. Zwischen ihnen spannen sich vier Seilstücke, auf die sich die Belastung gleichmäßig verteilt. Auf das freie Seilende wird mithin nur eine Zugkraft von der Größe eines Viertels der Belastung übertragen. Ihr hält die Gegenkraft das Gleichgewicht. Bei einem aus drei losen und drei festen Rollen bestehenden Flaschenzug beträgt die zum Herstellen des Gleichgewichts erforderliche Gegenkraft nur ein Sechstel der Belastung.

An einem Flaschenzug herrscht Gleichgewicht, wenn die Gegenkraft gleich dem Teil des zu überwindenden Widerstandes ist, der auf je ein Verbindungsseil entfällt. Bei einem als Hebezeug verwendeten Flaschenzug stimmt die Anzahl der Verbindungsseile in der Regel mit der Gesamtzahl der Rollen überein.

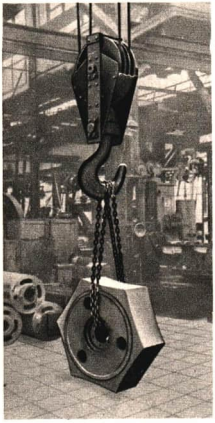


Abb. 154. Unterer Block eines großen Flaschenzuges mit Traghaken und angehängter Last

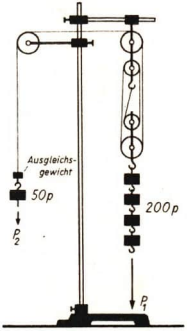


Abb. 155. Versuchsanordnung zur Darstellung eines aus zwei losen und zwei festen Rollen bestehenden Flaschenzuges. Die Rollen sind am Modell der besseren Erkennbarkeit halber übereinander angeordnet. Bei der technischen Ausführung eines Blockes liegen sie stets nebeneinander. $P_2 = \frac{P_1}{4}$.

Flaschenzüge dienen keineswegs nur als Hebewerkzeuge. Man verwendet sie sehr häufig auch dort, wo in waagerechter Richtung mit verhältnismäßig geringen Kräften eine starke Zugwirkung hervorgerufen werden soll. Die Abbildungen 156 und 157 zeigen als Beispiele zwei technische Anwendungen von Flaschenzügen zum Spannen des Fahrdrahtes einer elektrischen Straßenbahn. Auch die Abb. 78 läßt deutlich den Einbau von Flaschenzügen als Hilfsmittel zum Tragen und Verstellen der Ausleger an Kohlenbaggern erkennen.

Abb. 156. Spannen des Fahrdrahtes einer elektrischen Straßenbahn beim Ausführen einer Reparatur. Die beiden Arbeiter stehen auf der Plattform eines Turmwagens. Sie haben an die beiden Enden des Drahtes zwei flache, mit Haken versehene Haltevorrichtungen geklemmt. Mit Hilfe eines dazwischen befestigten Flaschenzuges werden die Drahtenden gespannt. Von den sechs Verbindungsseilen werden drei durch die davorliegenden verdeckt.

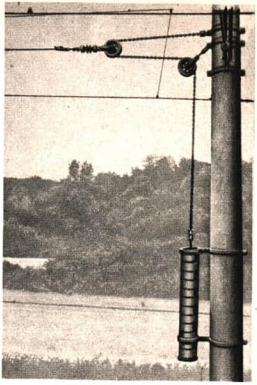


Abb. 157. Einfacher Flaschenzug als Halte- und Spannvorrichtung für den Fahrdraht einer Straßenbahn. Verwendet wird eine lose, eine feste Rolle und an Stelle des Seils eine Kette. Sie wird durch schwere Betonscheiben gespannt. Die auf den Fahrdraht ausgeübte Zugkraft ist doppelt so groß wie das Gewicht der Betonscheiben.

4. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Verwende die einem Metallbaukasten beigegebenen Rollen und stelle aus den Teilen des Baukastens Modelle von Flaschenzügen zusammen!
2. Benutze zwei starke Vorhangringe aus Porzellan als Schnurführung an Stelle einer losen und einer festen Rolle und fertige daraus das Modell einer Seilmaschine nach Art eines einfachen Flaschenzuges an!
3. Stelle an einem aus zwei losen und zwei festen Rollen bestehenden Modell eines Flaschenzuges Gleichgewicht her und bestätige das auf S. 106 angegebene Kraftgesetz! Miß die Höhe, um die die Last bei einer Verschiebung gehoben wird, und vergleiche damit die Verschiebung des freien Seilendes!
4. Gib Anwendungen von Seilmaschinen an und stelle sie nach Art und Zahl der verwendeten Rollen in einer Übersicht zusammen!
5. Fertige schematische Zeichnungen von Flaschenzügen mit 4, mit 6 Rollen an!
6. Stelle aus zwei festen und einer losen Rolle ein Flaschenzugmodell her! Wie muß man das Seil führen?
7. Ein Betonklotz, wie er zu der in Abb. 157 wiedergegebenen Spannvorrichtung verwendet wird, hat ein Gewicht von etwa 200 kp. Welche Zugkraft wird auf den Fahrdraht ausgeübt?
8. Zum Hochziehen von Mörteleimern an einem Neubau wird eine aus einer losen und einer festen Rolle bestehende Hebevorrichtung verwendet. Der volle Eimer hat ein Gewicht von 25 kp. Welche Kraft ist zum Hochziehen erforderlich?
9. Zum Hochziehen von Lasten an einem 16 m hohen Gerüst wird ein aus zwei losen und zwei festen Rollen bestehender Flaschenzug verwendet. Wie lang muß das Seil mindestens sein?

§ 22. Wellrad, schiefe Ebene, Keil und Schraube

1. Das Wellrad. Wir sitzen am Steuer eines Kraftwagens; vor uns steht die sogenannte *Lenksäule* (Abb. 158). Sie umschließt eine um ihre Längsachse drehbare Welle. Mit dieser ist ein Rad, das *Lenkrad*, fest verbunden. Die Drehung des Lenkrades wird durch die Welle auf den eigentlichen Steuermechanismus übertragen. Eine solche feste Verbindung eines Rades mit einer Welle nennt man ein **Wellrad**.

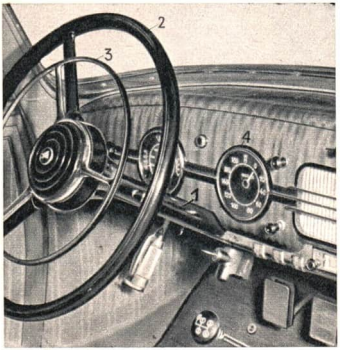


Abb. 158. Lenksäule eines Kraftwagens

1 Lenksäule, *2* Lenkrad, *3* Druckring zur Betätigung der Hupe, *4* Tachometer (Geschwindigkeitsmesser).

Denkt man sich den Radkranz und alle Speichen bis auf eine fortgenommen und an der übriggebliebenen Speiche einen Handgriff befestigt, so erhält man eine **Kurbel**. Die Kurbel gleicht darum in ihrer Wirkung einem Wellrad.

Denselben Zweck wie Kurbeln versehen *Griffstangen*, wie sie beispielsweise bei den Stellwerksanlagen der Eisenbahn verwendet werden (Abb. 159).

Abb. 160 gibt eine einfache *Seilwinde* wieder. Auch sie stellt nichts anderes als ein Wellrad dar. Das Seil ist in mehreren Windungen um die Welle gelegt und mit dem Ende daran befestigt. Das frei herabhängende Ende trägt die Last. Die Welle wird mittels einer Kurbel gedreht.

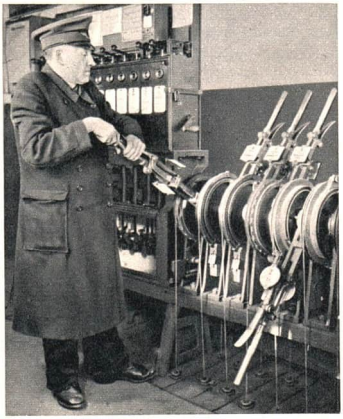


Abb. 159. Eisenbahn-Stellwerk. Die Seilscheiben werden durch Griffstangen gedreht. Die um sie gelegten Drahtseile verstellen die Weichen und die Streckensignale.

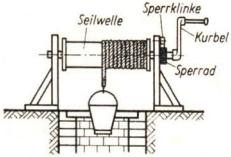


Abb. 160. Einfache Seilwinde im Gebrauch bei Kanalisationsarbeiten. Mit der Seilwinde werden aus dem Kanalschacht gefüllte Eimer emporgewunden.

Aus der schematischen Zeichnung 161 ersieht man, daß das Wellrad bzw. die Kurbel in ihrer Wirkung auf den Hebel zurückzuführen sind. Der Angriffspunkt des zu überwindenden Widerstandes P_1 liegt auf der Oberfläche der Welle, der Angriffspunkt der Gegenkraft P auf dem Rande des Rades bzw. am Ende der Kurbel. Die Radien der Welle r_1 und des Rades r sind die zugehörigen Kraftarme. Wie beim Hebel sind die Produkte aus den Kräften und den zugehörigen Kraftarmen einander gleich. Es gilt wieder die Gleichung:

$$P \cdot r = P_1 \cdot r_1 \quad \text{oder} \quad P = P_1 \cdot \frac{r_1}{r}.$$

Da der Radius der Welle r_1 stets kleiner ist als die Länge der Kurbel r, wirken ein Wellrad oder eine Kurbel kraftsparend.

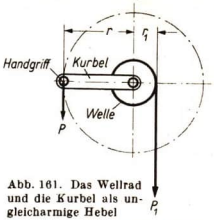


Abb. 161. Das Wellrad und die Kurbel als ungleicharmige Hebel

P_1 der zu überwindende Widerstand, P Gegenkraft, r_1 und r die Radien der Welle und des Rades, gleichzeitig die zu P_1 und P gehörenden Kraftarme.

2. Das Zahnradgetriebe. Ist die durch eine Kurbel hervorgerufene Kraftersparnis nicht ausreichend, so läßt man die Kurbelwelle mit Hilfe von *Zahnrädern* auf eine zweite Welle wirken (Abb. 162). Von den beiden zur Übertragung dienenden Zahnrädern sitzt das kleinere als treibendes Rad auf der ersten Welle. Das größere ist als getriebenes Rad mit der zweiten Welle verbunden. Bei dieser Anordnung der Räder ist mit der Übertragung der Kraft eine Kraftersparnis verbunden. Mit dem Kraftgewinn tritt eine Verminderung der Drehgeschwindigkeit auf, so daß sich die zweite Welle langsamer dreht als die erste.

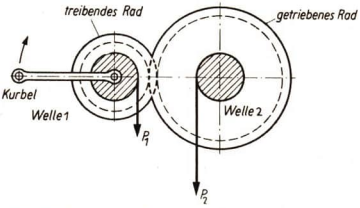


Abb. 162. Schema einer Zahnradübertragung. In schematischen Zeichnungen werden Zahnräder durch einen Vollkreis mit eingezeichnetem gestricheltem Kreis wiedergegeben. Das auf der Kurbelwelle sitzende Zahnrad (treibendes Rad) greift in ein größeres Zahnrad (getriebenes Rad) ein, das mit der zweiten Welle verbunden ist.

Eine noch größere Wirkung erzielt man, wenn man mehrere Zahnradwellen hintereinander schaltet. Man erhält dann ein sogenanntes *Zahnradgetriebe*, mit dem z. B. die in Abb. 163 wiedergegebene Seilwinde ausgestattet ist. Leistungsfähige, von Motoren getriebene Seilwinden der dargestellten Art bilden das Grundelement der ortsfesten oder fahrbaren Hebeeinrichtungen, die man als *Kräne* bezeichnet. Das um die Seiltrommel gewundene Seil wird dabei in der Regel mittels einer Rolle über einen Ausleger geführt und ist häufig noch mit einem Flaschenzug verbunden. Als Bei-

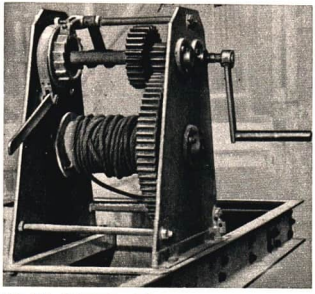


Abb. 163. Seilwinde mit Zahnradgetriebe

spiel für einen solchen Kran von hoher Tragkraft zeigt Abb. 164 einen beim Bau von Brücken für den neuen Berliner Südring verwendeten Eisenbahn-Drehkran. Dadurch, daß er auf einem Eisenbahnfahrgestell montiert ist, kann er leicht transportiert und auf allen Baustellen der Eisenbahn eingesetzt werden.

Abb. 164. Eisenbahn-Drehkran in Tätigkeit auf der Baustelle Adlergestell des neuen Berliner Südringes. Zur Erhöhung der Standfestigkeit ist das Untergestell mit herausschwenkbaren Auslegern versehen, von denen im Bilde einer unter dem weißen Schild am Krangehäuse sichtbar ist.
Tragkraft 25 000 kp
Ausladung 5 m

3. Die schiefe Ebene. Ein besonders einfaches Hilfsmittel zum Befördern von Lasten auf einen höher gelegenen Ort ist die **schiefe Ebene**. Sie eignet sich vor allem für fahrbare Lasten und für solche Körper, die sich auf dem Boden leicht wälzen lassen. Abb. 165 zeigt als bekanntes Beispiel die *Schrotleiter*.

Jede Ebene, die gegen die Waagerechte geneigt ist, heißt schiefe Ebene. Den Winkel, den sie mit der Waagerechten bildet, nennt man den Neigungswinkel der schiefen Ebene.

Die Wirkungsweise der schiefen Ebene wird verständlich, wenn man daran denkt, daß auf jeden Körper die Schwerkraft einwirkt. Diese zieht ihn mit der ganzen Größe seines Gewichts zu Boden, wenn der Körper sich selbst überlassen ist. Liegt aber der Körper auf einer schiefen Ebene, so kann er der Schwerkraft nicht unmittelbar folgen. Er kann sich nur auf einer Bahn parallel zur schiefen Ebene bewegen. In dieser Richtung wirkt eine Kraft, die man als *Hangabtriebskraft* bezeichnet. Sie ist geringer als die Schwerkraft; denn ein beträchtlicher Teil des Körpergewichtes wird von der schiefen Ebene getragen.

Abb. 165. Die Schrotleiter als Beispiel einer schiefen Ebene

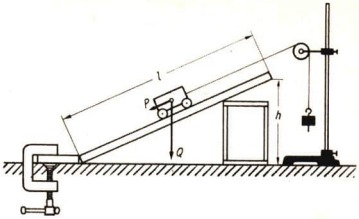


Abb. 166. Versuchsanordnung zum Nachweis des Gleichgewichtsgesetzes der schiefen Ebene

Als schiefe Ebene dient ein glattes Brett, das mit einem Ende auf einem Unterstellkasten aufliegt. Das Herabrutschen wird durch eine an den Tisch geklemmte Holzplatte verhindert.

Die Erfahrung lehrt, daß die Hangabtriebskraft um so kleiner ist, je weniger die schiefe Ebene geneigt ist. Mit Hilfe der in Abb. 166 wiedergegebenen Versuchsanordnung können wir leicht den Zusammenhang zwischen der Hangabtriebskraft und dem Gewicht einerseits, sowie der Höhe und der Länge der schiefen Ebene andererseits untersuchen. Wir finden:

An einer schiefen Ebene herrscht Gleichgewicht, wenn der Quotient aus der Hangabtriebskraft und der Last gleich dem Quotienten aus der Höhe der schiefen Ebene und ihrer Länge ist.

Bezeichnet man das Körpergewicht mit Q, die Hangabtriebskraft mit P, die Höhe der schiefen Ebene mit h, ihre Länge mit l, so wird dieses Gesetz wiedergegeben durch die Gleichung

$$\frac{P}{Q} = \frac{h}{l}.$$

Schiefe Ebenen werden bei der Anlage von Förderbahnen in Tongruben, Braunkohlengruben, Steinbrüchen u. dgl. zur Überwindung von Höhenunterschieden eingebaut (vgl. Abb. 167). Auch die bekannten von Motoren getriebenen Transportbänder, wie man sie beim Ablagern von Sand, Kohle, Steinen benutzt, sind schiefe Ebenen (Abb. 168).

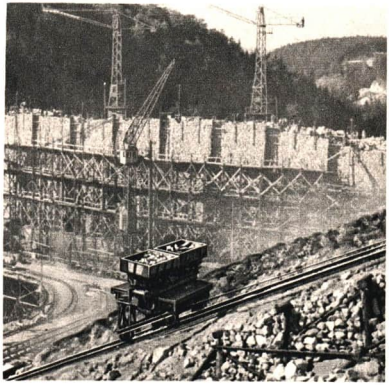


Abb. 167. Schrägaufzug auf dem Baugelände der am 21. 12. 51 eingeweihten Talsperre des Friedens bei Sosa. Er diente zum Befördern von Erde und Steinen. Im Hintergrunde die Talsperrenmauer im Bau, von der Wasserseite her betrachtet.

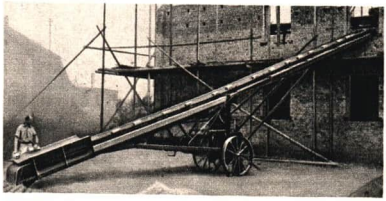


Abb. 168. Transportband als Hebeeinrichtung für Ziegelsteine auf einem Neubau

4. Der Keil. Wenn ein Holzfäller einen Stubben rodet und ihn dabei zerkleinert, benutzt er dazu als kraftsparendes Werkzeug vielfach einen **Keil.** Zeichnen wir einen Keil schematisch im Querschnitt, so ähnelt die Zeichnung durchaus der Seitenansicht einer doppelten schiefen Ebene (Abb. 169).

Ein Keil ist eine kraftsparende Vorrichtung; er wirkt wie eine schiefe Ebene.

