

PHYSIK

SIEBENTES SCHULJAHR

PHYSIK

EIN LEHRBUCH
FÜR DAS SIEBENTE SCHULJAHR

Vom Licht — Von den Kräften

Mit 151 Abbildungen
Ausgabe 1958



VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

1958

Verfaßt von
Wolfgang Brunstein, Josef Fischer, Helmut Mucke,
Heinrich Paucker, Rudolf Schinkmann, Georg Sprockhoff

Zeichnungen von Kurt Dornbusch

Herausgegeben von Georg Sprockhoff

Redaktionsschluß: 1. Februar 1958

11 H Bestell-Nr. 02 702-1 · Lizenz Nr. 203 · 02 702-1/1000/58
Satz: (III/9/1) Sächsische Zeitung Dresden 3958
Druck: VEB Karl-Marx-Werk Pößneck V/15/30

Inhaltsverzeichnis

<i>I. Vom Licht (Optik)</i>	5
§ 1. Lichtquellen — Die Lichtgeschwindigkeit	5
§ 2. Die geradlinige Ausbreitung des Lichts	8
§ 3. Die Reflexion	11
§ 4. Die Lichtbrechung	18
§ 5. Optische Linsen	24
§ 6. Die photographische Kamera und das menschliche Auge	29
§ 7. Projektionsapparate	35
§ 8. Optische Geräte für Nah- und Fernbeobachtung	39
§ 9. Die Zerlegung des Lichts	47
<i>II. Von den Kräften (Mechanik)</i>	51
§ 10. Masse und Gewicht eines Körpers	51
§ 11. Die Wichte und die Dichte	56
§ 12. Der Hebel — Das Hebelgesetz	59
§ 13. Die Hebelwaagen	64
§ 14. Rollen und Flaschenzüge	68
§ 15. Das Wellrad	73
§ 16. Die schiefe Ebene	78
§ 17. Die Schraube	82
§ 18. Der Keil	86
§ 19. Das Fahrrad	90
§ 20. Einige Maschinen aus der industriellen und der landwirtschaftlichen Produktion	94
§ 21. Arbeit und Leistung	103

Quellenverzeichnis der Abbildungen

Werkphoto VEB Bodenbearbeitungsgeräte, Leipzig: Abbildung 87/1. Braunkohlenverwaltung Merseburg: Abbildung 69/2. Deutsche Reichsbahn, Zentrale Bildstelle, Berlin: Abbildung 6/1. Deutsches Zentralinstitut für Lehrmittel, Berlin: Abbildungen 36/1, 81/1, 89/3. Dewag-Werbung, Photowerkstätten: Abbildungen 8/2, 19/2, 75/1. Werkphoto VEB Fahrradwerk Elite-Diamant Karl-Marx-Stadt: Abbildungen 91/1, 92/1. Gerhart Förster, Burgstädt: Abbildung 88/2. Max Heyer, Fräser und Fräsmaschinen, Bd. 1. Leipzig: Fachbuchverlag 1953: Abbildungen 89/1, 89/2. Kurt Glaß, Brocken: Abbildung 8/1. Werkphoto VEB Hartmetallwerk, Immelborn (Thür.): Abbildung 95/2. Photo Helmerichs, Apolda: Abbildung 57/1. Carl Hühner, Auerbach im Vogtland: Abbildung 44/1. Werkphoto VEB Kinowerke, Dresden: Abbildung 32/3. Werkphoto Koch Leuchtröhren, Ilmenau (Thür.): Abbildungen 5/1, 16/3. Helmut Körner, Dresden: Abbildung 37/1a. Heinz Krüger, Berlin: Abbildung 65/2. Photokino Krütgen, Halle: Abbildungen 25/2, 39/1, 39/3, 63/1, 63/2, 63/3, 63/4, 63/5, 66/2, 67/1, 68/1, 71/4, 72/1, 72/2, 85/1, 93/1, 93/2. Werkphoto VEB Landmaschinenbau Falkensee: Abbildung 81/2. Landtechnik, Fachkunde für landwirtschaftliche Berufe, 3. bearb. Neuauflage, Berlin: Volk und Wissen Volkseigener Verlag 1957: Abbildungen 73/1, 87/2, 98/2, 99/1, 100/1, 100/2. Magistrat von Groß-Berlin: Abbildung 106/1. Werkphoto VEB Maschinen- und Apparatebau, Grimma: Abbildung 84/2. Werkphoto VEB Meßgeräte- und Armaturenwerk „Karl Marx“, Magdeburg: Abbildung 64/1. Helmut Mücke, Dresden: Abbildungen 16/1, 18/1, 19/1, 20/1a, 21/1, 30/3, 30/4, 31/2. Produktionsgenossenschaft Fototechnische Werkstätten, Berlin: Abbildungen 32/1, 33/1, 36/3, 38/2, 40/1, 53/2, 59/1, 59/2. Schwoch-Blume, „Das Bearbeiten der Metalle“, Leipzig: B. G. Teubner Verlagsgesellschaft 1954: Abbildungen 94/2, 95/1, 95/3. Werkphoto Spezialwaagenfabrik Rapido, Radebeul: Abbildung 66/3. Verkehrsbetriebe der Stadt Dresden: Abbildung 69/1. Vieweg-Rosenkranz: „Pflanzliche Produktion“, Bd. 1. Deutscher Bauernverlag: Abbildung 86/2. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Bildarchiv: Abbildungen 76/1, 77/1, 79/1. Werkphoto VEB Werk für Fernmeldewesen, Berlin: Abbildung 43/1. Werkphoto VVB Werkzeugmaschinen und Werkzeuge: Abbildungen 94/1, 96/1. Werkphoto VEB Carl Zeiss, Jena: Abbildungen 26/4, 30/1, 30/2, 31/1, 38/1, 39/2, 42/1, 42/2, 45/1. Zentralbild, Berlin: Abbildung 77/2.

Physikerbildnisse: Deutsches Museum, München: Ernst Abbe. Zentralbild, Berlin: Johannes Kepler, Isaac Newton.

I. Vom Licht (Optik*)

§ 1. Lichtquellen — Die Lichtgeschwindigkeit

I. Lichtquellen. Unsere wichtigste *Lichtquelle* ist die Sonne. Das von ihr ausgestrahlte Licht beleuchtet unsere Erde. Das gleiche gilt für den Mond. Wir können ihn sehen, weil er das von der Sonne empfangene Licht wieder zurückwirft. Die Sterne, die Blitze und das Nordlicht sind ebenfalls Lichtquellen; sie haben aber für die Beleuchtung der Erdoberfläche keine Bedeutung.



Abb. 5/1. Leuchtstoffröhren am HO-Kaufhaus in Görlitz

Damit die Menschen auch am Abend und nachts etwas sehen können, haben sie sich selbst Lichtquellen geschaffen. Früher wurden als Lichtquellen das Herdfeuer, Kienspäne, Fackeln, Talg- und Öllampen, später Petroleumlampen benutzt. Heute verwenden wir vor allem *Glühlampen* und *Leuchtstoffröhren* (Abb. 5/1 und 6/1). Die Straßen in den Städten werden jedoch noch vielfach mit *Gaslampen* beleuchtet.

Wir können einen Körper nur dann sehen, wenn er entweder selbst Licht ausstrahlt oder von einer Lichtquelle beleuchtet wird. In einem dunklen Kellerraum erkennen wir infolgedessen erst dann etwas, wenn wir ihn mit einer Lichtquelle beleuchten.

Körper, die selbst Licht aussenden, nennt man Lichtquellen.

Wir sehen Körper nur dann, wenn sie entweder selbst Licht aussenden oder von einer Lichtquelle beleuchtet werden.