Je nach der Verwendung unterscheidet man *Spaltkeile*, *Halte-* und *Befestigungskeile*, *Treibkeile*. Spaltkeile sind Meißel, Stemmeisen, Beil, Axt, Messer, Hacke, Spaten. Mit Haltekeilen befestigt man Hammer- und Hackenstiele. Bergmänner und Bauarbeiter benutzen Treibkeile zum Festklemmen von Stützen, Brettern und Schienen (Abb. 170).

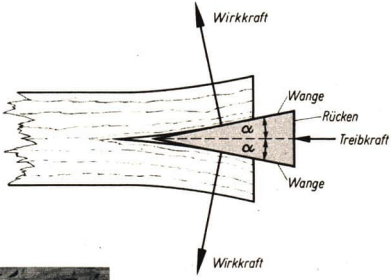


Abb. 169. Der Keil als zweifache schiefe Ebene. Eine gegen den Rücken des Keils gerichtete Treibkraft kommt senkrecht zu den Wangen des Keils mit einem Vielfachen ihrer Größe zur Wirkung.

Abb. 170. Bergmann beim Festkeilen einer Deckenstütze in einer Kupferschiefergrube des volkseigenen Mansfelder Bergbaues

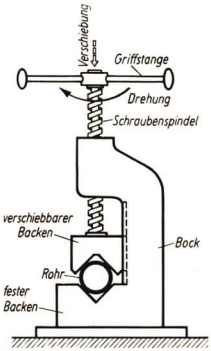


Abb. 171. Rohrschraubstock (Schraube übertrieben weitgängig gezeichnet)

5. Die Schraube. Sollen an einer Baustelle Rohre verlegt werden, so müssen sie vorher passend zurechtgeschnitten und mit Gewinden versehen werden. Zu diesem Zwecke werden sie in einem *Rohrschraubstock* festgeklemmt (Abb. 171). Dreht man die Griffstange rechtsherum, so senkt sich die Schraubenspindel und klemmt mittels des verschiebbaren *Backens* das Rohr gegen den festen Backen. Der verschiebbare Backen gleitet dabei in einer Längsnut des Bockes.

Wir entnehmen aus diesem Beispiel:

Vermittels einer Schraubenspindel kann man durch die Drehbewegung einer Welle um ihre Achse eine Verschiebung der Welle in Richtung der Achse hervorrufen.

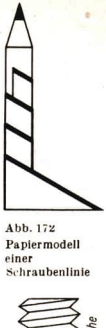


Abb. 172 Papiermodell einer Schraubenlinie

Man kann mit Hilfe einer **Schraube** unter Aufwendung geringer Kräfte ganz erhebliche Kraftwirkungen auslösen.
Wir schneiden aus Papier ein rechtwinkliges Dreieck und kennzeichnen die längste Seite durch einen schwarzen Strich. Das Dreieck stellt gewissermaßen einen senkrechten Schnitt durch eine schiefe Ebene dar. Sodann legen wir die kürzeste Dreieckseite an einen Bleistift und wickeln das Papier so auf diesen, daß der Strich nach außen zu liegen kommt. Es entsteht eine *Schraubenlinie* (Abb. 172), wie wir sie an allen Schrauben sehen können. Wir folgern daraus:

Die Wirkungsweise einer Schraube beruht auf der der schiefen Ebene. Eine Schraube wirkt kraftsparend.

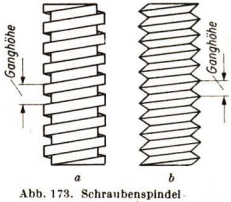


Abb. 173. Schraubenspindel
a) flachgängig b) scharfgängig

An jeder Schraube unterscheiden wir den *Schraubenkopf* und die *Schraubenspindel*. Die Spindel trägt außen ein *Gewinde*. Die einzelnen Windungen heißen die *Gänge der Schraube*. Den Abstand entsprechender Punkte je zweier aufeinanderfolgender Gänge nennt man *Ganghöhe*. Nach der Art des Gewindes unterscheidet man *flachgängige und scharfgängige Schrauben* (Abb. 173a und b).

Je nachdem, ob eine Schraube in Holz- oder Metallteile eingedreht wird, spricht man von *Holz-* oder *Metallschrauben*. Holzschrauben sind immer scharfgängig und zugespitzt, so daß sie sich in das Holz einfressen können. Metallschrauben dagegen haben ein stumpfes Ende und sind häufig flachgängig. In der Regel werden die Schrauben durch eine *Schraubenmutter* ergänzt, in die man die Spindel hineindreht. Abb. 174 (siehe nächste Seite) gibt eine Übersicht über die wichtigsten Schraubenformen.

Nach ihrem Verwendungszweck unterscheiden wir folgende Schraubenarten:

a) *Befestigungsschrauben*. Man verwendet sie, wenn man zwei Werkstücke lösbar miteinander verbinden will. Bestehen die Werkstücke aus Metall, so wird das obere mit einer glatten zylindrischen Bohrung, das untere dagegen mit einer Gewindebohrung versehen, so daß man die Schrauben anziehen kann (Abb. 175). Den gleichen Zweck erfüllen Mutterschrauben, die man durch glatte zylindrische Bohrungen führt. Bei den Holzschrauben tritt das Holzstück, in das wir die Schrauben hineindrehen, an die Stelle der Schraubenmutter.

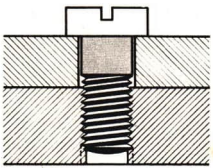


Abb. 175. Verbindung zweier Metallstücke durch eine Schraube

b) *Druckschrauben*. Druckschrauben größeren Kalibers sind meist flachgängig. Sie dienen vielfach dazu, durch Drehung der Schraubenspindel die Verschiebung eines Werkstückes bzw. eines Maschinen-

Die wichtigsten Schraubenformen

	Kopfschrauben		Senkschrauben		Mutterschrauben		Klemmschrauben	
	1	2	3	4	5	6	7	8
Kopfform	Halbrund	Zylinder	Kegel	Linse	Sechskant	Vierkant	Rändel	Flügel
a Metallschrauben								
b Holzschrauben								

Beispiele für die Bezeichnung von Schrauben:
1 a — Halbrundmetallschraube,
4 b — Linsensenkholzschraube,
5 a — Sechskantmutterschraube,
7 a — Rändelklemmschraube.

Abb. 174. Die wichtigsten Schraubenformen (Auswahl)

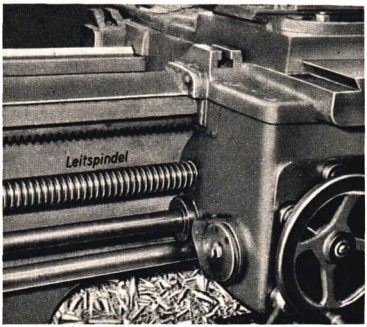


Abb. 176. Leitspindel einer Drehbank

teiles herbeizuführen. Gleichzeitig wird der bewegte Teil mit großer Kraft gegen sein Widerlager gepreßt. Infolge der starken Reibung klemmen sich die Schraubengänge der Spindel fest gegen die Schraubengänge der Bohrung, so daß ein Lockern von selbst nicht eintritt.

Als Beispiele der Verwendung von Druckschrauben seien angeführt die Klemmspindel am Schraubstock, die Leitspindel an der Drehbank (Abb. 176) zum Verstellen des Stahlhalters, die Wangenspindel an der Hobelbank. Hingewiesen sei ferner auf die Backenschrauben am Schlittschuh.

Auch zum genauen Einstellen von Meßgeräten, Mikroskopen, Fernrohren usw. werden Schrauben verwendet. Man kann mit Hilfe von *Einstellschrauben* bewegliche Geräteteile empfindlicher verstellen, als es durch ein Verschieben möglich ist.

Ebenso wirkt ein *Schiffspropeller* wie eine große Schraube. Er schraubt sich beim Drehen durch das Wasser hindurch, das in diesem Falle als Schraubenmutter wirkt (Abb. 177). In ähnlicher Weise wirkt der Propeller eines Flugzeuges als Luftschraube.

Abb. 177. Schiffsschraube am Heck eines auf der Volkswerft in Stralsund erbauten Fischloggers. Durchmesser der Schraubenfläche 1,5 m

6. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Schneide von einem Stück Pappe (Dicke etwa 1 bis 2 mm) einen 1 cm breiten, 30 bis 40 cm langen Streifen ab! Biege ihn so, daß er sich in Windungen um ein Stück Rundholz mit einem Durchmesser von etwa 2 cm legen läßt! Befestige den Streifen schraubenartig mit einigen Nägeln so auf dem Rundholz, daß zwischen den einzelnen Windungen Zwischenräume von etwa 1,5 cm liegen! Umfasse das entstandene Schraubenmodell mit den ersten vier Fingern der linken Hand, so daß die Finger alle zwischen denselben zwei Gängen liegen! Was kannst du beobachten, wenn du das Holz drehst?
2. Suche nach Beispielen für Wellräder und Kurbeltriebe an Haushaltsgeräten, landwirtschaftlichen und anderen Einrichtungen! Erkläre in jedem Falle die Wirkungsweise und fertige eine einfache Zeichnung davon an!
3. Begründe, warum das Steigen auf einer in Windungen, Serpentinen, geführten Bergstraße weniger anstrengt als auf einem steil emporführenden Fußweg!
4. Gib Schneidewerkzeuge und andere Werkzeuge an, bei denen die Wirkungsweise eines Keils ausgenutzt wird! Begründe im einzelnen die kraftsparende Wirkung!
5. Welcher Hilfsmittel bedient man sich, um a) geschlitzte Kopfschrauben, b) Sechskant- bzw. Vierkantschrauben festzuziehen? Worauf beruht die Wirkungsweise eines Schraubenschlüssels? Erläutere sie an Hand einer einfachen Zeichnung!
6. Ein Benzinfaß wird über eine Schrotleiter auf eine Ladebühne gerollt. Ein oben stehender Arbeiter beteiligt sich daran, indem er auf der Ladebühne ein Seil verankert, das er über die Leiter hinab und um das Faß herumführt. An dem freien Seilende zieht er nach oben. Welche kraftsparende Vorrichtung ist in dieser Anordnung wiederzuerkennen? Warum ist es nach den Arbeitsschutz-Vorschriften untersagt, daß sich Arbeiter beim Emporrollen einer Last auf einer Schrotleiter zwischen die Holme stellen?

7. Die Förderbahn einer Tongrube überwindet die 20 m hohe Grubenwand auf einer 120 m langen, schiefen Ebene. Welche Zugkraft ist zum Emporziehen einer Lore mit einem Gewicht von 980 kp erforderlich?

8. Auf einem Baugerüst steht eine einfache Seilwinde zum Hochwinden der Mörteleimer. Die Welle hat einen Durchmesser von 12 cm, die Kurbel eine von der Achse bis zum Handgriff gemessene Länge von 30 cm. Ein gefüllter Eimer hat ein Gewicht von 18 kp. Welche Kraft ist zum Hochwinden mindestens erforderlich?

§ 23. Von der Bewegung der festen Körper

1. Gleichförmige und ungleichförmige Bewegungen. Wir stehen auf einem Hügel neben einer geradlinig und waagerecht verlaufenden Eisenbahnstrecke. Von weitem sehen wir einen Schnellzug herankommen und beobachten, wie er an uns vorüberfährt und sich entfernt. Wir haben den Eindruck, daß der Zug, solange wir ihn sehen, mit unveränderter Geschwindigkeit fährt. Wir dürfen aber nicht daraus den Schluß ziehen, daß dies während der ganzen Dauer der Bewegung so sei. Schon unsere eigene Erfahrung lehrt uns das Gegenteil.

Wenn ein Eisenbahnzug aus dem Bahnhof abfährt, so hat er nicht gleich seine volle Geschwindigkeit. Ganz langsam setzt er sich in Bewegung. Erst allmählich nimmt seine Geschwindigkeit zu. Der Zug erfährt durch die Zugkraft der Lokomotive eine *Beschleunigung*, bis er nach einiger Zeit die vorgeschriebene Reisegeschwindigkeit erreicht hat.

Ähnliche Beobachtungen können wir machen, wenn wir in einem Kraftwagen sitzen und den Geschwindigkeitsmesser, das *Tachometer*, beobachten (vgl. Abb. 158). Wir sehen, wie der Zeiger des Gerätes nach dem Anfahren allmählich immer höhere Geschwindigkeitswerte anzeigt. Solange wir noch die Stadt durchfahren, wechselt die Geschwindigkeit sehr häufig. Befinden wir uns aber mit dem Wagen außerhalb von Ortschaften auf freier, geradliniger Strecke, so können wir oft lange Zeit denselben Geschwindigkeitswert ablesen.

Auch beim Radfahren gelingt es uns bei günstigen Verkehrs- und Wegeverhältnissen leicht, auf lange Strecken eine annähernd konstante Geschwindigkeit beizubehalten.

Beobachten wir ein über uns hinwegfliegendes Reiseflugzeug, so haben wir ganz den Eindruck, daß es auf geradliniger Bahn mit gleichbleibender Geschwindigkeit dahinfliegt.

Aus den angeführten Beispielen ersehen wir, daß wir Bewegungen mit gleichbleibender und mit veränderlicher Geschwindigkeit unterscheiden können:

a) *Bewegungen, deren Geschwindigkeit sich nicht ändert*, bezeichnet man als **gleichförmige Bewegungen**. Sind die von den bewegten Körpern durchlaufenen Bahnen gerade Linien, so haben wir es mit *geradlinig gleichförmigen Bewegungen* zu tun.

b) Alle *Bewegungen, bei denen sich die Geschwindigkeit ändert*, sind **ungleichförmige Bewegungen**. Man spricht von einer *beschleunigten* oder *verzögerten Bewegung*, je nachdem der bewegte Körper eine Geschwindigkeitszunahme oder - abnahme erfährt.

Ein Körper vollführt unter anderm eine beschleunigte Bewegung, wenn er zu Boden fällt. So bewegt sich z. B. eine kleine Metallkugel, die wir frei aus der Hand herabfallen lassen, beschleunigt. Da die Bewegung sehr schnell verläuft, ist es allerdings schwer, Einzelheiten mit bloßem Auge zu verfolgen.
Es erleichtert die Beobachtung, wenn wir die Kugel nicht frei herabfallen, sondern sie in einer leicht geneigten, geraden Rinne, einer *Fallrinne*, herabrollen lassen. Wir stellen fest:

Der freie Fall und das Herabrollen auf einer schiefen Ebene sind beschleunigte Bewegungen.

2. Die Geschwindigkeit. Wir haben im vorigen Abschnitt von der Geschwindigkeit als einem wichtigen Merkmal der Bewegung gesprochen, ohne zu sagen, was wir physikalisch unter der *Geschwindigkeit* zu verstehen haben. Wir wollen nunmehr lernen, die Geschwindigkeit zu messen. Wir stützen uns dabei auf folgenden Versuch:
Wir lassen eine Holzkugel, einen Gummiball oder eine Stahlkugel über einen möglichst langen Tisch mit glatter Oberfläche rollen. Damit die Kugel jedesmal mit der gleichen Geschwindigkeit rollt, lassen wir sie immer wieder von derselben Stelle eines gegen die Tischplatte ein wenig geneigten Brettes aus ablaufen (Abb. 178). Durch zwei Holzklötzchen *A* und *B*, die wir neben die Bahn der

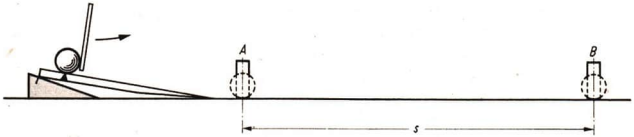


Abb. 178. Geschwindigkeitsmessung an einer auf einer waagerechten Bahn rollenden Kugel

Kugel auf den Tisch stellen, markieren wir eine Laufstrecke s. Die Zeit t, die die Kugel zum Durchlaufen dieser Strecke braucht, messen wir mit einer Taschenuhr (Sekundenzeiger!), noch besser mit einer Stoppuhr. Wir verändern die Geschwindigkeit dadurch, daß wir die Kugel von verschiedenen Höhen aus ablaufen lassen. Wir erkennen dabei folgende Zusammenhänge:

Die Kugel hat eine um so größere Geschwindigkeit,

a) je größer die Strecke ist, die sie in einer bestimmten Zeit, z. B. in 1 s, zurücklegt,

b) je kürzer die Zeit ist, in der eine bestimmte Strecke, z. B. 1 m, durchlaufen wird.

Wollen wir die Geschwindigkeit v zahlenmäßig ausdrücken, so haben wir demnach die zurückgelegte Strecke s durch die beim Durchlaufen der Strecke verflossene Zeit t zu dividieren. Es ist

$$v = \frac{s}{t}.$$

Geschwindigkeit ist der Quotient aus Weg und Zeit.

Messen wir, wie es bei schnell verlaufenden Bewegungen meist geschieht, die Wege in Kilometern, die Zeiten in Stunden, so ergibt sich entsprechend die *Geschwindigkeitseinheit* **Kilometer je Stunde** (km/h). Bei wissenschaftlichen Messungen gibt man die Geschwindigkeit in der Regel in **Metern je Sekunde** (m/s) an.

Die soeben getroffene Festsetzung über die Geschwindigkeit gilt streng nur für eine gleichförmige Bewegung. Bei allen anderen Bewegungen erhält man beim Dividieren des Weges durch die Zeit nur *Durchschnittswerte* der Geschwindigkeit.