2. Durchsichtige, undurchsichtige und durchscheinende Körper. Wir können durch eine Fensterscheibe hindurch die Straße, die Häuser und die Menschen auf der Straße sehen. Durch die Fensterscheibe dringen die Lichtstrahlen ungehindert hindurch. Wir bezeichnen einen solchen Körper als *durchsichtig*.

Neben den durchsichtigen Körpern gibt es auch *undurchsichtige*. Sie lassen das Licht überhaupt nicht hindurchdringen. Dazu gehören Körper aus Metall, Holz oder Pappe.

Außerdem kennen wir Körper, die zwar das Licht hindurchtreten lassen, durch die wir aber keine klare Sicht haben. Blicken wir durch dichten Nebel auf eine brennende Straßenlaterne, so können wir die Form der Lichtquelle nicht erkennen. Wir sehen die Umrisse nur undeutlich oder bemerken nur einen hellen Schein. Das gleiche beobachten wir, wenn wir eine Lichtquelle durch eine Mattglasscheibe betrachten. Körper mit diesen Eigenschaften nennen wir *durchscheinend*.

Ob ein Körper durchsichtig oder undurchsichtig ist, hängt einmal von dem Stoff ab, aus dem er besteht. Außerdem ist die Durchsichtigkeit sehr stark von der Dicke des Körpers abhängig. So sind zum Beispiel dicke Schichten aus einem durchsichtigen Stoff undurchsichtig. In großen Meerestiefen herrscht völlige Dunkelheit. Umgekehrt kann man Metalle so dünn auswalzen, daß sie durchscheinend werden. Dies ist beispielsweise bei dünnem Blattgold der Fall, wenn seine Dicke nur wenige tausendstel Millimeter beträgt.

3. Die Lichtgeschwindigkeit. Wir sehen bei einem Gewitter Blitze über den Himmel zucken. Gleichzeitig mit dem Blitz entsteht auch der Donner. Trotzdem hören wir ihn etwas später, als wir den Blitz sehen. Die Zeit, die zwischen dem Beobachten des Blitzes und dem Hören des Donners vergeht, ist um so größer, je weiter das Gewitter von uns entfernt ist. Daraus können wir schließen, daß *der Schall eine gewisse Zeit braucht*, um unser Ohr zu erreichen. Es ergibt sich nun die Frage, ob auch das Licht eine bestimmte Zeit braucht, bis es von der Lichtquelle in unser Auge gelangt.

Werden in einer langen Straße die elektrischen Straßenlampen gleichzeitig eingeschaltet, so sehen wir alle Lampen gleichzeitig aufleuchten. Diese Beobachtung darf

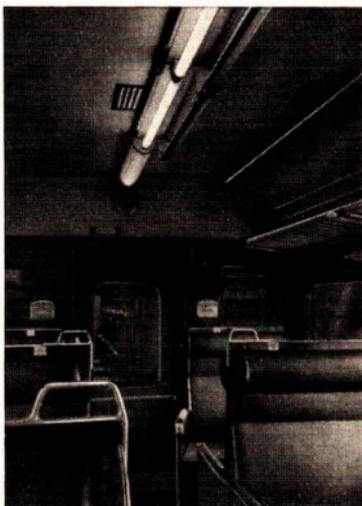


Abb. 6/1. Leuchtstoffröhren in einem D-Zug-Wagen der Deutschen Reichsbahn. Die vorderen beiden Schalen sind abgenommen.

uns aber nicht zu dem falschen Schluß verleiten, daß das Licht zum Ausbreiten keine Zeit brauche. Das Licht breitet sich nämlich so schnell aus, daß wir den äußerst geringen Zeitunterschied zwischen dem Aufleuchten der Lampen und dem Beobachten dieses Aufleuchtens nicht bemerken. Bereits vor etwa 300 Jahren konnte ermittelt werden, daß das Licht einen bestimmten Weg in einer genau angebbaren Zeit zurücklegt.

Das Licht legt in einer Sekunde einen Weg von etwa 300 000 km zurück. Man sagt: Das Licht hat eine Geschwindigkeit von etwa 300 000 Kilometern je Sekunde.

Dieser Wert wurde zuerst aus Beobachtungen am Sternenhimmel berechnet. Später schufen die Physiker Versuchsanordnungen, mit deren Hilfe man die hohe Lichtgeschwindigkeit auf der Erde und sogar im Laboratorium messen kann. Wir erkennen daraus die große Leistung der Wissenschaftler. Sie haben es gelernt, Vorgänge in der Natur zu untersuchen und zu messen, auch wenn dies früher unmöglich erschien.

Die Länge des Äquators beträgt etwa 40 000 km. Da das Licht in einer Sekunde ungefähr 300 000 km zurücklegt, so durchläuft es eine Strecke von der Länge des Äquators in einer Sekunde 7,5 mal. Durch diesen Vergleich wird uns klar, warum wir bei kurzen Entfernungen nicht feststellen können, daß das Licht eine bestimmte Ausbreitungsgeschwindigkeit hat.

4. Versuche, Fragen und Aufgaben:

1. Welche Lichtquellen sind dir bekannt? Welche Bedeutung haben sie für die Beleuchtung?
2. Nenne durchsichtige, durchscheinende und undurchsichtige Körper! Ordne diese Körper in die folgende Übersicht ein!

	durchsichtige Körper	durchscheinende Körper	undurchsichtige Körper
fest			
flüssig			
gasförmig			

3. Gib Beobachtungen an, die zeigen, daß sich das Licht mit einer wesentlich größeren Geschwindigkeit als der Schall ausbreitet!
4. Wieviel Tage würde ein D-Zug für die Strecke brauchen, die das Licht in einer Sekunde durchheilt? Der D-Zug soll in einer Stunde einen Weg von 100 km zurücklegen.
5. In welcher Zeit gelangt das Licht
 - a) vom Mond zur Erde (mittlere Entfernung Mond–Erde etwa 380 000 km),
 - b) von der Sonne zur Erde (mittlere Entfernung Sonne–Erde etwa 150 000 000 km)?
6. Welchen Weg legt das Licht in einem Jahr zurück? Diese Entfernung nennen die Astronomen ein Lichtjahr.
7. Vom hellsten Fixstern, dem Sirius, den wir am Winterhimmel beobachten können, braucht das Licht annähernd 9 Jahre, bis es die Erde erreicht. Wie weit ist der Sirius von der Erde entfernt?

§ 2. Die geradlinige Ausbreitung des Lichts

1. Die Lichtausbreitung. Wir wissen aus Erfahrung, daß sich das Licht einer Lampe nach allen Seiten ausbreitet. Das gleiche gilt auch für das Sonnenlicht und das Licht anderer Lichtquellen.

Oft haben wir schon gesehen, wie die Sonnenstrahlen hinter Wolken hervortreten (Abb. 8/1). Wir erkennen am Verlauf der Grenzen zwischen Licht und Schatten, daß sich das Licht geradlinig ausbreitet. Die in der Luft schwebenden Staubteilchen und Wassertröpfchen werden von der Sonne beschienen. An diesen beleuchteten



Abb. 8/1. Sonnenstrahlen treten hinter einer Wolke hervor. An den in der Luft schwebenden Staubteilchen und Wassertröpfchen werden die Schattengrenzen sichtbar.



Abb. 8/2. Sonnenstrahlen fallen in einen halbdunklen Hausflur. Die beleuchteten Staubteilchen lassen die geradlinige Ausbreitung des Lichtes erkennen.

Teilchen können wir den Verlauf der Lichtstrahlen erkennen. Die geradlinige Ausbreitung des Lichts beobachten wir auch, wenn Sonnenlicht durch das Laubwerk der Bäume in einen nebligen Wald oder wenn es durch ein Fenster in der Haustür in den Hausflur fällt (Abb. 8/2).

Das Licht breitet sich geradlinig aus.

2. Der Schatten. Wird ein undurchsichtiger Körper von der Sonne oder von einer anderen Lichtquelle beschienen, so entsteht hinter ihm ein *Schatten*. Der Raum hinter dem beleuchteten Körper bleibt dunkel, weil in ihn keine Lichtstrahlen dringen.

Wir halten eine kreisrunde Pappscheibe in den Strahlengang einer Taschenlampe. Stellen wir hinter die Pappscheibe einen weißen Schirm, so entsteht auf ihm ein Schattenbild, das wir meist ebenso wie den Schattenraum auch als Schatten bezeichnen (Abb. 9/1). Dieser Schatten ist kreisförmig, er hat somit die gleiche Form wie die

Pappscheibe. Das Entstehen des Schattenbildes ist ebenfalls ein Beweis für die geradlinige Ausbreitung des Lichts.

Wird ein Körper beleuchtet, so entsteht hinter ihm ein Schatten.

Das Schattenbild ändert sich jedoch, wenn wir die Pappscheibe durch zwei Taschenlampen beleuchten (Abb. 9/2). Hinter der Scheibe liegt ein Raum, in den von

Abb. 9/1
Entstehung des Schattens hinter einer runden Pappscheibe
a) Seitenansicht
b) Schattenbild auf dem Schirm

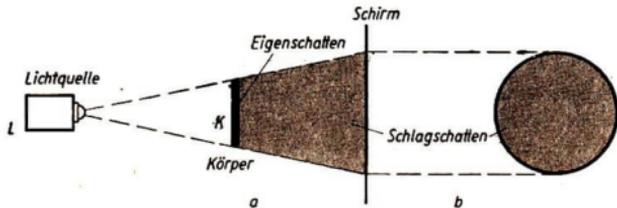
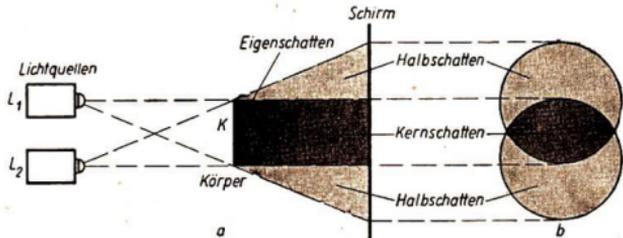


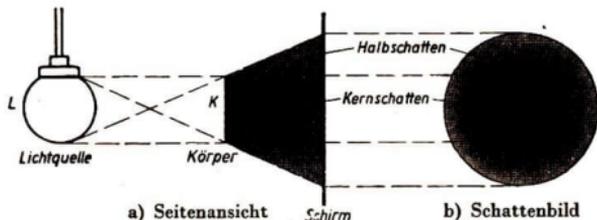
Abb. 9/2
Entstehen des Schattens bei Beleuchtung durch zwei Lichtquellen
a) Seitenansicht
b) Schattenbild auf dem Schirm



keiner der beiden Lampen Licht fällt. Man bezeichnet ihn als den **Kernschatten**. Wir sehen außerdem rings um den Kernschatten einen helleren Schatten, den **Halbschatten**. In den Raum des Halbschattens gelangt nur das Licht einer der beiden Lampen.

Etwas Ähnliches beobachtet man, wenn die Pappscheibe von einer Lichtquelle beleuchtet wird, die eine große Ausdehnung hat. Eine solche Lichtquelle ist zum Beispiel eine Glühlampe, die von einer Milchglasglocke umgeben ist. Wird eine solche Lichtquelle verwendet, so entsteht auch hier ein Kernschatten (Abb. 9/3). Um den Kernschatten herum liegt der Halbschatten. Die Schattengrenzen sind jedoch unscharf, und der Halbschatten geht allmählich in den Kernschatten, beziehungsweise in die volle Helligkeit über.

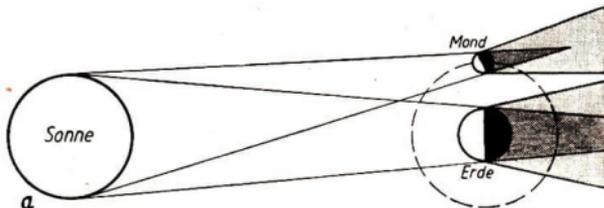
Abb. 9/3
Kernschatten und Halbschatten bei Beleuchtung eines Körpers durch eine ausgedehnte Lichtquelle. Der Halbschatten nimmt nach außen hin an Helligkeit zu.



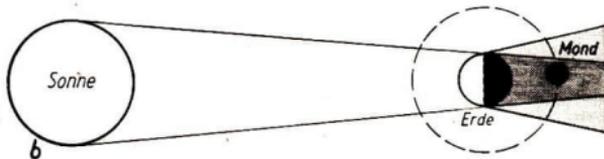
3. Sonnen- und Mondfinsternis. Die Erde bewegt sich im Laufe eines Jahres auf einer nahezu kreisförmigen Bahn um die Sonne. Dabei wird sie vom Mond begleitet, der selbst um die Erde kreist. Sowohl die Erde als auch der Mond werden von der Sonne beleuchtet und werfen daher beide einen Schatten in den Weltraum (Abb. 10/1a).

Wir denken uns durch die Erdbahn und durch die Mondbahn je eine Ebene gelegt. Diese beiden Ebenen bilden miteinander einen Winkel, der nur etwa 5° beträgt. Zu bestimmten Zeiten, die man genau berechnen kann, befindet sich der Mond in der Ebene der Erdbahn. Sonne, Erde und Mond liegen dann in einer Ebene. Steht der Mond zu dieser Zeit als Vollmond auf der Schattenseite der Erde, so fällt der Erdschatten auf ihn. Da die Sonne eine ausgedehnte Lichtquelle ist, entstehen hinter der Erde ein Kernschatten und ein Halbschatten. Befindet sich der Mond ganz im Kernschatten, so sprechen wir von einer *vollständigen*, einer *totalen Mondfinsternis* (Abb. 10/1b). Tritt dagegen der Mond nur teilweise in den Kernschatten, so sprechen wir von einer *teilweisen*, einer *partiellen Mondfinsternis*.

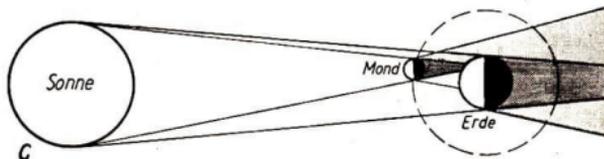
Abb. 10/1. Das Zustandekommen einer Mond- und einer Sonnenfinsternis. Die Zeichnung ist nicht maßgetreu. Die Erde und der Mond sind im Verhältnis zur Sonne zu groß gezeichnet.



a) Seitliche Stellung des Mondes. Es entsteht keine Finsternis.



b) Mondfinsternis. Der Kernschatten der Erde fällt auf den Mond.



c) Sonnenfinsternis. Der Kernschatten des Mondes fällt auf die Erde.

Steht der Mond zwischen der Erde und der Sonne, also bei Neumond, so kann der Schatten des Mondes auf einen Teil der Erdoberfläche fallen (Abb. 10/1c). Von der Erde aus gesehen tritt somit der Mond vor die Sonne. Es entsteht eine *Sonnenfinsternis*. Diese Bezeichnung ist nicht ganz richtig; denn nicht die Sonne wird verfinstert, sondern die Erde.

Dort, wo der Kernschatten des Mondes die Erde trifft, sieht man von der Sonne nichts. In diesem Gebiet der Erde herrscht somit eine *totale Sonnenfinsternis*. Wird die Sonne nicht ganz verdeckt, so handelt es sich um eine *partielle Sonnenfinsternis*.