Beispiel:

Der um 18^{32} Uhr aus Leipzig abfahrende Triebwagenzug 458 durchfährt die 37,7 km lange Strecke nach Halle ohne Zwischenhalt in 30 Minuten (Winterfahrplan v. 6. 1. 52). Seine Durchschnittsgeschwindigkeit beträgt demnach

$$v = \frac{37{,}7}{30}\ \text{km/min} \approx 1{,}26\ \text{km/min} = 75{,}6\ \text{km/h}.$$

Durchschnittsgeschwindigkeiten einiger Verkehrsmittel
(zum Vergleich die Geschwindigkeit eines Fußgängers)

Verkehrsmittel		m/s	km/h
Fußgänger	.....	1,4	5
Radfahrer	(Wandergeschwindigkeit) ...	5,5	20
Motorrad	(Reisegeschwindigkeit)	11 ··· 14	40 ··· 50
Ozeandampfer	(Reisegeschwindigkeit)	10 ··· 15	36 ··· 54
Kraftwagen	(Reisegeschwindigkeit)	19,5	70
Schnellzug	(Reisegeschwindigkeit)	22	80

3. Die Trägheit der Körper. Wir wissen aus Erfahrung, daß ein Körper, der keine Antriebsvorrichtung besitzt und auf den von außen keine Kraft wirkt, nicht von selbst in Bewegung geraten kann. Legen wir z. B. auf den waagerechten Boden eines Sportplatzes einen Fußball, so bleibt er dort unbeweglich liegen. Wenn wir ihn dagegen mit dem Fuß stoßen, rollt oder fliegt er davon. Wir empfinden deutlich, daß wir beim Stoßen bzw. beim Werfen des Balles einen Widerstand zu überwinden haben. Wir müssen eine Kraft aufwenden, wenn wir den Ball in Bewegung setzen wollen.

Auch wenn ein Wagen anfahren soll, muß eine Kraft auf ihn einwirken. Man muß ein Zugtier vor den Wagen spannen oder notfalls selbst mit Hand anlegen. Oder aber der Wagen muß mit einem Motor ausgestattet sein, der die zum Bewegen des Wagens erforderliche Kraft erzeugt.

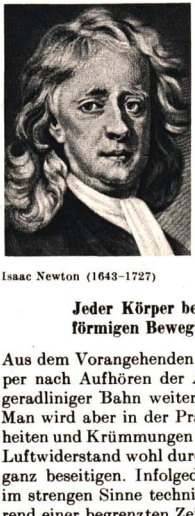
Immer wieder zeigt es sich, daß ein Körper ohne eine auf ihn wirkende Kraft nicht in Bewegung gerät. Diese Kraft muß den Widerstand überwinden, den der Körper einer Bewegung entgegensetzt. Die Ursache für diesen Widerstand liegt in der Tatsache, daß jeder Körper eine Masse besitzt, die den Körper träge macht. Schon in § 12,3 wurde darauf hingewiesen.

Einige leicht durchzuführende Versuche zeigen uns die Wirkung der **Trägheit** oder, wie man auch sagt, des *Beharrungsvermögens*.

Wir ziehen eine Papptafel von der Größe eines Zeichenblocks an einem daran gebundenen Faden über den Tisch. Auf die Papptafel legen wir eine Kugel. Beim Anziehen bleibt die Kugel infolge ihrer Trägheit relativ zum Tisch liegen und

Abb. 179. Trägheit einer auf einer Papptafel liegenden Kugel
a) Beim Anziehen rollt die Kugel nach rückwärts. b) Beim plötzlichen Anhalten rollt die Kugel vorwärts.

rollt nach hinten über die Tafelkante. Man kann dies dadurch verhindern, daß man einen kleinen Klotz hinter die Kugel legt. Sie wird dann auf der Papptafel mitgeführt. Bei einem plötzlichen Halt rollt sie in der Bewegungsrichtung weiter (Abb. 179a und b). — Wir bedecken die Öffnung eines Standzylinders mit einem Kartonblatt und legen darauf eine Münze. Beim ruckartigen Fortziehen des Kartonblattes folgt die Münze dieser Bewegung nicht, sondern fällt in den Zylinder.



Isaac Newton (1643–1727)

Die Trägheit der Körper macht sich sowohl beim Übergang von der Ruhe zur Bewegung als auch bei einer plötzlichen Unterbrechung der Bewegung bemerkbar. In jedem Falle wirkt die Trägheit so, daß der bestehende Bewegungszustand aufrechterhalten wird, wenn nicht eine äußere Kraft eine Änderung herbeiführt.

Wir fassen die uns durch die Erfahrung und durch die Versuche vermittelten Erkenntnisse zu folgendem Satz zusammen, der schon vor über 200 Jahren von dem großen englischen Physiker *Isaac Newton* ausgesprochen wurde. Er wird als *Satz vom Beharrungsvermögen* bezeichnet:

Jeder Körper beharrt im Zustande der Ruhe oder der geradlinig gleichförmigen Bewegung, solange keine Kraft auf ihn einwirkt.

Aus dem Vorangehenden folgt, daß sich jeder einmal in Bewegung geratene Körper nach Aufhören der Antriebskraft mit gleichbleibender Geschwindigkeit auf geradliniger Bahn weiterbewegt, wenn man alle Bewegungshindernisse beseitigt. Man wird aber in der Praxis immer mit einer Reibung und mit kleinen Unebenheiten und Krümmungen der Bahn rechnen müssen. Vor allem aber kann man den Luftwiderstand wohl durch geeignete Formgebung stark herabsetzen, ihn aber nie ganz beseitigen. Infolgedessen lassen sich geradlinig gleichförmige Bewegungen im strengen Sinne technisch nur auf verhältnismäßig kurzen Strecken und während einer begrenzten Zeitdauer verwirklichen.

4. Die Drehbewegung. Bei den bisher von uns betrachteten Beispielen hatten wir es im wesentlichen mit fortschreitenden Bewegungen zu tun. Nicht weniger wichtig sind die *Drehbewegungen*. An allen Maschinen, die mit Wellen und Rädern ausgestattet sind, finden Drehbewegungen statt.

Wie ein sich vorwärtsbewegender Körper, so gerät auch ein sich drehender nicht von selbst in Bewegung. Es bedarf wieder einer Kraft zur Überwindung der Trägheit. Umgekehrt dreht sich ein mit geringer Reibung gelagerter Körper noch länger weiter, wenn die Kraftwirkung aufhört. Wir brauchen nur an einen *Kreisel* zu denken.

Abb. 180. Funkensprühen am Schleifstein beim Glattschleifen einer Straßenbahnschiene. Die Funken fliegen tangential davon.

Besonders auffallend ist eine Erscheinung, die wir an schnell rotierenden Körpern häufig beobachten können. Erreicht ein rotierender Körper eine gewisse Drehgeschwindigkeit, so trennen sich Teilchen von ihm, die mit dem sich drehenden Körper nur lose verbunden sind. Sie fliegen dann auf geradliniger Bahn davon, wie wir es bei den sprühenden Funken an einem Schleifstein beobachten können (Abb. 180).

Wir befestigen einen kleinen Ball an einer Schnur und schleudern ihn im Freien über unserem Kopf in einer waagerechten Ebene herum, so daß er einen Kreis beschreibt. Die Schnur strafft sich dabei, weil der Ball seiner Trägheit folgt und sich von unserer Hand entfernt. Eine nach innen wirkende Zugkraft, die ihre Ursache in der Festigkeit der Schnur hat, hält ihn auf seiner Kreisbahn fest. Wir nennen diese Kraft *Radialkraft*, weil sie in Richtung des Radius wirkt. Andererseits wirkt auf den Ball entgegengesetzt zur Radialkraft eine nach außen gerichtete Zugkraft, die man als *Fliehkraft* oder auch *Zentrifugalkraft* bezeichnet (Abb. 181). Die Fliehkraft ist jedoch keine Kraft, die den Körper von außen her angreift. Wir haben es bei ihr lediglich mit einer Trägheitswirkung zu tun. Reißt die Schnur oder lassen wir sie los, so fliegt der Ball davon. Er entfernt sich aber nicht in der Richtung des Bahnradius, sondern in der Richtung, die er im Augenblick des Reißens innehatte. Mit anderen Worten, er fliegt in Richtung der *Bahntangente*[1] davon. In dem Augenblick, in dem der Faden reißt, hört mit der Radialkraft auch die Fliehkraft auf zu bestehen. Die Trägheit des Körpers aber wirkt weiter. An diese Zusammenhänge müssen wir immer denken, wenn wir den Ausdruck Fliehkraft gebrauchen.

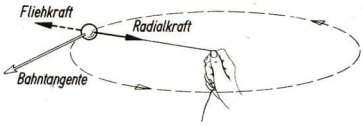


Abb. 181. Fliehkraftwirkung an einem geschleuderten Ball

An jedem sich drehenden Körper treten Fliehkräfte auf. Sie sind verursacht durch die dem rotierenden Körper innewohnende Trägheit. Fliehkräfte sind Trägheitswirkungen.

Fliehkräfte oder, besser gesagt, Trägheitswirkungen an rotierenden Körpern werden in technischen Vorrichtungen weitgehend nutzbar gemacht. Auf der Ausnutzung von Fliehkräften beruht beispielsweise die Konstruktion der *Milchzentrifugen*, die man in den Molkereien zum Entrahmen der Milch zwecks Butterbereitung verwendet

[1] Eine Tangente ist eine Gerade, die einen Kreis berührt.

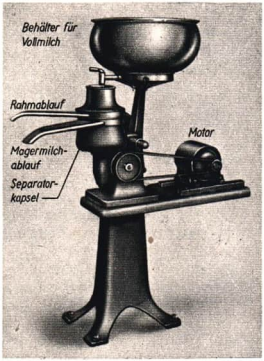
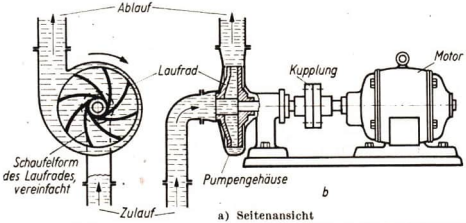


Abb. 182. Milchzentrifuge

Durch einen im Gehäuse schnell umlaufenden Separator werden die Magermilch und der Rahm getrennt und an verschiedenen Zapfstellen entnommen. Die Magermilch fließt außen, der Rahm weiter innen ab.

(Abb. 182). Es wird dabei der Umstand ausgenutzt, daß der Rahm eine etwas geringere Wichte hat als die entrahmte Milch. Infolgedessen ist auch seine Trägheit geringer als die der Milch.

Fliehkräfte werden auch in den vielfach verwendeten *Kreiselpumpen* wirksam. In dem kapselartigen Gehäuse der Pumpe dreht sich mit großer Geschwindigkeit ein von einem Motor angetriebenes Flügelrad. Dadurch gerät das im Gehäuse befindliche Wasser in schnelle Umdrehung, so daß es durch die Fliehkraft aus einem seitlich an das Gehäuse angeschlossenen Rohr abfließt (Abb. 183). Der Zufluß neuen Wassers erfolgt durch ein axial[1] in das Gehäuse mündendes Rohr. Durchfährt ein Eisenbahnzug eine Kurve, so treten ebenfalls Fliehkräfte auf. Um sie auszugleichen, verlegt man in einer Kurve die äußere Schiene eines Gleises stets höher als die innere. Fliehkräfte treten auch an unserer Erde auf. Sie haben die bekannte *Abplattung der Erde* bewirkt, als diese noch keine feste Rinde hatte, sondern noch bildsam und plastisch war (Abb. 184). Die nach außen gerichteten Fliehkräfte, denen alle Körper auf der Erdoberfläche unterliegen, wirken der Schwerkraft entgegen, und zwar um so stärker, je näher der Beobachtungsort dem Äquator liegt. Darauf ist in erster Linie die schon im § 12,4 erwähnte Gewichtsminderung zurückzuführen, die an einem Körper auftritt, wenn man ihn auf der Erdoberfläche vom Pol zum Äquator bewegt.



a) Seitenansicht
b) Achsenschnitt durch die Kreiselpumpe

Abb. 183. Schematische Schnittzeichnung einer Kreiselpumpe

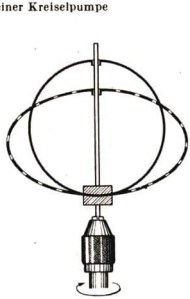


Abb. 184. Modellversuch zur Erdabplattung

Ein kreisförmiger Metallbügel wird in Umdrehung versetzt und plattet sich unter dem Einfluß der Fliehkraft ab.

[1] axial bedeutet in Richtung der Achse.

5. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Führe mit mehreren Mitschülern Geschwindigkeitsmessungen auf dem Schulhof oder auf der Landstraße durch! Ermittelt die Geschwindigkeit eines Läufers (ruhiger Dauerlauf) und eines Radfahrers (gleichmäßige, ruhige Fahrt)! Die Zeitmessung erfolgt am Startpunkt mittels einer Taschenuhr. Das Erreichen des Ziels wird durch rasches Senken eines hochgehaltenen Taschentuches gekennzeichnet.
2. Wiederhole den in Abb. 179 wiedergegebenen Versuch! Ziehe aber statt einer Kugel einen auf einer Papptafel quer zur Zugrichtung stehenden schmalen Holzklotz über den Tisch! Was beobachtest du?
3. Fertige aus einem 2 cm breiten Kartonstreifen einen Ring mit einem Durchmesser von etwa 15 cm an und stelle ihn aufrecht über die Öffnung eines Bechers! Obenauf lege eine Münze! Was geschieht, wenn du den Ring mit dem Finger beiseite schnellst?
4. Binde an einen Zwirnfaden einen Körper mit einer Masse von etwa 2 kg! Lege den Körper auf den Tisch und hebe ihn dann einmal ganz langsam, ein anderes Mal ruckartig an! Wiederhole den Versuch mehrere Male! Was kannst du feststellen?
5. Lege ein dünnes Brettchen (kein Sperrholz, Abmessungen etwa 2 mm × 50 mm × 300 mm) so auf den Tisch, daß es mit der knappen Hälfte über die Tischkante ragt! Bedecke den aufliegenden Teil mit einem Blatt Zeitungspapier und schlage mit der Breitseite eines Hammers kräftig gegen den überragenden Teil! Wie äußert sich die Trägheit der auf dem Papier lastenden Luft?
6. Wenn man frei in einem fahrenden Wagen steht, ohne sich festzuhalten, kann es leicht geschehen, daß man beim plötzlichen Bremsen in der Fahrtrichtung, beim Durchfahren von Kurven zur Seite fällt. Gib die Ursache für diese Erscheinung an!
7. Aus welchem Grunde steht ungefähr 750 m vor jedem Hauptsignal der Eisenbahn auf Hauptstrecken immer ein Vorsignal?
8. Der nach dem Winterfahrplan vom 6. 1. 52 um 16^{09} Uhr aus Berlin abfahrende D-Zug D 120 durchfährt die 164 km lange Strecke Berlin–Leipzig in 2 h 30 min. Berechne die Durchschnittsgeschwindigkeit!
9. Die 180 km lange Strecke Berlin–Dresden wird in einem Kraftwagen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 55 km/h zurückgelegt. Wie lange ist der Wagen unterwegs?
10. Ein modernes Reiseflugzeug entwickelt eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 400 km/h. Wie weit kommt es in 1 h 45 min?

§ 24. Einfache und zusammengesetzte Maschinen – Vom Fahrrad und von der Nähmaschine

1. Was ist eine Maschine? In der Physik bezeichnet man alle Einrichtungen, die zur Übertragung von Kräften dienen, als *Maschinen*. Meist gebraucht man sie, wenn man Kräfte umformen und dabei besser ausnutzen, d. h. also Kraft sparen will. In diesem Sinne spricht man von *kraftumformenden Maschinen*.

Wir haben einige besonders charakteristische Beispiele dafür kennengelernt, die man wegen ihrer Einfachheit als *einfache Maschinen* bezeichnet, nämlich:

den Hebel, das Seil in Verbindung mit einer oder mehreren Rollen, das Wellrad, die schiefe Ebene, den Keil, die Schraube.

Die einfachen Maschinen treten als Bauteile anderer Maschinen auf; man nennt sie in der Technik deshalb auch *Maschinenelemente*. Die Maschineneinrichtungen der Technik sind als *zusammengesetzte Maschinen* aufzufassen.

2. Das Fahrrad, eine zusammengesetzte Maschine. Eine uns allen bekannte zusammengesetzte Maschine ist das *Fahrrad* (Abb. 185). Mühelos können wir damit eine Geschwindigkeit von 15 bis 20 km/h erreichen.

Halten wir ein freistehendes Fahrrad an der Lenkstange fest und lassen es dann los, so fällt es um. Nach dem, was wir über die Standfestigkeit eines Körpers erfahren haben (§ 13, 3), ist auch nichts anderes zu erwarten. Denn die Unterstützungsfläche eines Fahrrades ist außerordentlich schmal, und der Schwerpunkt liegt verhältnismäßig hoch.

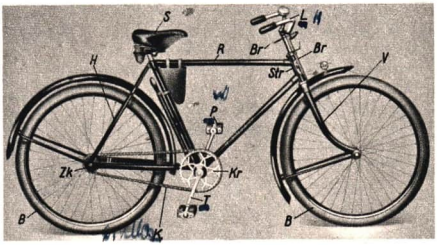


Abb. 185. Fahrrad aus dem volkseigenen „Möve"-Werk, Mühlhausen (Thüringen)

R Rahmen, *L* Lenkstange, *S* Sattel, *V* Vordergabel, *H* Hintergabel, *Str* Steuerrohr, *Br* Bremshebel, *T* Tretkurbel, *P* Pedal, *Kr* Kettenrad, *K* Kette, *B* Bereifung, *Zk* Zahnkranz.

Eine Störung des Gleichgewichts ist mithin leicht herbeizuführen. Ganz anders ist es, sobald sich die Räder des Fahrrades drehen. Bei seitlichen Verschiebungen des Schwerpunkts wird die Unterstützungsfläche durch schnelles Betätigen der Lenkstange immer wieder unter den Schwerpunkt gebracht. Außerdem ruft die Drehbewegung der Räder eine erhebliche Trägheitswirkung hervor. Diese wirkt sich hier nicht nur in einer Erhaltung der Drehgeschwindigkeit aus, sondern erhöht auch die Stabilität des Rades. Diese Wirkung ist um so größer, je schneller das Rad fährt.