In früheren Zeiten sahen die Menschen in Sonnenfinsternissen die Vorboten unheilvoller Ereignisse. Obwohl einigen Wissenschaftlern die Ursachen der Finsternisse bekannt waren, verhinderte vor allem die Kirche die Verbreitung dieser Erkenntnisse unter den Volksmassen. Sie war daran interessiert, daß die Menschen in Unkenntnis und Furcht lebten. Furchtsame eingeschüchterte Menschen glaubte man besser beherrschen zu können. Nachdem aber immer mehr Menschen die Zusammenhänge erkannten, verloren diese Erscheinungen an Schrecken. Die Wissenschaftler sind heute in der Lage, die Finsternisse genau vorzuberechnen. So finden die nächsten bei uns sichtbaren Finsternisse zu folgenden Zeiten statt:

- a) Sonnenfinsternisse: 2. Oktober 1959 (bei uns als partielle Finsternis sichtbar), 22. August 1999,
- b) Mondfinsternisse: 24. März 1959, 26. August 1961.

4. Versuche, Fragen und Aufgaben:

1. Befestige drei Pappscheiben von Postkartengröße so an Holzklötzchen, daß du sie senkrecht auf den Tisch stellen kannst! Durchbohre sie alle in gleicher Höhe mit einer Stricknadel! Stelle eine Kerze und zwei der Pappscheiben jeweils in einem Abstand von 50 cm hintereinander auf, so daß das Licht der Kerze durch die beiden Löcher fällt!
Dann stelle die dritte Pappscheibe in der Mitte zwischen den beiden anderen auf, so daß du nun das Licht der Kerze durch alle drei Löcher siehst. Ziehe vorsichtig einen Faden durch die Löcher und prüfe ihre Lage zueinander!
2. Stecke in eine auf dem Tisch liegende Pappscheibe zwei Stecknadeln senkrecht in einer Entfernung von etwa 10 cm und visiere an ihnen entlang! Stecke eine dritte Nadel so ein, daß sie
 - a) von den anderen beiden Nadeln ganz verdeckt wird,
 - b) die anderen beiden Nadeln ganz verdeckt!
 Verbinde die Einstecklöcher der Nadeln durch einen Bleistiftstrich! Wie verläuft die Verbindungslinie?
3. Verwende eine Glühlampe, einen Gummiball, eine Murmel als Modelle der Sonne, der Erde und des Mondes! Veranschauliche mit ihnen eine Sonnen- und eine Mondfinsternis! Erkläre an den Modellen, warum nicht bei jedem Vollmond eine Mondfinsternis und bei jedem Neumond eine Sonnenfinsternis eintritt!
4. Stelle in einem dunklen Zimmer in einer Entfernung von etwa 2 m von der Wand eine brennende Kerze auf und erzeuge mit ihrer Hilfe an der Wand den Schatten eines Schreibheftes! Halte das Schreibheft zu Anfang dicht vor die Wand und verschiebe es dann von ihr fort auf die Kerze zu! In welchem Falle ist der Schatten schärfer? Warum ist das so?

§ 3. Die Reflexion

1. Der ebene Spiegel. Fällt Licht auf eine glatte Metallfläche, auf die Oberfläche von Glas oder von Wasser, so wird es *zurückgeworfen*. Wir sprechen von der **Reflexion*** des Lichts. Körper, die das Licht in einer bestimmten Richtung reflektieren, nennen wir *Spiegel*.

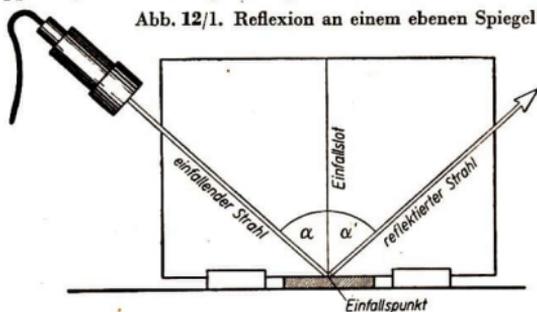
Am besten wird das Licht von blankpolierten Metalloberflächen zurückgeworfen. Hellglänzende Metalle, wie Chrom, Nickel, Silber und Quecksilber, sind hierfür besonders geeignet. Mit diesen wertvollen Metallen muß man jedoch sparsam umgehen. Man trägt sie daher als spiegelnde Flächen nur in dünnen Schichten auf ebene Eisenplatten, Aluminiumplatten oder Glasscheiben auf, damit sich diese dünnen Schichten nicht verbiegen können.

Bei den Spiegeln für den täglichen Gebrauch ist die Spiegelschicht auf der Rückseite einer Glasplatte aufgetragen. Die Spiegelschicht wird mit einer schützenden Lackschicht überzogen. Das Licht wird zum überwiegenden Teil an der Rückseite reflektiert, zu einem geringen Teil auch an der Vorderseite der Glasplatte. Dies stört uns meist nicht. Für optische Geräte sind solche Spiegel jedoch nicht geeignet. Bei ihnen wird die Vorderseite einer Glasplatte oder einer Metallplatte versilbert. Auf solche Spiegel dürfen wir nicht mit den Fingern greifen, damit die spiegelnde Schicht nicht beschädigt wird.

Bei den Gebrauchsspiegeln bildet die spiegelnde Fläche eine Ebene. Man nennt solche Spiegel daher *ebene Spiegel*. Außer den ebenen Spiegeln gibt es auch gekrümmte Spiegel. Beispiele für gekrümmte Spiegel sind die Rückspiegel an Fahrzeugen, die Reflektoren in den Scheinwerfern der Traktoren und anderer Kraftfahrzeuge, die Glaskugeln am Weihnachtsbaum und die Rasierspiegel.

2. Das Reflexionsgesetz. Wir legen einen ebenen Spiegel auf die Tischplatte und richten auf ihn ein schmales Lichtbündel, das wir als *Lichtstrahl* bezeichnen. Damit wir den Verlauf des Lichtstrahls besser erkennen, stellen wir eine Papptafel lotrecht auf die Tischplatte und lassen den Strahl an ihr entlangstreifen (Abb. 12/1). Der helle Streifen an der Pappe zeigt die Richtung des *einfallenden Lichtstrahls*. Wir zeichnen ihn auf der Pappe nach. Die Stelle, an der der Strahl auf den Spiegel trifft, heißt der *Einfallspunkt*. Wir errichten im Einfallspunkt die Senkrechte zur Spiegelfläche. Diese Gerade ist das *Einfallslot*. Da sich auch der *reflektierte Strahl* auf der Pappe abzeichnet, können wir feststellen:

Abb. 12/1. Reflexion an einem ebenen Spiegel



Der einfallende Strahl, das Einfallslot und der reflektierte Strahl liegen in einer Ebene.

Zwischen dem einfallenden Strahl und dem Einfallslot liegt der *Einfallswinkel* α , zwischen dem Einfallslot und dem reflektierten Strahl der *Reflexionswinkel* α' (vgl. Abb. 12/1). Messen wir diese Winkel nach, so finden wir, daß sie *gleich groß sind*:

Der Einfallswinkel ist gleich dem Reflexionswinkel.

Es ist $\alpha = \alpha'$.

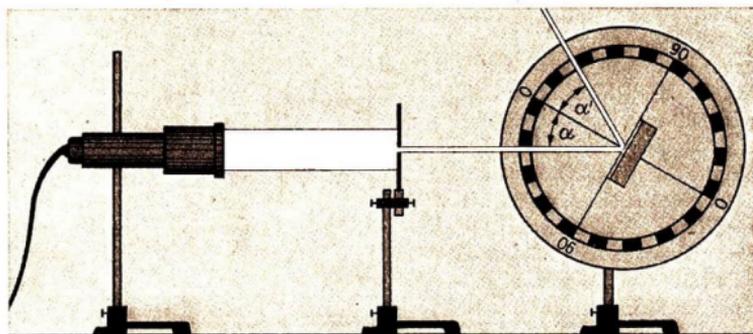


Abb. 13/1. Vergleich von Einfallswinkel und Reflexionswinkel an einer optischen Scheibe

Wir führen den gleichen Versuch noch einmal an einer *optischen Scheibe* durch (Abb.13/1). Das ist eine kreisrunde mattweiße Scheibe, die am Rande mit einer Winkelteilung versehen und um ihren Mittelpunkt drehbar ist. Außerdem sind zwei Durchmesser eingezeichnet, die aufeinander senkrecht stehen. Wir befestigen in der Mitte der Scheibe einen kleinen ebenen Spiegel. Er muß senkrecht zur Scheibe stehen, und seine Längskante muß auf dem einen Durchmesser liegen.