3. Die Antriebsvorrichtung des Fahrrades. Wir untersuchen ein Fahrrad darauf hin, welche einfachen Maschinen an ihm Verwendung finden. Wir erkennen zunächst in der *Tretkurbel* und dem damit fest verbundenen *Kettenrad* ein Wellrad wieder. Die Tretkurbel nimmt die von unsern Beinen ausgeübte Kraft auf und gibt sie verstärkt an das Kettenrad weiter. Von diesem wird die Triebkraft durch eine Kette ohne Ende auf einen Zahnkranz übertragen, der die Achse des Hinterrades umgibt (vgl. Abb. 186). In dieser Zusammenstellung Kettenrad-Kette-Zahnkranz begegnen wir wieder einer uns bekannten Vorrichtung, nämlich einem Zahnradgetriebe, das wir in § 22, 2 kennenlernten. Die Räder greifen hier aber nicht unmittelbar mit ihren Zähnen ineinander; die Kraft wird durch eine Kette übertragen. Die Kraftübertragung wirkt sich im entgegengesetzten Sinne aus wie bei den in § 22, 2 beschriebenen Getrieben. Denn dort hatten die getriebenen Räder mehr Zähne als die treibenden; es handelte sich um eine kraftsparende Maschine. Beim Fahrrad dagegen findet eine Kraftübertragung vom großen Zahnrad auf das kleine statt.

Eine Kraftersparnis tritt nicht ein. Dafür nimmt die Drehzahl zu.

Wir können uns leicht am Fahrrad selbst davon überzeugen. Wir brauchen es zu diesem Zwecke nur etwas anzuheben und die Tretkurbel mit der Hand langsam zu drehen, so daß sie eine volle Umdrehung ausführt. Gleichzeitig stellen wir fest, wie oft das Hinterrad dabei umläuft. Wir wählen zu unserem Versuch Fahrräder mit verschieden großen *Übersetzungsverhältnissen* (Abb. 186). Wir verstehen darunter das Verhältnis der Zähnezahl des treibenden zu der des getriebenen Rades. Beispielsweise ist das Übersetzungsverhältnis in

Abb. 181a: $\frac{36}{18} = 2:1$,
Abb. 181b: $\frac{48}{16} = 3:1$.

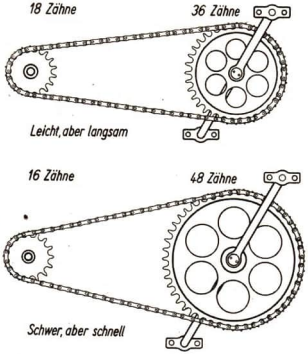


Abb. 186. Kettentrieb beim Fahrrad

Vergleicht man die Zunahme der Umdrehungszahlen mit dem Übersetzungsverhältnis, so findet man, daß die bei den verschiedenen Fahrrädern übertragenen Umdrehungszahlen um so größer sind, je größer die Übersetzungsverhältnisse sind.

Damit ist nicht gesagt, daß eine große Übersetzung immer vorteilhaft ist. Denn bei einer großen Übersetzung sind zwar zum Innehalten einer gewissen Geschwindigkeit weniger Tritte notwendig als bei einem Rade mit kleiner Übersetzung. Andererseits erfordert die große Übersetzung aber einen entsprechend größeren Kraftaufwand als die kleine. Besonders beim Berganfahren empfindet man dies als sehr lästig, da das Überwinden des Höhenunterschiedes an sich schon mehr Kraft erfordert. Beim Gebrauch in gebirgigen Gegenden sind daher im allgemeinen kleinere Übersetzungen vorteilhafter als große.

Die Hinterräder der Fahrräder sind mit einer *Freilaufnabe* ausgestattet. Diese bewirkt, daß sich die starre Verbindung zwischen dem Hinterrad und dem Zahnkranz löst, sobald sich der Zahnkranz langsamer dreht als das Hinterrad. Dadurch können wir die Trägheit des in Fahrt befindlichen Rades und unseres Körpers ausnutzen, wenn wir zu treten aufhören. Auf Grund der Trägheit oder, wie man auch sagt, des Beharrungsvermögens, behalten wir unsere Geschwindigkeit noch ein großes Stück bei. Reibung und der Luftwiderstand verringern sie jedoch allmählich.

4. Die Reibung. Jeder Radfahrer ölt von Zeit zu Zeit die Achsenlager seines Fahrrades und ebenso die Kette. Er tut dies, um die Reibung herabzusetzen, die er als Bewegungshindernis empfindet. Eine Reibung tritt immer auf, wenn zwei Körper aneinander entlang gleiten und sich dabei gegenseitig unter Druck berühren. Es liegt dies daran, daß die Oberflächen aller Körper Unebenheiten aufweisen, über die die Körper gewissermaßen hinweggehoben werden müssen, wenn sie nicht gar abgeschert werden. Die so zustande kommende Reibung bezeichnet man als *Gleitreibung*. Sie ist um so größer, je rauher die reibenden Flächen sind. Wir können uns davon leicht überzeugen, wenn wir im Winter einen Schlitten, auf

dem ein Mitschüler sitzt, einmal über den Schnee, ein anderes Mal über das Straßenpflaster oder gar über einen sandigen Weg ziehen. Auch das Gewicht der auf dem Schlitten sitzenden Person ist für die Größe der Reibung mitbestimmend.
Weit geringer ist die Reibung, wenn ein Körper am andern entlang rollt, da hierbei die Unebenheiten leichter überwunden werden. Man spricht in diesem Falle von einer *Rollreibung*.
Durch die Reibung wird ein erheblicher Teil der zum Betriebe einer Maschine — hier des Fahrrades — aufgewandten Arbeit verbraucht, ohne daß man sie ausnutzen kann. Wie wir schon wissen, entsteht durch die Reibung Wärme, die wir in diesem Falle als einen Arbeitsverlust anzusehen haben. Die Techniker, Ingenieure und Arbeiter unserer Werke sind daher mit allen Kräften bestrebt, die Reibung an Maschinenteilen auf ein Mindestmaß herabzusetzen. Durch die Verringerung der Reibung ist es möglich, die Maschinen noch besser auszunutzen.
Tatsächlich ist es durch Verfeinerung der Arbeitsmethoden beim Herstellen der Maschinenteile gelungen, die Gleitflächen immer ebener und glatter zu gestalten. Trotzdem bleiben immer noch Unebenheiten übrig, die technisch nicht zu beseitigen sind, da sie ihre Ursache im Aufbau der Körper aus kleinsten Teilchen haben. Wir werden darüber Näheres im nächsten Paragraphen erfahren.
Zur Herabsetzung der Reibung verwendet man *Schmiermittel*, z. B. *Schmieröl* oder *Schmierfett*. Durch die Schmiermittel werden die außerordentlich feinen Zwischenräume zwischen den Gleit- und Drehflächen ausgefüllt, so daß die Maschinenteile wie auf einem Polster aneinander gleiten. Die ausreichende Versorgung unserer Technik mit guten Schmiermitteln ist eine Aufgabe von hoher volkswirtschaftlicher Bedeutung. Aus diesem Grunde sieht der Fünfjahrplan vor, daß neue Methoden der Produktion hochwertiger Schmiermittel zu entwickeln sind.
Ein ausgezeichnetes Mittel zur Herabsetzung der Reibung an Maschinenteilen ist die Verwendung von *Kugel-* bzw. *Rollenlagern* (Abb. 187 und 188). Sie werden in die Achsenlager eingebaut und verwandeln die in den Achsenlagern auftretende Gleitreibung in eine Rollreibung. Kugellager werden heute in jeder Größe hergestellt und an allen Maschinen verwendet. Auch die beiden Räder, die Tretkurbel und die Lenkstange des Fahrrades laufen in Kugellagern.

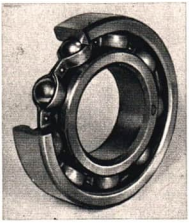


Abb. 187. Kugellager aus der Thüringer Kugellagerfabrik Zella-Mehlis

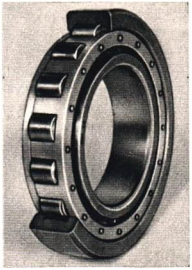


Abb. 188. Rollenlager aus der Leipziger Kugellagerfabrik

5. Die Nähmaschine. Eine Maschine, die heute die Grundlage für die gesamte Bekleidungsindustrie bildet und darüber hinaus auch in vielen Haushalten anzutreffen ist, ist die *Nähmaschine*. Der Antrieb erfolgt durch einen kleinen Elektromotor oder über ein Trittbrett durch die Muskelkraft unserer Füße. Das Tritt-

brett wirkt dabei als Hebel, und zwar als einseitiger oder als zweiseitiger Hebel, je nachdem ob die Fußspitzen oder die Fersen auftreten (vgl. §19, 5). Eine Pleuelstange überträgt die auf und nieder schwingende Bewegung des Trittbrettes auf eine Kurbel, mit deren Welle ein großes Schwungrad fest verbunden ist. Das Schwungrad dient gleichzeitig als Riemenscheibe und versetzt mittels eines Riementriebes die Hauptwelle der Maschine in Umdrehung (Abb. 189).

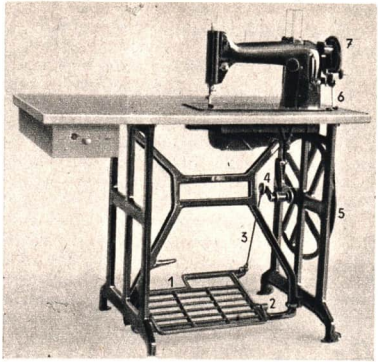


Abb. 189. Nähmaschine aus einem Werk der VVB „Textima"
1 Trittbrett, *2* Trittbrettachse, *3* Pleuelstange, *4* Kurbel, *5* Schwungrad, *6* Riemen, *7* Handrad.

Die Hauptwelle ist waagerecht in einem Gehäuse gelagert, das wie ein Arm von der Seite her über die Grundplatte hinübergreift. Im Kopf des Gehäuses gleitet die *Nadelstange* auf und nieder. Diese wird durch eine mit der Hauptachse umlaufende *Kurbelscheibe* mittels einer kurzen Pleuelstange gehoben und gesenkt (Abb. 190). Dabei durchsticht die Nadel jedesmal den Stoff und führt den *Oberfaden* in den Stoff ein. Beim Zurückziehen der Nadel entsteht unter dem Stoff eine Fadenschlinge, durch die der *Unterfaden* vom sogenannten *Schiffchen* hindurchgezogen wird. Das Schiffchen ist eine kleine, längliche oder runde Hülse, die unter der Grundplatte hin und her schwingt und eine kleine Spule mit dem Unterfaden enthält. Wenn die Fadenspannung richtig geregelt ist, überkreuzen sich der Ober- und der Unterfaden in der Mitte zwischen den beiden zusammenzunähenden Stoffen und bilden eine feste Naht (Abb. 191).

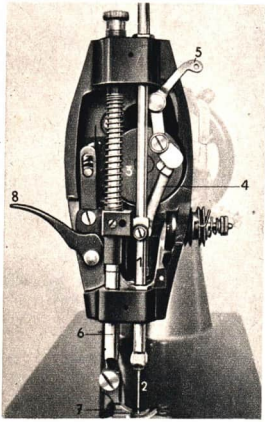


Abb. 190. Geöffneter Kopf einer Textima-Nähmaschine
1 Auf und nieder gleitende Nadelstange, *2* Nadel, *3* Kurbelscheibe, *4* Pleuelstange zum Antrieb der Nadelstange, *5* auf und nieder schwingender Fadenhebel, *6* Füßchenstange, *7* Füßchen, *8* Füßchenhebel.

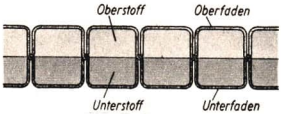


Abb. 191. Maschinennaht bei richtig eingestellter Fadenspannung

6. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Zähle die Zähne am Kettenrad und am Zahnkranz eines Fahrrades und berechne daraus das Übersetzungsverhältnis!
2. Welche Bremsvorrichtungen befinden sich am Fahrrad? Wie wird die Handbremse betätigt?
3. Zähle sämtliche einfachen Maschinen auf, die am Fahrrad Verwendung finden, und gib ihre Wirkungsweise an!
4. Gib an, wo am Fahrrad Ölstellen liegen!
5. Begründe, warum das Trittbrett der Nähmaschine als Wurfhebel wirkt!
6. Markiere auf dem Riemen einer Nähmaschine mit Kreide einen Punkt und stelle die Zahl der Umdrehungen fest, die a) das Treibrad, b) das Handrad bei einem vollständigen Umlauf des Riemens vollführen! Wieviel mal so schnell dreht sich das Handrad im Vergleich zum Treibrad?
7. Wie kann man mit Hilfe einiger runder Eisenstangen den Transport eines schweren Werkstückes auf ebenem Boden erleichtern? Begründe das Verfahren!
8. Stelle fest, wie oft sich das Hinterrad eines Fahrrades dreht, wenn man die Tretkurbel einmal niedertritt! Welche Strecke legt das Fahrrad dabei zurück, wenn das Hinterrad einen Radumfang von 2,25 m hat? Wieviel Schritte zu je 0,6 m Schrittlänge müßte ein Fußgänger auf der gleichen Strecke vollführen?

§ 25. Atome, Moleküle – Molekularkräfte

1. Atome und Moleküle. Wir wissen aus der Chemie, daß alle Körper aus *Atomen* zusammengesetzt sind. Bei vielen Stoffen, insbesondere bei chemischen Verbindungen, sind mehrere Atome zu Atomverbänden vereinigt, die man als *Moleküle* bezeichnet. Atome und Moleküle sind die *kleinsten Massenteilchen*, aus denen ein Körper besteht.

Es sind aber auch Gründe physikalischer Art, die den Aufbau aller Körper aus Atomen bzw. Molekülen für uns zu einer Gewißheit machen. Wir wissen z. B., daß sich Zucker im Wasser auflöst. Wir schließen daraus, daß er aus kleinsten Massenteilchen besteht, die sich beim Lösen mit den Massenteilchen des Wassers aufs innigste vermischen. Wir beschränken uns hier absichtlich auf einen Lösungsvorgang, bei dem chemische Vorgänge nicht auftreten.

Es ist uns bekannt, daß sich Öl auf einer Wasseroberfläche zu einer äußerst dünnen Schicht ausbreitet. Die Ausbreitungsfähigkeit des Öls ist so groß, daß ein Öltropfen mit einem Durchmesser von 5 mm auf einer ebenen Wasseroberfläche einen Ölfleck mit einem Durchmesser von mehr als 2 m bildet. Diese auffallende Erscheinung erklärt sich aus der Tatsache, daß die Moleküle des Öls außerordentlich leicht gegeneinander verschiebbar sind und sich auf dem Wasser in einer äußerst dünnen Schicht, im wesentlichen nebeneinander, anordnen.

Solche dünnen Ölschichten kann man auch bisweilen auf regennassen Asphaltstraßen beobachten, wenn aus einem Kraftwagen ein Öltropfen auf die Straße fällt. Die sich bildenden großen Ölflecken fallen uns durch ihre buntschillernden Farben auf.

Bei der Formung der Werkstoffe spielt die *spanabhebende Bearbeitung* eine sehr wichtige Rolle. Sie wird ausgeführt beim *Drehen, Hobeln, Stoßen, Fräsen, Bohren, Sägen, Stanzen, Feilen und Schleifen* und ist auf Metalle wie auf Holz anwendbar. Durch Werkzeuge oder Werkzeugmaschinen werden dabei mehr oder weniger große Späne, Flitter, Splitter von dem zu bearbeitenden Werkstück abgetrennt. Nicht anders ist es beim Zerschneiden, Zerstoßen und Zermahlen eines Körpers.
Bei der Metallbearbeitung kommt heute vor allem dem Drehen eine besondere Bedeutung zu. Durch den sowjetischen Dreher *Pawel Bykow* wurde das *Schnelldrehverfahren* eingeführt. Nach seinem Vorbild haben auch die Aktivisten unserer volkseigenen Werke neue Arbeitsmethoden entwickelt und dadurch eine erhebliche Steigerung der Produktion herbeigeführt.
Alle spanabhebenden Arbeitsverfahren beweisen, daß die Körper teilbar sind. Doch kann man solche rein mechanischen Verfahren nicht beliebig weit fortsetzen. *Es gibt kleinste Massenteilchen*, die sich mechanisch nicht mehr zerteilen lassen. Diese kleinsten Teilchen sind die schon erwähnten Atome und Moleküle.

Alle Körper sind teilbar; sie bestehen aus kleinsten Massenteilchen, den Atomen bzw. den Molekülen.

Die Moleküle und erst recht die Atome sind so klein, daß sie mit Lichtmikroskopen selbst bei stärkster Vergrößerung nicht wahrgenommen werden können. Erst in neuester Zeit ist es mit Hilfe von Elektronenmikroskopen gelungen, sogenannte *Riesenmoleküle* sichtbar zu machen. Trotz der fast unvorstellbar geringen Größe der Moleküle ist es den Forschern gelungen, die Größe vieler Moleküle zu ermitteln. Wir wissen heute, daß die Durchmesser der Moleküle zwischen einem Millionstel- und einem Zehnmillionstelmillimeter liegen.
Bei der außerordentlichen Kleinheit der Moleküle ist natürlich die Zahl der Moleküle, aus denen ein Körper besteht, ungeheuer groß. Doch auch sie ist uns heute nicht mehr unbekannt. Man kann sie für alle Stoffe mit ziemlicher Genauigkeit berechnen. So enthält 1 cm^3 Luft bei 0° C unter normalem Luftdruck 27 Trillionen Moleküle. Schreibt man diese Zahl aus, so hat man 18 Nullen hinter die 27 zu setzen. Um uns von der Riesenhaftigkeit dieser Zahl eine Vorstellung zu verschaffen, wollen wir annehmen, daß wir in jeder Sekunde 100 dieser Moleküle abzählen könnten. Es würden dann über 800 Milliarden Jahre vergehen, bis wir alle gezählt hätten.

2. Kohäsion und Adhäsion. Daß die kleinsten Teilchen eines Körpers aneinander haften, wird durch besondere anziehende Kräfte verursacht, die zwischen ihnen wirksam sind. Man nennt die Kräfte **Kohäsionskräfte**[1].
Unter dem Einfluß von Kohäsionskräften fügen sich beispielsweise die Moleküle des Zuckers beim Auskristallisieren aus einer Zuckerlösung zu einem festen, harten Kristall zusammen. Die Kohäsionskraft zwischen den Atomen bzw. den Molekülen wird aber erst dann wirksam, wenn sich diese bis auf weniger als 0,000 05 mm einander nähern.
Die Tatsache, daß sich die Körper aus Atomen oder auch aus Molekülen aufbauen, macht uns den Unterschied der drei Aggregatzustände fest, flüssig, gasförmig verständlich.

a) Bei festen Körpern sind die Kohäsionskräfte sehr groß.

Die Moleküle haften so fest aneinander, daß sie sich nur durch großen Kraftaufwand voneinander trennen lassen.

[1] cohaerére (lat.) = zusammenhängen

b) *Bei flüssigen Körpern sind die Kohäsionskräfte wegen der größeren Abstände der Moleküle voneinander geringer als bei festen Körpern.*
Die Moleküle haften wohl aneinander, sind aber leicht gegeneinander verschiebbar.

c) *Bei gasförmigen Körpern sind die Kohäsionskräfte sehr gering.*
Sie reichen nicht mehr aus, um die Moleküle aneinander zu binden; diese sind frei beweglich.

Anziehende Kräfte wirken auch zwischen den kleinsten Teilchen verschiedener Körper. So haften Wassertröpfchen als Beschlag an einer kalten Fensterscheibe, wenn man gegen diese haucht. Hebt man einen Löffel oder einen Glasstab aus einer Flüssigkeit, so bleibt immer ein Tropfen an ihnen hängen. Man spricht in diesem Fall von **Adhäsion**[1] und von **Adhäsionskräften**. Doch sind diese von der gleichen Art wie die Kohäsionskräfte und unterscheiden sich von ihnen nicht. Zwei Metallklötze, deren ebene Endflächen auf Hochglanz poliert sind, haften fest aneinander, wenn man sie mit ihren geschliffenen Flächen gegeneinander drückt.

3. Die Kapillarwirkung. Hat man einen Tintenklecks gemacht, so benutzt man ein Löschblatt, um die Tinte aufzusaugen. Löschpapier besteht aus lauter feinen Fasern. Zwischen ihnen befinden sich Poren, die noch feiner sind. Diese allerfeinsten Zwischenräume sind mit engen Röhrchen vergleichbar, die man *Haar-* oder *Kapillarröhrchen* nennt. In ihnen steigt die Tinte empor. Folgender Versuch soll uns die Saugwirkung der Kapillarröhrchen veranschaulichen:

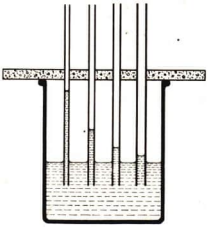


Abb. 192. Saugwirkung von Haarröhrchen mit verschiedenem Durchmesser. Die Haarröhrchen werden durch eine Korkscheibe gehalten.

Wir tauchen verschieden enge Glasröhrchen in gefärbtes Wasser (Abb. 192). In den Glasröhrchen, die man auch kurz als *Kapillaren* bezeichnet, steigt das Wasser über den äußeren Wasserspiegel empor, und zwar um so höher, je enger das Röhrchen ist. Es ist dies darauf zurückzuführen, daß sich die Moleküle des Glases und die Moleküle des Wassers gegenseitig stärker anziehen, als es die Moleküle des Wassers untereinander tun.

Die Adhäsion zwischen Glas und Wasser ist größer als die Kohäsion des Wassers. Das Aufsteigen des Wassers in Haarröhrchen über den äußeren Wasserstand bezeichnet man als Kapillarität. Die Kapillarwirkung ist um so größer, je enger die Röhre ist.

Damit hängt zusammen, daß sich in einem Gefäß mit Wasser der Rand der Wasseroberfläche um einige Millimeter an der Glaswand emporwölbt. Wir bezeichnen deshalb das Wasser als eine das Glas benetzende Flüssigkeit. Ein anderes Verhalten zeigen Flüssigkeiten, die Glas nicht benetzen. Eine solche Flüssigkeit ist Quecksilber. Es steigt in Kapillarröhren nicht empor, seine Oberfläche senkt sich vielmehr etwas (Abb. 193).

Abb. 193. Die Senkung des Quecksilberspiegels in einer Kapillarröhre

[1] adhaerére (lat.) = anhaften

Auf der Kapillarität beruhen viele Vorgänge, denen wir im Haushalt und in der Technik begegnen. So verursacht die Kapillarität die Saugwirkung der Dochte in Petroleumlampen und Feuerzeugen. Sie ermöglicht das Aufwischen eines nassen Fußbodens mit einem Wischlappen sowie das Abtrocknen des Körpers mit einem Handtuch. — Ziegelsteine sind porös. Infolgedessen wird Mauerwerk leicht von unten her naß. Beim Hausbau werden deshalb die Grundmauern durch Einlegen von geteerter Pappe abgedichtet oder, wie man sagt, isoliert.

Auch in der Natur spielt die Kapillarität eine große Rolle. Die Pflanzen enthalten in ihren Wurzeln, Stämmen, Stengeln und Blättern Haarröhrchen. Ihnen ist es neben anderen Ursachen zuzuschreiben, daß das Wasser aus dem Boden gesaugt und bis in die Spitzen der Blätter gehoben wird.

Die Haarröhrchen sind für den Wasserhaushalt des Ackerbodens von großer Bedeutung. Sie durchziehen den Boden und lassen das Bodenwasser bis zur Ackeroberfläche emporsteigen, wo es verdunstet. Dem Austrocknen des Ackerbodens begegnet man durch Eggen, Aufreißen, Hacken, wodurch die Haarröhrchen zerstört werden. Gleichzeitig wird dadurch die für das Wachstum der Pflanzen wichtige Durchlüftung gefördert.

4. Versuche, Fragen, Aufgaben:

1. Schneide eine rohe Kartoffel durch und drücke die Schnittflächen sogleich aneinander! Versuche die Stücke dann auseinanderzuziehen! Was kannst du feststellen, und wie erklärst du die Erscheinung?
2. Fette ein Stück Papier von Postkartengröße durch Bestreichen mit etwas Öl gleichmäßig ein und laß dann ein paar Tropfen Wasser auf das Papier fallen! Was kannst du beobachten?
3. Fette von zwei Papierstreifen den einen ein und tauche beide Streifen ins Wasser! Wie verhalten sich beide Streifen gegenüber dem Wasser?
4. Stelle ein Trinkglas auf einen Teller und fülle das Glas bis zum Rande mit Wasser! Füge dann vorsichtig löffelweise weiter Wasser hinzu! Was kannst du an der Wasseroberfläche beobachten? Deute die Erscheinung!
5. Gieße Wasser in ein Glas oder in einen Teller, fasse eine trockene Nähnadel mit zwei Fingerspitzen und lege sie vorsichtig auf die Wasseroberfläche! Wie kommt es, daß die Nadel nicht untergeht?
6. Warum gelingt es meist nicht, Wasser aus einem vollen Becher in einen anderen umzugießen, ohne daß etwas Wasser danebenläuft? Versuche es dagegen, indem du einen Löffel in den offenen Becher hältst und mit dem Löffelstiel den Rand des vollen Bechers berührst, so daß das auslaufende Wasser den Löffelstiel trifft! Warum gelingt jetzt das Umgießen meist ohne Schwierigkeit?
7. Was weißt du über das von dem sowjetischen Dreher Pawel Bykow eingeführte Schnelldrehverfahren?
8. Gib neben den oben aufgezählten spanabhebenden Arbeitsverfahren einige formgebende Bearbeitungsmethoden an, bei denen eine Spanabhebung nicht stattfindet! Vergleiche dazu die Abb. 97 auf S. 69!
9. Bei Gebirgsbahnen werden steile Bahnstrecken vielfach als Zahnradbahnen gebaut. Die auf den Brocken führende Bahn dagegen ist eine Adhäsionsbahn. Was versteht man darunter?
10. Wie wir in § 25, 1 erfuhren, enthält 1 cm^3 Luft bei einem Druck von 1 Atm. und bei 0° C 27 Trillionen Moleküle. Welche Zeit würde bis zur vollständigen Evakuierung eines cm^3-Würfels verfließen, wenn man in jeder Sekunde 1 Million Moleküle aus dem Würfel entfernen würde?

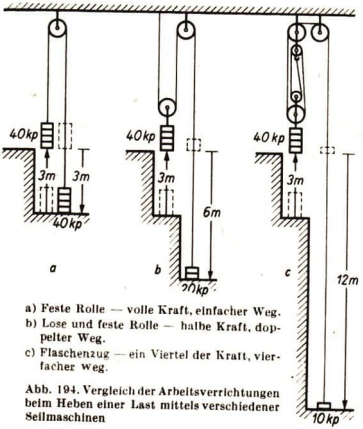
§ 26. Arbeit und Leistung – Die Goldene Regel der Mechanik

1. Der Arbeitsbegriff in der Physik. Wir gebrauchen in der Umgangssprache häufig das Wort Arbeit und sprechen von der Art der Arbeit, von der Schwere der Arbeit, vom Arbeitstempo, vom Arbeitserfolg, von der Freude an der Arbeit, von der Arbeitsproduktivität und ähnlichem.

Mit diesen Ausdrücken ist aber noch nicht die *physikalische Bedeutung des Arbeitsbegriffs* erfaßt. In der Physik hat das Wort Arbeit eine ganz bestimmte Bedeutung; es bezeichnet stets das zahlenmäßig wiedergegebene Ergebnis des Wirkens einer Kraft.

Der Sinn dieser Worte wird uns an einem einfachen Beispiel, dem Heben einer Last, klar. Die dabei zu verrichtende *Arbeit* besteht darin, daß eine gewisse Last auf eine bestimmte Höhe emporzuheben ist. Wir schließen daraus, daß die Größe der Arbeit von der Größe der Last, aber auch von der erreichten Höhe abhängig ist. Die Art der Abhängigkeit erkennen wir am einfachsten, wenn wir zum Heben der Last eine der bekannten einfachen Maschinen, etwa eine Seilmaschine, einen Flaschenzug, verwenden.

2. Die Messung einer physikalischen Arbeit. Wir beschränken uns im folgenden auf die Erläuterung des Arbeitsbegriffs in der Mechanik. Will man eine Last, die ein Gewicht von 40 kp hat, mit Hilfe eines über eine feste Rolle geführten Seiles 3 m hoch heben (Abb. 194a), so muß man das freie Seilende mit einer Kraft von 40 kp ebenfalls 3 m nach unten ziehen. Verwendet man eine lose Rolle in Verbindung mit einer festen Rolle (Abb. 194b), so braucht man am freien Seilende nur 20 kp wirken zu lassen, muß es aber 6 m nach unten ziehen. Benutzt man einen Flaschenzug mit zwei losen und zwei festen Rollen (Abb. 194c), so sind als Gegenkraft nur 10 kp aufzuwenden, das freie Seilende muß aber um 12 m gesenkt werden. Die verrichtete Arbeit ist in allen Fällen die gleiche, denn jedesmal wurde eine 40 kp schwere Last um 3 m gehoben.



a) Feste Rolle — volle Kraft, einfacher Weg.
b) Lose und feste Rolle — halbe Kraft, doppelter Weg.
c) Flaschenzug — ein Viertel der Kraft, vierfacher Weg.

Abb. 194. Vergleich der Arbeitsverrichtungen beim Heben einer Last mittels verschiedener Seilmaschinen

Multiplizieren wir bei jedem Arbeitsvorgang die Maßzahl der am freien Seilende wirkenden Gegenkraft mit der Maßzahl des von diesem Seilende zurückgelegten Weges, so erhalten wir

bei der festen Rolle $40 \cdot 3 = 120$,
bei der losen Rolle $20 \cdot 6 = 120$,
beim Flaschenzug $10 \cdot 12 = 120$.

Die Produkte erweisen sich in jedem Falle als gleich groß, und zwar als ebenso groß wie das

Produkt aus den Maßzahlen des Gewichts der gehobenen Last und der Förderhöhe. In der Physik wird deshalb das *Produkt aus Kraft und Weg* als Maß für die Arbeit verwendet:

Arbeit gleich Kraft mal Weg.

Wir machen uns dieselben Zusammenhänge an einem zweiten Beispiel klar.

Bei größeren Neubauten wird meist zum Emporfördern von Baustoffen ein mit einem Motor betriebener Lastenaufzug verwendet (Abb. 195). Er möge in drei hintereinander folgenden Arbeitsgängen verschiedene Lasten emporheben, und zwar

a) zum 1. Stockwerk 6 m hoch einen Sandsteinquader mit einem Gewicht von 200 kp,

b) zum 2. Stockwerk 10 m hoch eine Karre mit Ziegelsteinen mit einem Gewicht von 130 kp,

c) zum 3. Stockwerk 14 m hoch einen Trog mit Mörtel mit einem Gewicht von 80 kp.

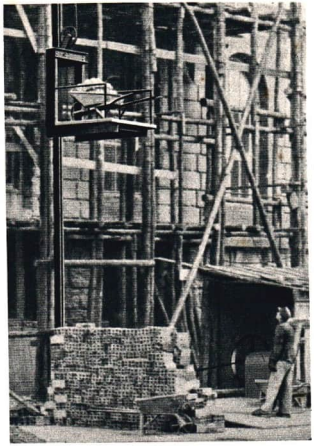


Abb. 195. Lastenaufzug an einem Neubau
An einer senkrechten Führungsschiene gleitet, von einem Motor gezogen, eine nach außen geschwenkte Plattform, die die Last trägt. Hat die Plattform die gewünschte Höhe erreicht, so wird sie auf das Gerüst zum Haus hin eingeschwenkt und entladen.

Wir sehen erneut, daß die Arbeit, die der Motor zu verrichten hat, nicht nur von der Größe der aufgewendeten Kraft, sondern auch von dem Wege abhängt, auf dem diese Kraft wirkt. Allerdings berücksichtigen wir bei unserer Überlegung nur die reine Nutzarbeit. Die zum Heben des Fahrstuhlgewichts und zur Überwindung der Reibung erforderliche Arbeit wollen wir außer acht lassen.

Je größer die aufzuwendende Kraft und je länger der Weg ist, desto größer ist die Arbeit.

Mißt man die Kraft in Kilopond und den Weg in Metern, so erhält man als Arbeitseinheit das **Kilopondmeter** (kpm). Mißt man dagegen die Kraft in Pond und den Weg in Zentimetern, so ergibt sich als Arbeitseinheit das **Pondzentimeter** (pcm).

Die Einheiten der Arbeit sind das Kilopondmeter (kpm) bzw. das Pondzentimeter (pcm).
1 kpm = 100 000 pcm.

Bei dem oben erwähnten Lastenaufzug hatte der Motor

im Falle a) ein Gewicht von 200 kp 6 m hoch zu heben. Das entsprach einer Nutzarbeit von

$$200\,\text{kp} \cdot 6\,\text{m} = 1200\,\text{kpm}.$$

Im Falle b) betrug die Nutzarbeit

$$130\,\text{kp} \cdot 10\,\text{m} = 1300\,\text{kpm},$$

im Falle c)

$$80\,\text{kp} \cdot 14\,\text{m} = 1120\,\text{kpm}.$$

Wir merken uns:

Arbeit ist das Produkt aus Kraft und Weg:

$$\mathbf{A = P \cdot s.}$$

3. Die Goldene Regel der Mechanik. In den Paragraphen 21 und 22 haben wir die einfachen Maschinen kennengelernt. Wir haben erkannt, daß man mit ihrer Hilfe mit geringem Kraftaufwand große Wirkungen erzielen, mit anderen Worten, Kraft sparen kann. Es erhebt sich nunmehr die Frage, ob man damit auch die Arbeit verringern kann.

Für die Seilmaschinen ist unsere Frage durch die sich an Abb. 194 in Abschnitt 2 dieses Paragraphen anschließenden Betrachtungen im Grunde genommen schon beantwortet. Wir sahen, daß die beim Heben einer bestimmten Last aufgewendeten Kräfte und die vom freien Seilende zurückgelegten Wege verschieden groß waren. Die Produkte aus Kraft und Weg aber stimmten bei den einzelnen Seilmaschinen überein und waren gleich dem Produkt aus dem Gewicht der emporgehobenen Last und dem von ihr zurückgelegten Weg. Es handelte sich um die Produkte

$$40\,\text{kp} \cdot 3\,\text{m} = 120\,\text{kpm},$$
$$20\,\text{kp} \cdot 6\,\text{m} = 120\,\text{kpm},$$
$$10\,\text{kp} \cdot 12\,\text{m} = 120\,\text{kpm}.$$

Wir können uns diese Zusammenhänge durch eine graphische Darstellung bildlich veranschaulichen. Wir tragen auf der waagerechten Achse die Wege, auf der senkrechten Achse die längs der Wege wirkenden Kräfte in beliebigen Maßstäben ab. Jedes Produkt wird dann durch ein Rechteck dargestellt, die Arbeit erscheint also als Fläche (Abb. 196). Man bezeichnet eine solche bildliche Darstellung der Arbeit als ein *Arbeitsdiagramm*. Aus ihm entnehmen wir, daß die an allen drei Seilmaschinen verrichtete Arbeit den gleichen Wert hat. Eine Seilmaschine wirkt mithin wohl kraft-, aber nicht arbeitsparend.

Das gleiche gilt, wie man sich leicht überzeugen kann, für alle anderen einfachen Maschinen.