Wie im vorangegangenen Versuch lassen wir einen Lichtstrahl an der optischen Scheibe entlangstreifen und richten ihn auf den Mittelpunkt der Scheibe. Er wird dort am Spiegel reflektiert und zeigt wieder den Verlauf des einfallenden und des reflektierten Strahls an. Der senkrecht auf der Spiegelfläche stehende Durchmesser ist das Einfallslot. An der Winkelteilung lesen wir die Größe des Einfallswinkels und die des Reflexionswinkels ab. Wir können wieder feststellen, daß die beiden Winkel einander gleich sind. Drehen wir die Scheibe, so ändert sich der Einfallswinkel und mit ihm auch der Reflexionswinkel. *Stets aber sind die beiden Winkel einander gleich.* Trifft der einfallende Strahl senkrecht auf den Spiegel, so fällt er mit dem Einfallslot zusammen. Der Einfallswinkel ist dann gleich 0° ; folglich ist auch der Reflexionswinkel gleich 0° . Der Lichtstrahl wird in sich selbst zurückgeworfen. Für jede beliebige Stellung des Spiegels erkennen wir somit, daß der Einfallswinkel gleich dem Reflexionswinkel ist.

Aus diesem Verhalten ergibt sich ein für die Optik äußerst wichtiges Naturgesetz, das man als **Reflexionsgesetz** bezeichnet:

Wird ein Lichtstrahl an einem Spiegel reflektiert, so liegen der einfallende Strahl, das Einfallslot und der reflektierte Strahl in einer Ebene. Der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.

Es gibt noch viele andere Naturgesetze. Die Leistung der Menschen liegt nun nicht allein darin, diese Gesetze zu erforschen, sondern sie in der Technik anzuwenden. Wir werden in der Optik noch an mehreren Stellen erfahren, wie *beim Bau optischer Geräte das Reflexionsgesetz angewendet wurde*, um die Richtung von Lichtstrahlen zu ändern.

3. Das Bild am ebenen Spiegel.

Wir stellen im halbverdunkelten Zimmer eine Glasscheibe senkrecht auf den Tisch und vor die Scheibe eine brennende Kerze. Wir sehen ein Spiegelbild der Kerze, das hinter der Scheibe liegt (Abb. 14/1). Hinter die Scheibe stellen wir eine gleich große, nicht brennende Kerze und verschieben sie so lange, bis sie mit dem Spiegelbild der brennenden Kerze zusammenfällt. Jetzt scheint auch die hintere Kerze zu brennen. Die Flamme sehen wir nur, wenn wir von vorn gegen die spiegelnde Scheibe blicken.

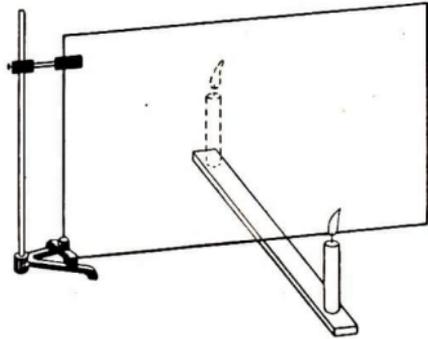


Abb. 14/1. Spiegelbild einer brennenden Kerze an einer senkrecht stehenden Glasscheibe

Ein Beobachter, der hinter die Scheibe schaut, sieht dort nichts von der Flamme. Durch Messen mit einem flachen Meterstab stellen wir fest, daß die Kerze und ihr Bild gleich weit von der Glasscheibe entfernt sind und daß ihre Verbindungslinie senkrecht auf der spiegelnden Fläche steht.

Die Kerze und ihr Spiegelbild liegen symmetrisch zur Spiegelfläche.

Das Spiegelbild der brennenden Kerze ist ebenso groß wie die brennende Kerze selbst.

Ändern wir den Abstand der brennenden Kerze von der Glasplatte und führen den gleichen Versuch durch, so finden wir stets das gleiche Ergebnis.

Wir verfolgen den Verlauf einzelner Lichtstrahlen, die vom Punkt *G*, dem Gegenstandspunkt, herkommen (Abb. 14/2). Sie treffen unter verschiedenen Einfallswinkeln auf den Spiegel. Bei der Reflexion eines jeden Lichtstrahls muß der Reflexions-

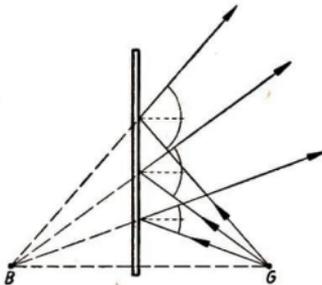


Abb. 14/2

Reflexion von Lichtstrahlen am ebenen Spiegel. Die Strahlen gehen von einem Punkt aus.

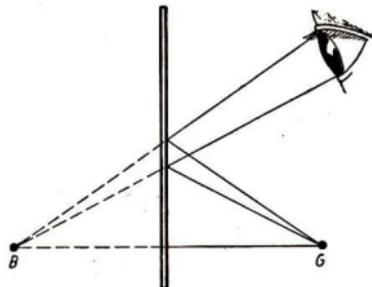


Abb. 14/3. Vom Gegenstandspunkt *G* gehen Strahlen aus, werden am Spiegel reflektiert und treffen in unser Auge. Sie scheinen vom Bildpunkt *B* herzukommen.

winkel gleich dem Einfallswinkel sein. Zeichnen wir die Verlängerung der reflektierten Lichtstrahlen durch den Spiegel hindurch, so treffen sie sich in dem Punkt *B*. Dieser Punkt liegt ebenso weit hinter dem Spiegel wie der Punkt *G* vor ihm. Für unser Auge scheinen die reflektierten Strahlen von dem Punkt *B* herzukommen (Abb. 14/3). Wir erkennen an dieser Stelle das Bild des Gegenstandspunktes. Daher nennen wir *B* den *Bildpunkt*.

In der geschilderten Weise werden alle Punkte eines Gegenstandes abgebildet. Zu jedem Gegenstandspunkt gehört jeweils ein Bildpunkt. Alle Bildpunkte ergeben insgesamt das Bild des Gegenstandes.

Heben wir vor einem Spiegel die linke Hand, so scheint unser Spiegelbild die rechte zu heben. Das Bild erscheint *seitenverkehrt*. Halten wir ein Blatt Papier mit Schrift vor den Spiegel, so sehen wir die Schrift ebenfalls seitenverkehrt.