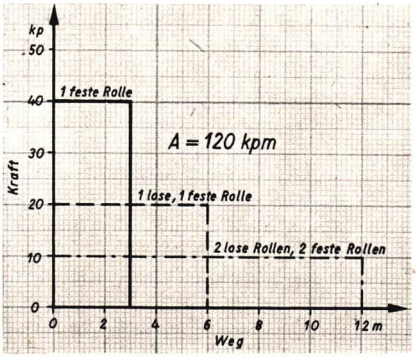


Abb. 196. Arbeitsdiagramm für Seilmaschinen

Eine Arbeit kann durch mechanische Hilfsmittel nicht verringert werden. Trotzdem ist der Gebrauch solcher Vorrichtungen vorteilhaft, da es meist sehr lohnend ist, mit einem möglichst geringen Kraftaufwand auszukommen.

Bei einer Arbeitsverrichtung ist jede Kraftersparnis mit einer Vergrößerung des Weges verbunden. Umgekehrt hat jede Verkürzung des Weges eine Vergrößerung der Kraft zur Folge.

Eine Arbeit bleibt bei Anwendung mechanischer Hilfsmittel ihrem Werte nach immer erhalten.

Dieser Satz heißt die **Goldene Regel der Mechanik.**

Er wird durch folgende Gleichung mathematisch wiedergegeben:

$$P_1 \cdot s_1 = P_2 \cdot s_2 .$$

Hierin bedeutet P_1 einen längs der Strecke s_1 zu überwindenden Widerstand, P_2 die längs der Strecke s_2 aufzuwendende Kraft.

4. Die Leistung. In der Umgangssprache werden die beiden Worte Arbeit und Leistung oft nebeneinander gebraucht, ohne daß man sich dessen immer bewußt ist, daß Leistung und Arbeit keineswegs dasselbe bedeuten. In physikalischer Hinsicht haben wir zwischen Arbeit und Leistung streng zu unterscheiden. Eine einfache Überlegung verschafft uns Klarheit darüber.

Wir brauchen nur an zwei auf einem Neubau tätige Arbeiter zu denken, die beide nacheinander je eine schwere Tür mit einem Gewicht von 20 kp zum dritten Stockwerk (12 m) emportragen. Beide verrichten die gleiche Nutzarbeit, nämlich 240 kpm. Aber der eine braucht dazu $1^3/_4$ Minuten, bei dem anderen verstreicht etwas mehr Zeit, nämlich 2 Minuten. Trotz gleicher Arbeit haben beide Arbeiter nicht dasselbe geleistet. Der erste Arbeiter leistet mehr als der zweite, da er die gleiche Arbeit in kürzerer Zeit verrichtet.

Will man über die *Leistung* eines Menschen ein Urteil gewinnen, so muß man seine Arbeit auf die dabei verflossene Zeit beziehen. Um einen Zahlenwert für die Leistung zu erhalten, berechnet man die in einer Sekunde verrichtete Arbeit, indem man die Gesamtarbeit durch die Anzahl der hierfür benötigten Sekunden dividiert.

Bei unserem Beispiel verrichtet demnach der erste Arbeiter in der Sekunde eine Arbeit von 240 kpm : 105 ≈ 2,3 kpm, der zweite eine Arbeit von 240 kpm : 120 = 2 kpm. Die Leistungen betragen also 2,3 kpm je Sekunde bzw. 2 kpm je Sekunde. Die beim Emporheben des eigenen Körpergewichtes vollbrachte Leistung wurde hierbei nicht berücksichtigt. Wir merken uns:

Leistung ist der Quotient aus Arbeit und Zeit. Man mißt die Leistung in Kilopondmeter je Sekunde (kpm/s).

Bedeutet N die Leistung, A die Arbeit und t die Zeit, so ist

$$N = \frac{A}{t} .$$

Die technische Einheit der Leistung ist das aus der Elektrotechnik entlehnte **Watt** (W) bzw. das **Kilowatt** (kW). Es gilt

$$1\,\text{kW} = 1000\,\text{W},$$
$$1\,\text{kW} = 102\,\text{kpm/s},$$
$$1\,\text{W} = 0{,}102\,\text{kpm/s}.$$

Durch Verwendung von Maschinen ist es den Menschen gelungen, gewaltige Leistungen zu erzielen. So leisten unsere modernen Elektrizitätswerke 200000 kW und mehr.

Früher benutzte man als Leistungseinheit auch die Pferdestärke (PS). Eine Pferdestärke ist gleich 75 kpm/s (1 PS = 75 kpm/s). Doch hat sich heut allgemein das Kilowatt als Leistungseinheit eingebürgert. Nur im Kraftfahrwesen ist noch die Einheit Pferdestärke gebräuchlich. Die Dauerleistung eines Menschen beträgt etwa $\frac{1}{10}$ PS. Kurzfristig kann sie bis zu $\frac{1}{5}$, ja bis $\frac{1}{4}$ PS gesteigert werden.

5. Fragen und Aufgaben:

1. Überlege, aus welchen Gründen an einem Hebel wohl eine Kraftersparnis, aber keine Verminderung der zu verrichtenden Arbeit eintritt!
2. Führe dieselbe Überlegung wie in Frage 1 an einem Wellrad durch!
3. Ein Arbeiter hebt ein Faß mit einem Gewicht von 32 kp an einer Verladebühne 0,75 m senkrecht empor. Ein anderes Mal rollt er ein gleich schweres Faß über eine 3 m lange Schrotleiter hoch. Vergleiche in beiden Fällen die erforderlichen Kräfte und die aufzuwendenden Arbeiten! Welchen Vorteil bietet die Schrotleiter?
4. Wir tragen einen Eimer Kohle mit einem Gewicht von 12 kp aus dem Keller in das dritte Stockwerk (13 m über der Kellersohle) und brauchen zum Emporsteigen $1^1/_2$ Minute. Wie groß ist die von uns verrichtete Arbeit? Wie groß ist unsere Leistung?
5. Eine Pumpe fördert in einer Stunde 2400 m³ Wasser 18 m hoch. Wie groß ist die Leistung des Motors?
6. Der Motor des Personenkraftwagens DKW Typ F 9, der in dem volkseigenen Fahrzeugwerk IFA Werk Audi VEB Zwickau hergestellt wird, hat eine Leistung von 28 PS. Rechne diese Leistungsangabe in kpm/s und in kW um!
7. Eine Talsperre hat einen Wasserstand von 58 m über der Sohle. Es fließen stündlich 10000 m³ ab. Welche Leistung kann eine angeschlossene Turbine abgeben? Wie groß ist die in einer Stunde gewonnene Arbeit?
8. Bei einer Dampframme wird der Rammbär, der ein Gewicht von 60 kp hat, fünfmal in jeder Minute 1,75 m hoch gehoben. Welche Arbeit wird bei jedem Schlag nutzbar? Wie groß ist die in 10 Minuten gewonnene Gesamtarbeit? Wie groß ist die Leistung der Ramme?

III. Wetterkunde (Meteorologie)

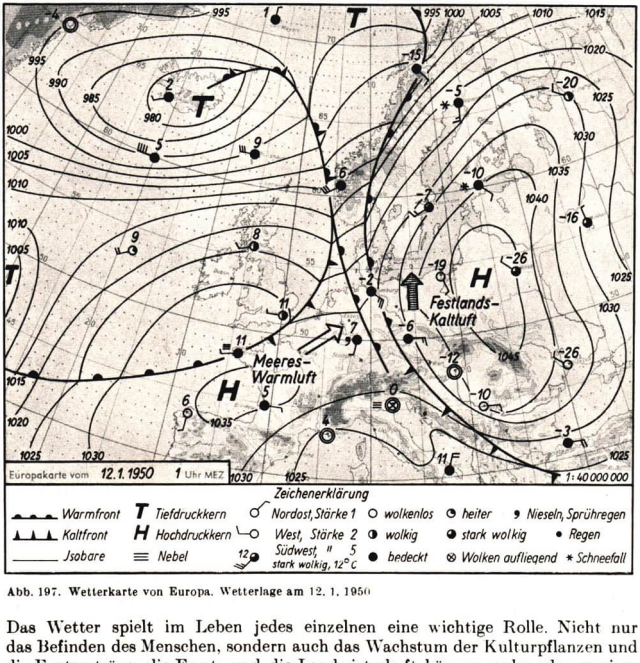


Abb. 197. Wetterkarte von Europa. Wetterlage am 12. 1. 1950

Das Wetter spielt im Leben jedes einzelnen eine wichtige Rolle. Nicht nur das Befinden des Menschen, sondern auch das Wachstum der Kulturpflanzen und die Ernteerträge, die Forst- und die Landwirtschaft hängen mehr oder weniger vom Wetter ab.

Zu allen Zeiten haben die Menschen versucht, aus Beobachtungen des Himmels sowie aus Beobachtungen über das Verhalten von Tieren und Pflanzen etwas über das zukünftige Wetter zu erfahren. Fortschritte in der Wettervorhersage wurden jedoch erst erzielt, als man dazu überging, das Wetter auf wissenschaftlicher Grundlage zu beobachten und die Wettervorhersage auf genaue Messungen zu stützen.

Die auf der vorhergehenden Seite abgebildete Wetterkarte (Abb. 197) ist auf Grund solcher Messungen entstanden. Wir werden die Bedeutung solcher Wetterkarten in diesem Abschnitt kennenlernen. Ihre Auswertung durch die amtlichen Stellen des Wetterdienstes gibt in Form des Wetterberichtes Antwort auf die wichtige Frage:

Wie wird das Wetter?

§ 27. Die Elemente des Wetters

1. Die Lufttemperatur. Die Sonne ist unsere Hauptwärmequelle. Die von ihr ausgehenden Strahlen erwärmen jedoch die Lufthülle selbst nur wenig. Sie durchdringen sie bis zur Oberfläche der Land- und Meeresgebiete und erwärmen diese Flächen verschieden stark. Diese geben die aufgenommene Sonnenenergie an die unteren Luftschichten wieder ab.

Die Luft erwärmt sich von unten nach oben und kühlt sich nachts in entsprechender Weise von unten nach oben wieder ab.

Wir legen ein Thermometer erst auf einen von der Sonne beschienenen Steinboden, dann auf Grasboden und beobachten einen Temperaturunterschied. Wir stellen die Temperatur der bodennahen Luftschicht über dem Grasboden in den frühen Morgenstunden fest und vergleichen diesen Wert mit den Angaben eines in einiger Höhe über dem Erdboden am Fenster angebrachten Thermometers. Auch hierbei fallen uns wieder Temperaturunterschiede auf.

Will man die wahre *Lufttemperatur* feststellen, so muß man den Strahlungseinfluß der Sonne bei der Messung ausschalten; denn ein von der Sonne bestrahltes Thermometer gibt die Temperatur der erwärmten Glas- und Metallteile des Thermometers wieder und nicht die der Luft. Wir dürfen also ein Thermometer, mit dem wir die Temperatur der Luft messen wollen, nie unmittelbar den Sonnenstrahlen aussetzen. Deshalb hängt man auf den *Wetterwarten* die Thermometer in luftige, weißgestrichene Holzkästen, sogenannte *Wetterhütten*, die auf etwa 2 m hohen Pfählen ruhen (Abb. 198). Durch die jalousieartig durchbrochenen Wände der Hütte kann der Wind leicht hindurchstreichen; die Instrumente sind gegen Sonnenstrahlen, starken Wind und Niederschläge geschützt.

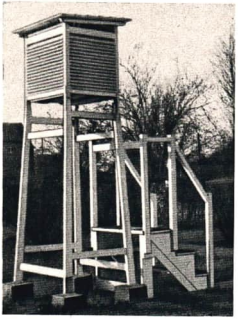


Abb. 198
Wetterhütte der Wetterwarte Dresden

Auch Regen und Tau müssen vom Thermometer ferngehalten werden. Um den Grund hierfür zu erkennen, befestigen wir an der Thermometerkugel ein feuchtes Mulläppchen und hängen das feuchte Thermometer neben ein trockenes. Wir beobachten einen Temperaturunterschied zwischen beiden Thermometern. Ein *feuchtes Thermometer* wird im allgemeinen eine niedrigere Temperatur anzeigen als ein *trockenes*, da ein Teil des der Thermometerkugel anhaftenden Wassers verdunstet und zur

Verrichtung dieser Arbeit dem Thermometer Wärme entzieht (vgl. Lehrbuch der Physik für das 6. Schuljahr § 18, 3). Die eintretende Abkühlung ist um so stärker, je schneller das Wasser verdunstet, d. h. je trockener die Luft und je lebhafter die Luftbewegung ist.

Um uns über den Temperaturverlauf während eines Tages zu unterrichten, lesen wir regelmäßig zu bestimmten Zeiten die Temperatur an einem Thermometer ab. Wir hängen es zweckmäßigerweise an die Nordseite des Hauses, die von den Sonnenstrahlen nicht getroffen wird. Die Temperatur tragen wir in ein *Beobachtungsheft* ein. Auf der Wetterwarte wird die Temperatur regelmäßig in bestimmten Zeitabständen, in der Regel alle 3 Stunden, abgelesen. Die beigefügte Tabelle gibt ein Beispiel dafür:

Verlauf der Temperatur in Dresden-Wahnsdorf, 21. Juli 1950:

Zeit h	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Temp. ° C	17,3	15,3	16,3	23,3	26,2	28,2	27,0	22,7	19,6

Abb. 199 zeigt uns denselben Temperaturverlauf in graphischer Darstellung.

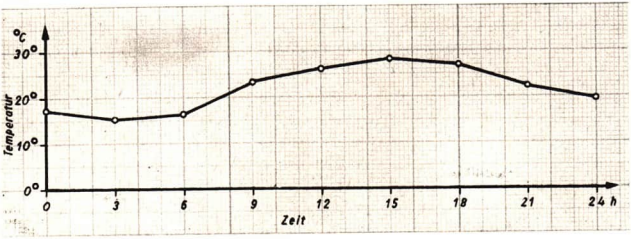


Abb. 199. Temperaturverlauf am 21. Juli 1950 auf der Wetterwarte in Dresden-Wahnsdorf

Die Erfahrung lehrt, daß die höchste Temperatur des Tages nicht um 12 Uhr erreicht wird, wenn die Sonne am höchsten steht, sondern erst am frühen Nachmittag. In gleicher Weise wird die tiefste Temperatur nicht um Mitternacht, sondern in den frühen Morgenstunden gemessen.

2. Der Luftdruck. Der Torricellische Versuch zeigt, daß der Luftdruck einer Quecksilbersäule von 760 mm Länge das Gleichgewicht hält (vgl. § 17, 3). Dieser als *Normaldruck* bezeichnete Luftdruck stellt aber nur einen Durchschnittswert dar. Denn in der unsere Erde umgebenden Lufthülle treten infolge unterschiedlicher Erwärmung und Abkühlung von Land- und Meergebieten und infolge von Wettervorgängen Luftdruckschwankungen auf. Infolgedessen schwankt auch der Luftdruck fortwährend.

Auf den Wetterwarten wird der Luftdruckverlauf von registrierenden Barometern, den *Barographen*, selbsttätig aufgezeichnet. Die Luftdruckänderungen werden wie bei den gebräuchlichen Dosenbarometern (vgl. Abb. 121) von luftleer gepumpten, aus dünnem, gewelltem Blech angefertigten Dosen angezeigt. Zur Erhöhung der Empfindlichkeit ist aber ein Barograph nicht mit einer einzelnen Dose,

sondern mit einem ganzen Dosensatz ausgestattet (Abb. 200). Über einen Hebelarm, an dem eine Schreibvorrichtung angebracht ist, werden die Luftdruckänderungen auf eine mit einem Papierstreifen bespannte Trommel übertragen und zeichnen dort eine Kurve auf. Die Trommel wird von einem Uhrwerk getrieben und hat eine Umlaufzeit von 24 Stunden oder 7 Tagen. Eine solche Luftdruckaufzeichnung ist in Abb. 201 dargestellt. Deutlich erkennt man den wellenförmigen Verlauf des Luftdruckes mit seinen Höhen und Tiefen

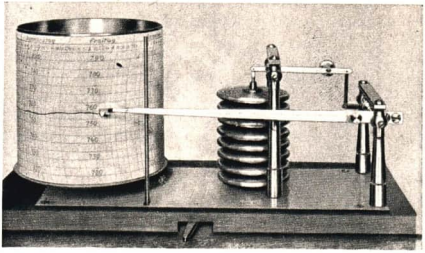


Abb. 200. Barograph
In der Mitte sieht man die Druckdosen, rechts das Hebelwerk zur Betätigung der Schreibvorrichtung, links die Schreibtrommel.

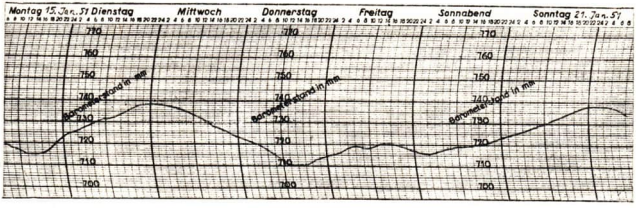


Abb. 201. Luftdruckgang in Dresden-Wahnsdorf in der Zeit vom 15.1.51 bis 21.1.51

Da der Luftdruck auch von der Höhenlage des Beobachtungsorts abhängig ist (vgl. § 17,4), wird die Luftdruckablesung stets auf die Höhe des Meeresspiegels (Höhe Normalnull = 0 m N. N.) umgerechnet, ehe der Luftdruck in die Wetterkarte eingetragen wird. Orte mit gleichem Barometerstand werden in der Wetterkarte durch Linien miteinander verbunden. Man bezeichnet diese Linien als Linien gleichen Druckes oder als **Isobaren**. Es zeichnen sich auf diese Weise Gebiete ab, über denen ein hoher, und Gebiete, über denen ein niedriger Luftdruck herrscht. Man unterscheidet dementsprechend **Hochdruckgebiete** und **Tiefdruckgebiete**.
In wissenschaftlichen Veröffentlichungen verwendet man als Einheit des Luftdrucks nicht mehr die Einheit mm Quecksilbersäule. Da das Millimeter eine Längeneinheit und keine Druckeinheit ist, benutzt man an seiner Stelle als Druckeinheit das *Millibar*[1] (mb).