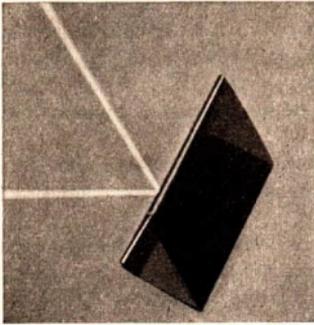
- **Am ebenen Spiegel entstehen durch Reflexion der Lichtstrahlen Bilder. Das Spiegelbild befindet sich ebenso weit hinter dem Spiegel wie der Gegenstand vor ihm. Das Bild und der Gegenstand liegen symmetrisch zueinander; sie haben die gleiche Größe und die gleiche Gestalt. Ihre Seiten erscheinen jedoch vertauscht.**

4. Anwendungen des ebenen Spiegels. Wir haben erkannt, daß der ebene Spiegel die Lichtstrahlen reflektiert. Es entstehen an ihm naturgetreue Bilder der Gegenstände vor dem Spiegel. Auf Grund dieser beiden Tatsachen werden die Spiegel vielseitig verwendet. Die verschiedenen *Spiegel im Haushalt* kennen wir alle. Oft finden wir aber auch in *Schaufenstern* und an den Wänden von *Sälen* Spiegel, die durch Reflexion des Lichts die Helligkeit vergrößern. Auch entsteht durch die Spiegelung der Eindruck, daß es sich um große Räume handle. In vielen *optischen Geräten* dienen ebene Spiegel dazu, die Lichtstrahlen in eine andere Richtung zu lenken. Wir werden dies bei verschiedenen Photoapparaten und bei den als *Episkop* bezeichneten Bildwerfern noch kennenlernen. Diese Spiegel sind meist Metallspiegel oder oberflächenversilberte Glasspiegel.

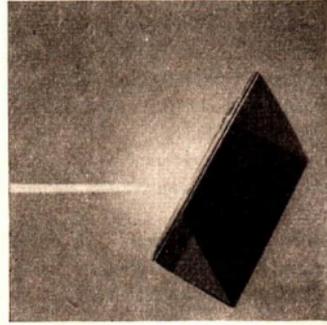
5. Die diffuse Reflexion. Bedecken wir einen dunklen Tisch, der von einer Hängelampe beleuchtet wird, mit einem weißen Tischtuch, so wird das Zimmer merklich heller. Die von der Lampe ausgesandten Lichtstrahlen werden vom Tischtuch zurückgeworfen. Dadurch gelangt Licht auch in die Teile des Zimmers, die im Schatten des Lampenschirms liegen. Obwohl die weiße Tischdecke Licht reflektiert, wirkt sie aber nicht wie ein ebener Spiegel.

Wir wiederholen den im 1. Abschnitt beschriebenen Versuch mit der optischen Scheibe (Abb. 16/1a) und ersetzen den ebenen Spiegel durch ein Stück weiße Pappe (Abb. 16/1b). Das Licht wird an der Pappe nicht in einer bestimmten Richtung, sondern nach vielen Richtungen zurückgeworfen. Wir sprechen von einer *diffusen** *Reflexion* des Lichts.

Betrachten wir durch ein Mikroskop die stark vergrößerte Oberfläche der Pappe, so erkennen wir die Ursache für die diffuse Reflexion des Lichts: Die Oberfläche ist nicht glatt wie beim Spiegel, sondern rauh. Eine rauhe Fläche setzt sich aus einer großen Anzahl sehr kleiner Flächenstücke zusammen, die in verschiedenen Richtungen liegen. Jedes kleine Flächenstück wirkt wie ein ebener Spiegel (Abb. 16/2).



a) am ebenen Spiegel



b) an einer weißen Pappwand

Abb. 16/1. Reflexion des Lichts

Die einzelnen Lichtstrahlen werden infolgedessen nach den verschiedensten Richtungen zurückgeworfen. Ähnlich ist es auch bei einem hellen Tischtuch.

An rauhen, hellen Flächen wird das Licht diffus reflektiert. Die reflektierten Strahlen haben verschiedene Richtungen.

Die diffuse Reflexion des Lichts wird bei der *indirekten Beleuchtung* von Innenräumen angewandt. Bei dieser Beleuchtungsart sind die Leuchtörper selbst nicht sichtbar. Sie strahlen ihr Licht gegen die Decke und gegen die Wände des Raumes, wo es diffus reflektiert wird. Der Raum wird auf diese Weise gleichmäßig beleuchtet, ohne daß man geblendet wird (Abb. 16/3). Es entstehen dadurch keine scharf begrenzten Schatten, wie es bei direkter Beleuchtung der Fall ist.

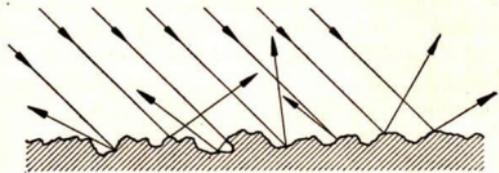
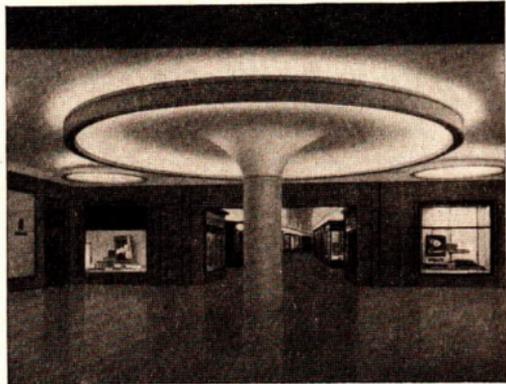


Abb. 16/2. Diffuse Reflexion des Lichts an einer rauhen Fläche.

Abb. 16/3. Indirekte Beleuchtung in der Eingangshalle des Messehofes in Leipzig. Die Leuchtkörper liegen hinter Simsen und sind vom Raum aus nicht sichtbar.



Auch das Tageslicht in den Zimmern, die von Sonnenstrahlen nicht unmittelbar getroffen werden, ist diffus reflektiertes Licht.

6. Versuche, Fragen und Aufgaben:

1. Was versteht man unter dem Einfallslot, dem Einfallswinkel und dem Reflexionswinkel?
2. Wie lautet das Reflexionsgesetz?
3. Halte im Zimmer einen Taschenspiegel in das Sonnenlicht und drehe ihn so, daß das reflektierte Licht ins Zimmer fällt! Du wirst erkennen, daß du auf diese Weise nicht jeden beliebigen Punkt in einem mit Möbeln eingerichteten Zimmer beleuchten kannst. Stelle nun den Spiegel so auf das Fensterbrett, daß das reflektierte Licht wiederum ins Zimmer fällt! Halte einen zweiten Spiegel in dieses Lichtbündel! Du kannst auf diese Weise auch die Stellen beleuchten, die du mit einem Spiegel allein nicht erreichen konntest.
4. Laß das Sonnenlicht auf einen kleinen Taschenspiegel fallen und halte ihn zunächst so, daß das Licht in die Einfallrichtung zurückgeworfen wird! Drehe dann den Spiegel um 45° ! Um wieviel Grad dreht sich der reflektierte Strahl? Erkläre die Beobachtung!
5. Stelle einen kleinen Spiegel lotrecht auf den Tisch und lege ein Blatt Papier davor, wie es die Abbildung 17/1 zeigt! Blicke über eine Ecke des Papiers hinweg in den Spiegel! Stecke in Blickrichtung zwei Stecknadeln hintereinander senkrecht in das Papier! Zwei weitere Nadeln werden so eingesteckt, daß ihre Spiegelbilder in derselben Richtung erscheinen. Zeichne durch die Fußpunkte der Nadeln zwei Geraden, die den einfallenden und den reflektierten Strahl veranschaulichen! Zeichne senkrecht zur Spiegelebene das Einfallslot! Vergleiche Einfallswinkel und Reflexionswinkel miteinander, indem du das Blatt entlang des Einfallslotes faltest!
6. Konstruiere für jede der in der Abbildung 17/2 gezeichneten Lagen des einfallenden Strahls und des Spiegels den Verlauf des reflektierten Strahls!

Abb. 17/1. Nachweis des Reflexionsgesetzes mit Hilfe von Stecknadeln

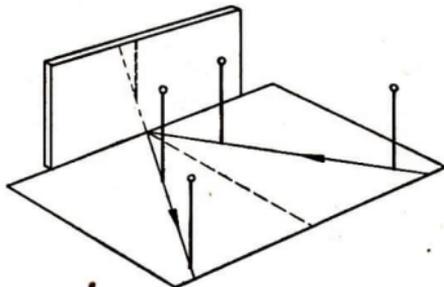


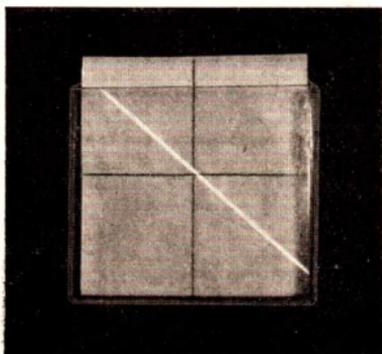
Abb. 17/2. Spiegel und einfallender Strahl in verschiedenen Richtungen



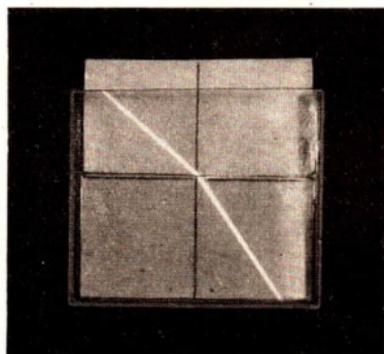
7. Warum versieht man Lampen mit spiegelnden Schirmen?
8. Welche Eigenschaften und welche Lage hat das Bild am ebenen Spiegel?
9. Stelle eine Glasscheibe senkrecht auf den Tisch und davor eine brennende Kerze! Wiederhole den auf Seite 14 beschriebenen Versuch und ändere ihn ab, indem du hinter der Scheibe ein Wasserglas so lange verschiebst, bis du das Spiegelbild der Kerze im Wasserglas erkennst!
10. Wenn wir am Abend vom Zimmer aus gegen ein geschlossenes Fenster schauen, so erblicken wir das Bild einer Lampe, die in unserem Zimmer brennt. Wie ist diese Erscheinung zu erklären?
11. Blicke möglichst flach auf einen Glasspiegel! Wieviel Spiegelbilder siehst du? Wie kommt diese Erscheinung zustande?
12. Was versteht man unter diffuser Reflexion? Nenne Beispiele für diffuse Reflexion!
13. Warum verwendet man in Klassenräumen im allgemeinen einen hellen Wandanstrich? Welchen Vorteil haben helle Tapeten gegenüber dunklen?
14. 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! Was siehst du? Verkleinere den von den Spiegeln eingeschlossenen Winkel auf 60° und auf 45° !
15. Wie kannst du mit Hilfe einer Stange und eines ebenen Spiegels eine Vorrichtung bauen, durch die du bei einer Sportveranstaltung über andere Menschen hinwegsehen und dein Blickfeld erweitern kannst? Welches physikalische Gesetz wird dabei angewandt?

§ 4. Die Lichtbrechung

1. Die Brechung des Lichts beim Übergang von Luft in Wasser und von Wasser in Luft. Wir stellen eine Milchglasscheibe in einen leeren Glastrog und lassen ein schmales Lichtbündel schräg von oben an der Milchglasscheibe entlangstreifen. (Abb. 18/1a). Der helle Lichtstreifen veranschaulicht uns einen Lichtstrahl. Er ver-



a) Der Trog ist leer.



b) Der Trog ist mit Wasser gefüllt.

Abb. 18/1. Brechung eines Lichtbündels an der Wasseroberfläche

läuft geradlinig. Nun füllen wir den Trog mit Wasser. Wir beobachten jetzt, daß der aus der Luft in das Wasser eintretende Lichtstrahl an der Wasseroberfläche seine Richtung ändert (Abb. 18/1b). Er wird abgelenkt. Man bezeichnet diese Richtungsänderung als die **Brechung des Lichts**.

Wir legen in zwei nebeneinanderstehende leere Entwicklerschalen je ein Geldstück. Gießen wir in die eine Schale Wasser, so beobachten wir, daß sich der Boden mit der Münze scheinbar hebt (Abb. 19/1). Die mit Wasser gefüllte Schale scheint flacher zu sein als die leere Schale.

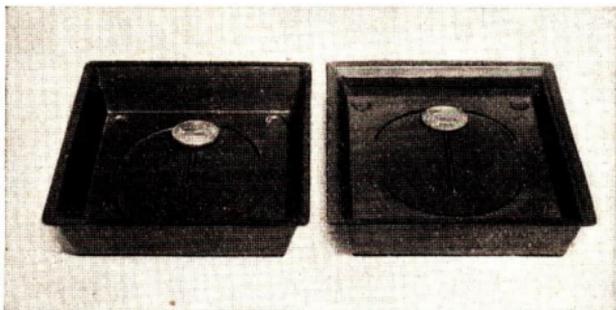


Abb. 19/1. Scheinbare Hebung einer Münze. Links: Münze in leerer Schale. Rechts: Schale mit Wasser gefüllt. Der Boden mit der Münze scheint gehoben zu sein.

Aus diesem Versuch müssen wir schließen, daß das Licht auch bei seinem Übertritt von Wasser in Luft seine Richtung ändert. Die folgenden Beobachtungen bestätigen es uns.

Sehen wir nach den Steinen auf dem Grunde eines klaren Gewässers, so halten wir das Wasser für flacher, als es in Wirklichkeit ist. Stehen wir in knietiefem Wasser und blicken nach unten, so erscheinen uns die Beine verkürzt. Steht ein Löffel in einer Tasse mit Wasser, so sieht es aus, als wenn er an der Wasseroberfläche geknickt sei (Abb. 19/2). Alle diese Erscheinungen sind eine Folge der Brechung. Wir können sie uns erklären, wenn wir das Brechungsgesetz kennen und hierauf anwenden.

2. Das Brechungsgesetz. Wir befestigen in der Mitte einer optischen Scheibe eine Glasplatte mit halbkreisförmiger Grundfläche und richten darauf einen Lichtstrahl,

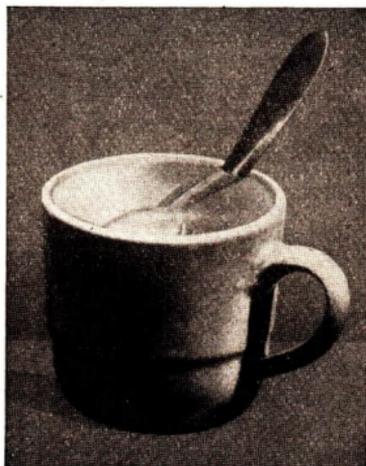


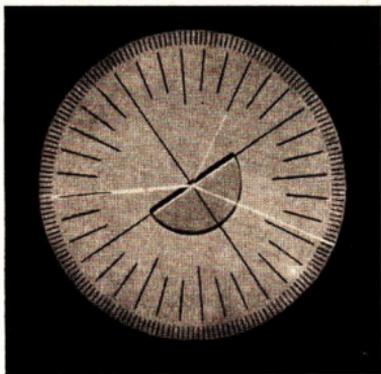
Abb. 19/2. Ein in einer Tasse mit Wasser stehender Löffel erscheint an der Wasseroberfläche geknickt.

so daß er schräg auf die ebene Fläche fällt (Abb. 20/1 a). Der Lichtstrahl wird gebrochen.

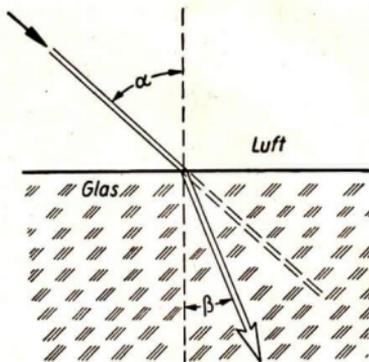
Wir errichten nun auf der ebenen Glasfläche das *Einfallslot*. Der Winkel zwischen dem Einfallslot und dem einfallenden Strahl ist der *Einfallswinkel* (α). Der Winkel, den der gebrochene Strahl mit dem Einfallslot bildet, heißt *Brechungswinkel* (β) (Abb. 20/1 b).