750 mm Quecksilbersäule entsprechen 1000 Millibar.

[1] barýs (griech.) = schwer

3. Die Luftströmungen. Die Luft wird über der Erde verschieden stark erwärmt. In den Gegenden, wo eine stärkere Erwärmung der Luft stattfindet, z. B. im Sommer über dem Festland, dehnt sich die Luft aus. Ihre Wichte wird dadurch geringer, die Luft steigt empor. In größeren Höhen fließt sie dann seitlich ab, während von unten her kühlere Luft nachströmt, z. B. im Sommer vom kühleren Meer her. An windstillen Tagen kann man bei einem rauchenden Schornstein zuweilen beobachten, daß der warme Rauch zunächst senkrecht hochsteigt, dann aber in größeren Höhen seitlich abbiegt. Solche Luftströmungen, die durch die unterschiedliche Erwärmung und Abkühlung des Untergrundes hervorgerufen werden, treten in der Natur über kleineren wie über größeren Gebieten auf. Wir denken dabei an Staubwirbel über heißen Sandstellen oder an den Kreislauf der Luft zwischen Berg und Tal, Land und See.

Da Warmluft eine geringere Wichte hat als Kaltluft, herrscht über den von Warmluft bedeckten Gebieten stets ein niedrigerer Luftdruck als über den benachbarten Kaltluftgebieten. Über einem Warmluftgebiet kommt es deshalb zur Ausbildung eines Tiefdruckgebietes, eines *Wärmetiefs*, über den Kaltluftgebieten entsteht dagegen ein Hochdruckgebiet, ein *Kältehoch*. Zwischen den Gebieten verschiedenen Luftdrucks kommt es zu einem Druckausgleich. Die dadurch hervorgerufenen Luftströmungen bezeichnet man als *Winde*. Auf der Erde wehen die Winde entsprechend dem Luftdruckgefälle stets aus einem Hoch in ein benachbartes Tief. Je größer das Druckgefälle ist, desto stärker sind die Winde.

Wind ist strömende Luft.

Man bezeichnet den Wind nach der Richtung, aus der er weht. So heißt der von Osten her wehende Wind Ostwind, der von Westen kommende Westwind usw. Die Windrichtung beobachtet man mit Hilfe einer *Windfahne* (Abb. 202). Die Stellung der Windfahne zu dem darunter angebrachten und nach Norden weisenden *Richtungskreuz* zeigt die Windrichtung an. Die Windstärke wird auf den Wetterwarten mit besonderen *Schalenkreuz-Windstärkemessern* bestimmt (siehe Abb. 203). Der Wind findet Widerstand in den hohlen Halbkugeln und versetzt das Schalenkreuz in Drehung. Diese Drehbewegung wird auf ein darunter befindliches Zählwerk übertragen, an dem man die Windgeschwindigkeit in Metern je Sekunde ablesen kann. Falls keine Windstärkemesser vorhanden sind, kann man die Windstärke auch nach den Auswirkungen des Windes auf die Bewegung von Windfahnen, Wasserflächen, Bäumen und nach den von ihm verursachten Schäden schätzen. Die *Windstärkeskala* umfaßt 12 Stärkegrade von Windstärke 0 (Windstille) bis Stärke 12 (Orkan). Die beigefügte Tafel gibt nähere Einzelheiten an.

Abb. 202. Windfahne

Abb. 203. Schalenkreuz-Windstärkemesser

Windstärketafel:

Bezeichnung	Windstärke	Geschwindigkeit in m/s	Geschwindigkeit in km/h	Auswirkungen des Windes
Windstille	0	unter 0,3	unter 2	Rauch steigt gerade empor
Leichter Wind bis leichte Brise	1 bis 2	0,3 bis 3	1 bis 12	bewegt Windfahnen und leichte Wimpel; Blätter säuseln
Schwache bis mäßige Brise	3 bis 4	3 bis 7	12 bis 26	bewegt Blätter und dünne Zweige, hebt Staub und Papier
Frische Brise bis starker Wind	5 bis 6	7 bis 12	26 bis 44	bewegt stärkere Zweige, kleine Laubbäume beginnen zu schwanken; wirft leichte Wellen
Steifer bis stürmischer Wind	7 bis 8	12 bis 18	44 bis 65	fühlbare Behinderung beim Gehen, bricht Zweige von den Bäumen; wirft stärkere Wellen
Sturm bis schwerer Sturm	9 bis 10	18 bis 25	65 bis 90	bricht stärkere Äste, entwurzelt Bäume, beschädigt Dächer
Orkanartiger Sturm bis Orkan	11 bis 12	über 25	über 90	richtet schwere Schäden in Wäldern und an Gebäuden an

4. Luftfeuchtigkeit und Niederschläge. Im Winter kann man bei niedriger Außentemperatur die in der ausgeatmeten Luft enthaltene Feuchtigkeit als kleine Wolke vor dem Munde sehen. Wir hauchen gegen eine kalte Fensterscheibe und betrachten die behauchte Stelle mit einem Vergrößerungsglas. — Ein mit Eiswasser gefülltes Glas beschlägt außen, wenn man es in eine warme Stube bringt. Kochsalz wird bei langem Stehen an der Luft feucht. Man sagt, es zieht Wasser an.

In der Luft ist stets Wasser in Dampfform als Luftfeuchtigkeit enthalten. Der Wasserdampf selbst ist unsichtbar.

Die sogenannten Dampfwolken, die dem Schornstein der Lokomotive entströmen, oder der Dampf, den wir in der Waschküche und beim Kochen beobachten, sind in Wirklichkeit gar keine Dämpfe. Es handelt sich hier um bereits verdichteten Wasserdampf. Es ist in physikalischer Hinsicht ungenau, wenn man hier von Dampf spricht; denn dieser „Dampf" ist flüssiges Wasser und besteht wie die Wolken oder der Nebel aus kleinen Wassertröpfchen.

Wenn eine Tröpfchenbildung einsetzen soll, müssen in der Luft kleinste Teilchen wasseranziehender Stoffe vorhanden sein, an die sich die Wasserdampfteilchen anlagern. Derartige *Kondensationskerne* sind aus Verbrennungsrückständen in der Luft stets in genügender Zahl enthalten. So erklärt es sich, daß in den Industriegebieten und in den Großstädten Nebel besonders häufig sind. Diese Teilchen sind so klein, daß sie selbst im Mikroskop nicht sichtbar sind. Die größtmögliche Wasserdampfmenge, die trockene Luft aufnehmen kann, hängt von der Lufttemperatur ab. Ein Kubikmeter Luft von 0 °C kann höchstens 4,6 g Wasser in Dampfform aufnehmen, ein solcher von 20 °C höchstens 17,3 g. Ist dieser Höchstbetrag erreicht, so ist die Luft mit Wasserdampf *gesättigt*. Man bezeichnet die Temperatur, bei welcher Sättigung eintritt, als den *Taupunkt*.

Kühlt sich in den frühen Morgenstunden die bodennahe Luftschicht bis zum Taupunkt ab, so verdichtet sich der in der Luft vorhandene Wasserdampf an den Grashalmen und Blättern zu kleinen Wassertröpfchen; es entsteht ein Niederschlag. Wir bezeichnen ihn als *Tau*, bei Temperaturen unter 0 °C als *Reif*. Wird in den höheren Luftschichten der Taupunkt erreicht, so bilden sich *Wolken*. Diese setzen sich aus kleinen Wassertröpfchen zusammen, bei Temperaturen unter 0 °C aus kleinen Eiskristallen. Sie werden von der Luftströmung am Fallen gehindert und können sich lange Zeit in der Luft schwebend halten. Tritt Abkühlung bis zum Taupunkt in den unteren Luftschichten ein, so bildet sich *Nebel*. Nebel ist nichts anderes als eine tiefliegende Wolke; er besteht wie die Wolken aus kleinen Wassertröpfchen.

Wir unterscheiden an den Wolken zwei Hauptformen und betrachten zuerst die tiefen Wolken.

Abb. 204. Haufenwolken (Schönwetter-Kumulus)

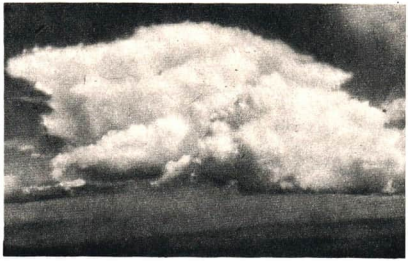


Abb. 205. Gewitterwolken (Kumulonimbus)

1. Haufenwolken (Kumulus — Abb. 204) sind aufquellende, hochgetürmte Wolkenmassen mit kuppelförmiger, blumenkohlähnlicher oberer Begrenzung. Die untere Grenzfläche ist glatter und von einheitlicher Form; sie liegt bei einer Höhe von etwa 1000 m. **Gewitterwolken** (Abb. 205) sind ebenfalls hoch aufgetürmte Haufenwolken, deren obere Grenze meist einen amboßähnlichen Wolkenschirm zeigt.

2. Schichtwolken (Stratus — Abb. 206) bilden eine gleichmäßig graue Wolkendecke in 500 bis 1000 m Höhe. Etwas dichter zusammengeballt sind die eigentlichen **Regenwolken** (Nimbostratus), dichte, formlose Wolken mit verwaschener und zerfaserter unterer Begrenzung, die oft in Fetzen bis zum Erdboden herabreicht.

Abb. 206. Schichtwolken (Stratus), von der untergehenden Sonne beschienen

Abb. 207. Schäfchenwolken (Altokumulus)

Abb. 208. Federwolken (Zirrus)

Die Untergrenze der mittelhohen Wolken liegt bei 3000 bis 4000 m, die der hohen Wolken oberhalb 8000 m. Bei diesen Wolkenarten treten ebenfalls flocken- (Kumulus-) und schichtartige (Stratus-) Wolkenformen auf. Die bekanntesten mittelhohen Wolken sind die **Schäfchenwolken** (Altokumulus), kleine, weiße, flockenartige Wolkenballchen (Abb. 207). Beobachtet man an der Obergrenze dieser Wolken in den Morgenstunden kleine turmartige Auswüchse, so sind in den Nachmittagsstunden mit ziemlicher Sicherheit Gewitter zu erwarten.

Die hohen Wolken oder **Federwolken** (Zirrus — Abb. 208) bestehen aus Eiskristallen. Ihre faserigen, hakenförmigen Gebilde und silbrig glänzenden Wolkenschleier zeigen oft eine beginnende Eintrübung an.

Werden die Wassertröpfchen oder Eiskristalle in den Wolken so groß, daß sie sich nicht mehr schwebend halten können, so fallen sie je nach der Temperatur der unteren Luftschichten als **Schnee** oder **Regen** zur Erde. Vereinigen sien bei Temperaturen unter 0 °C Schneekristalle mit Regentropfen, so entstehen **Graupeln** oder **Hagel.** Platzregenartig einsetzende Regenfälle aus aufquellenden Haufenwolken bezeichnet man als *Regenschauer.*

Die Luftfeuchtigkeit wird auf der Wetterwarte mit einem *Feuchtigkeitsmesser*, meist einem *Haarhygrometer* (Abb. 209), festgestellt. Als besonders empfindlich gegenüber Feuchtigkeitsänderungen haben sich entfettete Menschenhaare erwiesen. Die Zellen des Haares dehnen sich in feuchter Luft aus und ziehen sich bei trockener Luft zusammen. Aus den Längenänderungen des Haares kann man somit auf den Sättigungsgrad der Luft mit Wasserdampf schließen. Dieses Gerät wird ebenfalls in der Wetterhütte aufgestellt.

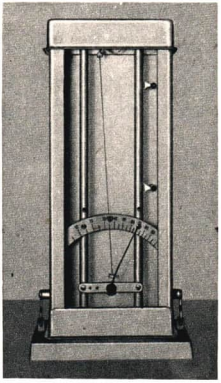


Abb. 209. Haarhygrometer

Ein Haar wird durch eine federnd gelagerte Zeigerwalze gespannt.

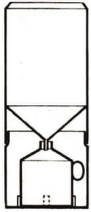


Abb. 211
Senkrechter Schnitt durch einen Regenmesser (schematisch)

Abb. 210
Regenmesser

Die Niederschlagsmengen werden mit einem *Regenmesser* (Abb. 210) ermittelt. Der Regen oder Schnee fällt in den trichterförmigen Einsatz eines Blechgefäßes und gelangt bei den neueren Regenmessern durch eine kleine Öffnung in eine daruntergestellte Kanne (Abb. 211). Aus ihr kann das Niederschlagswasser nur schwer verdunsten. Beim Messen wird das in der Kanne befindliche Regenwasser in ein Meßglas umgegossen. Dieses ist so eingerichtet, daß die Maßzahl der in Millimetern abgelesenen Regenhöhe gleich der Maßzahl der in Litern gemessenen Regenmenge ist, die auf ein Quadratmeter niedergegangen ist. Da 1 l Wasser, auf eine Fläche von 1 m² ausgebreitet, genau 1 mm hoch steht, ersieht man daraus, wie hoch das Wasser den Boden bedecken würde, wenn es nicht verdunstet, versickert oder abläuft.

5. Fragen und Aufgaben:

1. Unter welchen Umständen wird man an einem trockenen und einem feuchten Thermometer gleiche Temperaturen ablesen? Vergleiche dazu S. 137!
2. Miß einen Monat lang täglich die Temperatur um 8 Uhr und trage die Temperaturwerte in ein Beobachtungsheft ein! Errechne daraus die *durchschnittliche Morgentemperatur* des Monats!
3. Stelle fest, wieviel *Frosttage* (tiefste Temperatur unter 0° C), *Eistage* (höchste Temperatur unter 0° C) im Laufe eines Winters auftreten! Ebenso wieviel *Sommertage* (Temperaturen über 25° C) und wieviel *heiße Tage* (Temperaturen über 30° C) im Laufe eines Sommers auftreten!
4. Wie kommt es, daß bei sonst windstillem, sonnigem Wetter an der Meeresküste vormittags eine Luftströmung vom Meere zum Land, abends die umgekehrte Luftströmung auftritt?
5. Lies eine Woche, einen Monat lang täglich um 7 Uhr, 14 Uhr, 21 Uhr den Luftdruck ab und trage die festgestellten Werte in ein Beobachtungsheft ein!
6. Wieviel Millibar entsprechen 760 mm Quecksilbersäule?
7. Rechne den Stand eines Dosenbarometers an deinem Wohnort auf die Höhe des Meeresspiegels um! Vergleiche dazu § 17,4!
8. Rechne eine Niederschlagsmenge mit einer Niederschlagshöhe von a) 8 mm, b) 15 mm, c) 12 mm um in u) Liter je Quadratmeter, v) Hektoliter je Hektar, w) Kubikmeter je Quadratkilometer!

§ 28. Die Wettervorhersage

1. Die Wetterwarte – Die Entstehung der Wetterkarte. An den Wetterwarten werden regelmäßig zu festgesetzten Zeiten die Elemente des Wetters (s. § 27) beobachtet und die entsprechenden Messungen durchgeführt. Es genügt nicht, die Beobachtungen gelegentlich zu machen; sie müssen fortlaufend am Tage und in der Nacht angestellt werden. Auf der nördlichen Halbkugel der Erde gibt es allein rund 3000 *Wetterwarten*, die alle drei Stunden Wetterbeobachtungen vornehmen. Auf dem Meer sind dafür an bekannten Standorten *Wetterschiffe* eingesetzt.

Ferner gibt es noch *Höhenaufstiegsstationen*, durch die täglich die Temperatur, der Luftdruck, die Luftfeuchtigkeit und der Wind bis in große Höhen (15 bis 20 km) gemessen werden. Die dazu benötigten Instrumente werden in einen kleinen Behälter verpackt und von einem *Freiballon* (Abb. 212) in die Höhe getragen. Eine vom Ballon getragene *Radiosonde* übermittelt die Meßwerte bereits während des Aufstieges drahtlos an die Bodenstation.

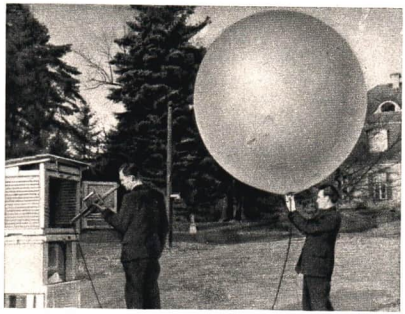


Abb. 212. Radiosonde mit Ballon auf der Wetterwarte Dresden-Wahnsdorf kurz vor dem Start. Die Meßgeräte werden unmittelbar vor dem Aufstieg mit den in der Wetterhütte befindlichen Instrumenten verglichen.

Sämtliche Wetterbeobachtungen werden nach einheitlichen Vorschriften durchgeführt und in ein *Wettertagebuch* eingetragen. Sie werden nach einem bestimmten Zahlenschema verschlüsselt und von der Wetterwarte telegraphisch an die nächste *Wettersammelstelle* weitergeleitet. Für die Deutsche Demokratische Republik befindet sich die Wettersammelstelle in Potsdam. Von der Wettersammelstelle werden die Wettermeldungen funkentelegraphisch ausgestrahlt. Die größeren Wetterwarten in Europa und Übersee können diese Meldungen dann mit ihren Funkaufnahmegeräten aufnehmen und in die großen *Arbeitswetterkarten* (vgl. Abb. 197) eintragen. Diese Karten werden laufend alle 6 Stunden gezeichnet. Die Wetterforscher oder *Meteorologen* haben die Aufgabe, aus der Wetterkarte die Wetterentwicklung für den folgenden Tag und die Aussichten für den übernächsten Tag vorherzusagen. Sie verfolgen dabei aufmerksam die Änderung der Luftdruckverteilung im Zusammenhang mit den *Höhenwetterkarten*, in die die Meßergebnisse der Radiosondenstationen eingetragen werden. Diese Wetterkarten enthalten die Richtung und Stärke der Luftströmungen in 5 und 10 km Höhe.

2. Die Wetterkarteneintragung. Auf dem Wetterkartenvordruck ist jede Station durch einen kleinen Kreis und eine Nummer gekennzeichnet (z. B. Dresden 486). In diesem Kreis wird die *Bewölkungsmenge* durch bestimmte Zeichen markiert.

Windrichtung und Windstärke werden durch befiederte Pfeile dargestellt. Diese sind mit ihren Spitzen, die in der Wetterkarte der Einfachheit halber fortgelassen sind, gegen die *Stationskreise* gerichtet. Die Windstärke ergibt sich aus den seitlich an den Pfeilen angebrachten kleinen und großen Strichen. Ein kleiner Strich entspricht einem Stärkegrad, ein großer Strich zwei Stärkegraden der 12teiligen Windstärketafel (s. Tafel auf S. 141).

Zeichen in den Wetterkarten

Es bedeuten:

○ wolkenlos, ◔ heiter, ◑ wolkig,
◕ stark bewölkt, ● bedeckt, ⊗ Wolken aufliegend (Nebel);
Windstille, Nordost Stärke 1, Südwest Stärke 2,
Nord Stärke 5.

Die Zahl neben dem Stationskreis zeigt die Temperatur der Luft in °C an. Darunter finden wir Angaben über den zur Zeit der Beobachtung herrschenden Wetterzustand.

∞ Dunst, ≡ Nebel, , Sprühregen, . Regen,
* Schnee, ∴ * Regen- bzw. Schneeschauer, ⊼ Gewitter.

Die Isobaren (vgl. S. 139) werden im Abstande von 5 zu 5 Millibar gezeichnet.

Außerdem enthalten die Wetterkarten noch besonders markierte Linien. Es handelt sich dabei um die Grenzen verschieden temperierter Luftmassen. Man bezeichnet diese Grenzen als *Fronten*:

Warmfront, Kaltfront.

Wie wir aus den folgenden Abschnitten erkennen werden, sind die Wettervorgänge an diesen Fronten für die Wettervorhersage von besonderer Bedeutung.

3. Luftmassen und Fronten. Die Forschungen der Meteorologen haben ergeben, daß das Wetter in einem Gebiet in erster Linie durch den *Charakter der Luftmassen* bestimmt wird, die über das Gebiet hinwegziehen. Diese Luftmassen (*Warmluft — Kaltluft; Festlandsluft — Meeresluft*) besitzen charakteristische Eigenschaften, die sich nicht nur auf die Lufttemperatur, sondern auch auf andere Wetterelemente, wie Luftfeuchtigkeit, Bewölkung u. a. m., beziehen.
Die Luftmassen ändern diese Eigenschaften auf dem Wege von ihren Ursprungsgebieten nur wenig. So bekommen wir im Sommer, wenn Warmluft aus dem Mittelmeergebiet nach Norden vordringt, auch in Mitteldeutschland einen Begriff von der in südlichen Breiten herrschenden drückenden Schwüle (Treibhausluft). Im Winter dagegen bringt mitunter ein Einbruch polarer Kaltluft mit frischen Ost- oder Nordostwinden eisige, schneidende Kälte. Derartige Luftmassenwechsel verursachen beim Durchgang der Fronten oft im Zeitraum von wenigen Stunden oder gar Minuten (Gewitterfront) eine vollständige Wetteränderung.

Wird wärmere Luft herangeführt und setzt sich diese allmählich bis zum Boden durch, so beobachtet man die Wettererscheinungen einer Warmfront. Bei lang-

sam zunehmender, später geschlossener Bewölkung, ansteigenden Temperaturen und fallendem Luftdruck tritt verbreitet Landregen auf.

Wird die Warmluft wieder durch Kaltluft verdrängt, so beobachten wir beim Durchzug der Kaltfront folgenden Wetterablauf: steigenden Luftdruck, Temperaturrückgang, die Wolkendecke lockert auf, aus den hochreichenden Quellwolkentürmen kommt es zu platzregenartigen Schauern oder sogar zu einer Gewitterbildung. Derartige Frontendurchgänge treten besonders beim Durchzug von Tiefdruckgebieten auf.

In den Hochdruckgebieten, die manchmal tage- oder wochenlang unser Wetter bestimmen können, herrscht dagegen vielfach ruhiges und beständiges Wetter. Im Sommer ist es heiter und sehr warm, im Winter bei tiefen Temperaturen neblig trüb.

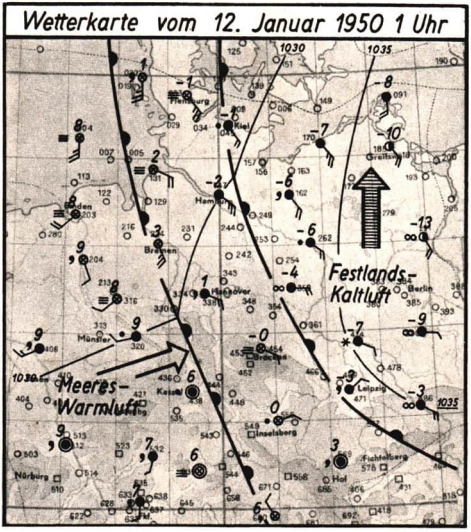


Abb. 213. Wetterkarte von Nord- und Mitteldeutschland

Die in Abb. 213 dargestellte Wetterkarte ist ein vergrößerter Ausschnitt aus der in Abb 197 wiedergegebenen. Sie zeigt eine Winterwetterlage (Januar 1950) mit besonders starken Luftmassenunterschieden über Deutschland. Eine Warmfront zieht sich, etwa dem Laufe der Weser folgend, nach Süden und grenzt die von Südwesten einströmende Meereswarmluft gegen die zwischen Weser und Elbe liegende kalte Mischluft ab. Diese bildet wiederum eine Grenze mit einer weiteren Warmfront gegen die extrem kalte Festlandskaltluft. Während im Rheinland die Temperaturen um Mitternacht +9°C betragen, werden im Odergebiet Temperaturen bis zu −13°C gemessen. Im Frontenbereich kommt es über Mittel- und Norddeutschland mit dem einsetzenden Sprühregen verbreitet zu Glatteisbildung.

4. Der Wetterdienst. Unter Zugrundelegung der großräumigen Wetterkarten nach Art von Abb. 197 und der Höhenströmungskarten und unter Berücksichtigung der auf wissenschaftlichen Beobachtungen beruhenden Wettererfahrungen können die Meteorologen die Wetterentwicklung für die nächsten 2 Tage mit ziemlicher Sicherheit vorhersagen. Diese Wettervorhersagen werden von den *amtlichen Wetterdienststellen* (Meteorologischer Dienst der Deutschen Demokratischen Re-

publik) täglich veröffentlicht und erscheinen im Druck als *Wetterkarte* und *Wetterbericht*. Die Tageszeitungen und der Rundfunk bringen regelmäßig Wettervorhersagen. Eine solche Vorhersage hat nichts gemeinsam mit dem Aberglauben, daß das Wetter vom Stande der Gestirne und des Mondes abhängig sei. Die daraus abgeleiteten Wetterregeln entbehren jeder wissenschaftlichen Grundlage und haben für die Wetterforschung keine Bedeutung. Das gleiche gilt für den sogenannten hundertjährigen Kalender, dessen Wetterangaben sich als Fälschungen erwiesen haben und für die Wettervorhersage wertlos sind.

Anders dagegen sind die Aussagen über bestimmte, *jahreszeitlich gebundene Wettererscheinungen* zu werten. Die sich darauf beziehenden Wetterregeln beruhen auf jahrhundertelanger Erfahrung und sind als Durchschnittsangaben anzusehen. Solche sich in Mitteleuropa mit großer Regelmäßigkeit einstellenden Wetterlagen sind der sogenannte *Nachwinter* Mitte Februar, das *Aprilwetter*, die als die *Eisheiligen* bekannten Kälterückfälle Mitte Mai, die *sommerliche Abkühlung* Mitte Juni, die als *Hundstage* bekannte Hitzeperiode Ende Juli und Anfang August, die herbstliche Schönwetterlage des *Altweibersommers* Ende September, das *Weihnachtstauwetter* Ende Dezember. Aber auch diese jahreszeitlich bedingten Wettererscheinungen ermöglichen keine Wettervorhersage über längere Zeiträume, über Wochen oder gar Monate. Wissenschaftlich gesicherte langfristige Wettervorhersagen werden nur in besonderen Einzelfällen auf Grund umfangreicher Untersuchungen und Berechnungen vorgenommen und veröffentlicht. Sie enthalten auch dann nur die Grundzüge des Wetterablaufs in der Vorhersagezeit, keineswegs aber Einzelheiten des Wetters bestimmter Tage.

5. Fragen und Aufgaben:

1. Gib dir bekannte Wetterregeln an und nimm kritisch dazu Stellung!
2. Für welche Zweige unseres Wirtschaftslebens ist die Wettervorhersage besonders wichtig? Warum?
3. Lege ein Wettertagebuch an und trage die Beobachtungen nach folgendem Muster ein:

   Beobachtungsort ..... Höhe über dem Meeresspiegel .....

Datum	Uhrzeit	Luftdruck			Temperatur	Windrichtung	Windstärke
		mm	bezogen auf N. N.	mb			
16. 1. 51	8 h	740	763	1017	14	NW	4

Art der Bewölkung	Bewölkungsmenge	Wetter zur Zeit der Beobachtung	Wetterkartenintragung
tiefe Schichtbewölkung (Stratus)	bedeckt	Regen	14 / 1017

4. Gib an Hand der in Abb. 213 dargestellten Wetterkarte an, welches Wetter an folgenden Orten herrscht: Greifswald, Hannover, Emden, Kassel!

Sachverzeichnis

Abbe, Ernst 49
Ablenkprisma 49
Aderhaut des Auges 31
Adhäsion 128 u. ff.
Adhäsionskraft 129
Altersweitsichtigkeit 34
Altokumulus 143
Aräometer 79
Arbeit, physikalische 131 u. ff.
Arbeitsdiagramm 133
Archimedes 76
Archimedisches Gesetz 76, 79
Astrograph 50
Astronomisches Fernrohr 50
Atmosphäre, technische (at) 66, 82, 87
—, physikalische (Atm) 87
Atmosphären-Überdruck (atü) 93
Atome 127 u. ff.
Aufdruck 73
Auftrieb 75 u. ff.
Auge 31 u. ff.
Augenlinse 31 u. f., 34
Autoklave 92

Balkenwaage 59, 100
Barograph 138 u. f.
Barometer 87 u. f., 138
Beharrungsvermögen 118 u. f.
Beleuchtungsstärke 41 u. ff.
Beschleunigung 116
Bewegung 116 u. ff.
—, beschleunigte 116 u. f.
—, gleichförmige 116
—, ungleichförmige 116
—, verzögerte 116
Bikonkavlinse 27
Bikonvexlinse 27, 29
Bild, reelles 18 u. f., 29, 48, 51
—, virtuelles 15, 19, 21, 29 u. f., 47, 51
Bildentstehung 18 u. f., 29
Bildkonstruktion 18, 30
Bildweite 30
Bildwerfer 44 u. ff.
Blende 9, 40, 52
Block (beim Flaschenzug) 106
Bodendruck 70, 73
Bodendruckkraft 69 u. f., 73
Bodenventil 89
Brechstange 97
Brechungsgesetz 23, 25
Brechungswinkel 23 u. ff.
Brennpunkt 16 u. ff., 28
Brennpunktsstrahlen 17 u. f., 28
Brennweite 17, 28 u. f.
Briefwaage 101
Brille 33 u. f.
Brücke (bei Waagen) 103

Cartesianischer Taucher 80
Ciliarmuskel 31 u. f.

Dampfdruck 91 u. f.
Deckglas 48
Dezimalwaage 102 u. f.
Diaskop 44, 46
Dosenbarometer 88, 138
Drehbewegung 119
Dreiwegehahn 85
Druck 66 u. ff.
Druckfeder 56
Druckkraft 66 u. ff.
Druckmesser 82
Druckpumpe 89 u. f.
Drucksonde 73
Druckübertragung 67 u. f.
Druckzylinder 69, 81

Eigenschatten 7
Einfallslot 13 u. f., 23 u. ff.
Einfallswinkel 14, 23 u. ff.
Elastizitätsgrenze 57
Epidiaskop 45 u. f.
Erdabplattung 121
Ergänzungsfarben 54
Erhabene Spiegel 21

Fadenzähllupe 47
Fahrrad 122 u. ff.
Fall, freier 117
Fallrinne 117
Feder, elastische 56 u. f.
Federwaage 56 u. ff., 99, 105
Federwolke 143
Feldstecher 51
Fernrohr 50 u. f.
Festlandsluft 146
Feuchtigkeitsmesser 143
Fischlogger 78
Fixstern 6
Flaschenzug 105 u. ff.
Fliehkraft 120 u. f.
Fünfjahrplan 49, 71 u. f., 125

Ganghöhe 113
Gegenstandsweite 30
Geiser 92
Geschwindigkeit 116 u. ff.
Geschwindigkeitseinheit 118
Geschwindigkeitsmesser 108, 116
Gewicht 57 u. ff.
Gewichtseinheiten 58
Gewichtssatz 100
Gewichtsstück 59
Gewinde 113
—, flachgängig 113
—, scharfgängig 113
Gewitterwolke 142

Glaskörper des Auges 31
Gleichgewicht 62 u. ff.
—, indifferentes 63
—, labiles 63
—, stabiles 63
Gleichgewichtsarten 63
Gleitreibung 124
Goldene Regel der Mechanik 133 u. f.
Geradsichtmikroskop 48
Gramm (g) 58
Graphische Darstellung 24 u. f. 42, 57, 133, 138
Graupel 143
Griffstange 108
Grundfarben 53
Guericke, Otto von 84 u. ff.

Haarhygrometer 143
Haarröhrchen 129 u. f.
Hagel 143
Halbschatten 8 u. f.
Hangabtriebskraft 110 u. f.
Haufenwolke 142
Hauptstrahlen 18, 28
Hebebaum 96
Hebel 94 u. ff., 104 u. f., 109
—, einseitiger 97 u. f.
—, gleicharmiger 94, 104
—, ungleicharmiger 94, 109
—, zweiseitiger 94, 105
Hebelarm 94 u. ff.
Hebelgesetz 95
Hebelwaage 59, 99 u. f.
Heberbarometer 87
Hebevorrichtung 105 u. f.
Hefner-Alteneck, Friedrich von 43
Hefnerkerze (HK) 43
Himmelsfernrohr 50 u. f.
Hochdruckgebiet (Hoch) 139, 147
Höhenaufstiegsstationen 145
Höhenwetterkarte 145
Hornhaut des Auges 31

Indirekte Beleuchtung 12
Infrarote Strahlen 53
Innendruck 73
Iris 31 u. ff., 40
Irisblende 40
Isobare 139, 146

Kältehoch 140
Kaltfront 146
Kaltluftgebiet 140
Kapillarität 129 u. f.
Kapillarröhrchen 129
Kegelventil 81 u. f.
Kehlkopfspiegel 20
Keil 112
Kepler, Johannes 50
Keplersches Fernrohr 50 u. f.
Kernschatten 8 u. f.
Kettenrad 123
Kilogramm (kg) 58
Kilopond (kp) 58
Kilopondmeter (kpm) 132
Kilowatt (kW) 135
Kinofilm 36
Klappenventil 81 u. f.
Kleinbildkamera 39 u. f.
Kohäsion 128
Kohäsionskraft 128 u. f.
Kolbendruck 68
Kolbenventil 89
Komplementärfarben 54
Kompressor 81 u. f.
Kondensationskern 141
Kondensor 45 u. f.
Konkavkonvexlinse 27
Konkavlinse 27, 30, 33, 39
Konkavspiegel 16 u. ff.
Konvexkonkavlinse 27
Konvexlinse 27 u. ff., 39, 47 u. f., 51
Konvexspiegel 16, 21
Kopflupe 47
Körperfarben 54
Körperliches Sehen 35 u. f.
Körpermittelpunkt 62
Kraft 57 u. f.
Kraftarm 95
Kraftmesser 59
Kran 109 u. f.
Kreiselpumpe 121
Kristallinse 31
Kugellager 125
Kugelventil 81 u. f.
Kumulonimbus 142
Kumulus 142
Kurbel 108 u. f.
Kurbelwelle 81
Kurzsichtigkeit 33

Lastarm (beim Hebel) 95
Lederhaut des Auges 31
Leistung, physikalische 134 u. f.
Leitspindel 114
Lenkrad (beim Kraftwagen) 108
Lenksäule (beim Kraftwagen) 108
Leseglas 47
Leuchtstoffröhre 54
Lichtbrechung 22 u. ff.
Lichtdurchlässigkeit 6
Lichteindruck 36
Lichtgeschwindigkeit 10 u. f.
Lichtquelle, künstliche 6
—, natürliche 6
Lichtstärke 41, 43
Lichtstrahlen 7
Linse, optische 27 u. ff.
Linsenmittelpunkt 28
Linsensystem 38
Lochblende 9
Lochkamera 9 u. f.
Lokomotive 93
Lot, Senkblei 61 u. f.
Luftdruck 84 u. ff., 138 u. f.
Luftfeuchtigkeit 141
Luftgewicht 83
Luftpumpe 85 u. f.
Luftströmung 140
Lufttemperatur 137
Luftwiderstand 80 u. f.
Lumpenwaage 56
Lupe 30, 47, 49, 51
Lux (lx) 43 u. f.

Magdeburger Halbkugeln 85 u. f.
Manometer 82
Maschine 122 u. f.
—, einfache 122
—, zusammengesetzte 123
Maschinenelement 123
Masse 58 u. f., 99
Masseneinheiten 58
Mattscheibe 39
Meeresluft 146
Meßkörper 99
Metallspiegel 12
Mikroskop 5, 48 u. f.
Milchprüfer 79
Millibar (mb) 88, 139