Tritt ein Lichtstrahl schräg von Luft in Wasser oder in Glas über, so wird er zum Einfallslot hin gebrochen.

Trifft ein Lichtstrahl senkrecht auf die Wasser- oder Glasoberfläche, so wird er nicht gebrochen (Abb. 21/1).



a) Wiedergabe des Versuches



b) Schematische Darstellung

Abb. 20/1. Brechung des Lichts beim Übergang von Luft in Glas

Lassen wir umgekehrt einen Lichtstrahl von Glas in Luft übertreten, so wird er ebenfalls gebrochen. Wir stellen fest (Abb. 21/2):

Tritt ein Lichtstrahl schräg von Wasser oder von Glas in Luft über, so wird er vom Einfallslot weg gebrochen.

Wir können jetzt auch die in den Abbildungen 19/1 und 19/2 gezeigten Erscheinungen erklären. Von dem Löffel und von der Münze im Wasser gehen Lichtstrahlen aus. Sie werden beim Übergang aus dem Wasser in die Luft vom Einfallslot fort gebrochen. Das Auge nimmt die Brechung der Lichtstrahlen aber selbst nicht wahr. Wir erblicken den Gegenstand in Richtung der rückwärtigen Verlängerung der Strahlen, die in unser Auge eintreten. Infolgedessen scheinen die im Wasser befindlichen Gegenstände gehoben zu sein (Abb. 21/3).

Die Größe der Brechung ist von den Stoffen abhängig, zwischen denen der Übergang erfolgt. So ist die Brechung beim Übergang des Lichts von Luft in Wasser kleiner als beim Übergang von Luft in Glas. Aber auch die verschiedenen Glasarten zeigen ein unterschiedliches Verhalten. Auch verschieden warme Luftschichten brechen das Licht verschieden stark.

Mit Hilfe des Brechungsgesetzes können wir uns jetzt auch die folgende Erscheinung erklären. An einem heißen Tag ist die Luft dicht über einer Asphaltstraße erheblich heißer als in höheren Schichten. Dadurch werden Lichtstrahlen, die vom blauen Himmel schräg auf die Straße fallen, so gebrochen, wie es die Abbildung 21/4 zeigt. Ein Beobachter glaubt dann auf der Straße eine Wasserfläche zu sehen, in Wirklichkeit sieht er den blauen Himmel. Solche Erscheinungen nennt man Luftspiegelungen.

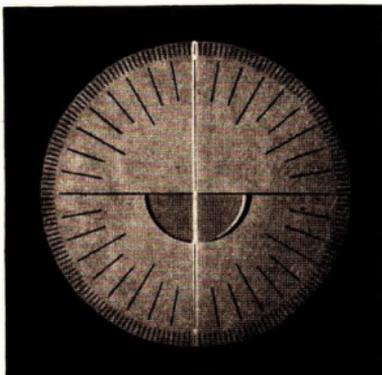


Abb. 21/1. Verlauf eines Lichtstrahles bei senkrechtem Auffall auf eine Glasfläche

Abb. 21/2. Brechung beim Übergang des Lichts von Glas in Luft

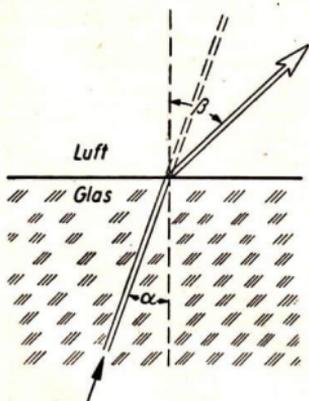
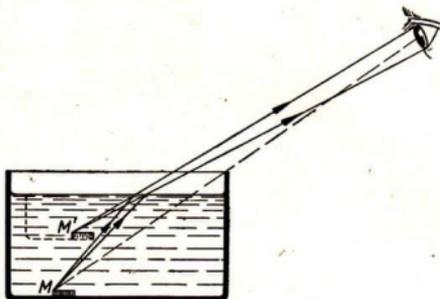


Abb. 21/3. Verlauf der Lichtstrahlen beim scheinbaren Heben eines Gegenstandes im Wasser



3. Versuche, Fragen und Aufgaben:

1. Lege auf ein Reißbrett ein Blatt Zeichenpapier und darauf eine möglichst dicke Glasplatte oder einen Satz aus fünf bis zehn Glasscheiben, den du auf das Reißbrett stellst (Abb. 22/1)! Stecke an den beiden gegenüberliegenden Seiten der Platte zwei Stecknadeln in das Brett! Stecke nun im Abstand von einigen Zentimetern vor der

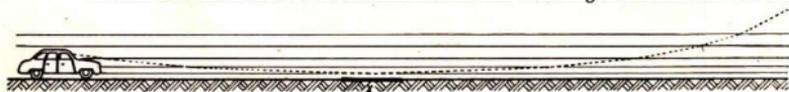


Abb. 21/4. Luftspiegelung auf der Landstraße. Der Fahrer sieht bei x scheinbar eine Wasserfläche.

Platte eine dritte Nadel so ein, daß sie beim Visieren durch das Glas mit den anderen beiden in einer Geraden liegt! Prüfe die Richtigkeit durch Visieren von der anderen Seite nach! Markiere die brechende Fläche auf dem Zeichenpapier durch eine Gerade und entferne die Platte! Verbinde die Einstiche miteinander und zeichne das Einfallslot (Abb. 22/2)! Bestätige das Brechungsgesetz!

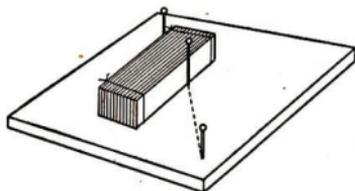


Abb. 22/1. Stecknadelversuch zur Brechung.
Die drei Nadeln werden durch den Glasplatten-
satz hindurch in eine Visierlinie gebracht

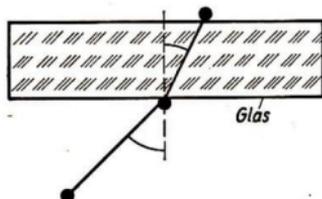


Abb. 22/2
Zeichnerische Auswertung
zur Abbildung 22/1

2. Stecke auf der anderen Seite der Glasscheibe im Abstand von einigen Zentimetern von der Platte eine Nadel so in das Reißbrett, daß sie in der Visierrichtung liegt! Verbinde die vier Nadelstiche miteinander! Weise das Brechungsgesetz zu beiden Seiten der Platte nach! Was läßt sich über die Richtung der Strahlen an beiden Seiten der Platte sagen?
3. Führe den in Aufgabe 2 angegebenen Versuch statt mit einer Glasplatte mit einem wassergefüllten Trog durch! Statt der Nadeln benutze kleine Fläschchen, durch deren Korken Stricknadeln gesteckt sind!
4. Befestige auf einer schmalen, etwa 30 cm langen Holzleiste mittels eines dünnen Nagels zwei etwa 10 cm lange Holzleisten (Abb. 22/3)! Tauche die lange Leiste bis zum Nagel senkrecht in einen Eimer mit Wasser und verstelle die kurze Leiste im Wasser so, daß sie einen spitzen Winkel mit der langen Leiste bildet! Drehe die in der Luft befindliche kurze Leiste so, daß sie die Richtung der anderen kurzen Leiste fortzusetzen scheint! Ziehe die Leisten aus dem Wasser und vergleiche die spitzen Winkel miteinander!
5. Zeichne in dein Berichtsheft für die in der Abbildung 23/1 gezeichneten Fälle das Einfallslot und ungefähr die Richtung des gebrochenen Lichtstrahls ein!
6. Führe das gleiche für die in der Abbildung 23/2 gezeichneten Fälle durch!



Abb. 22/3
Holzleiste mit zwei
kurzen drehbaren
Leisten

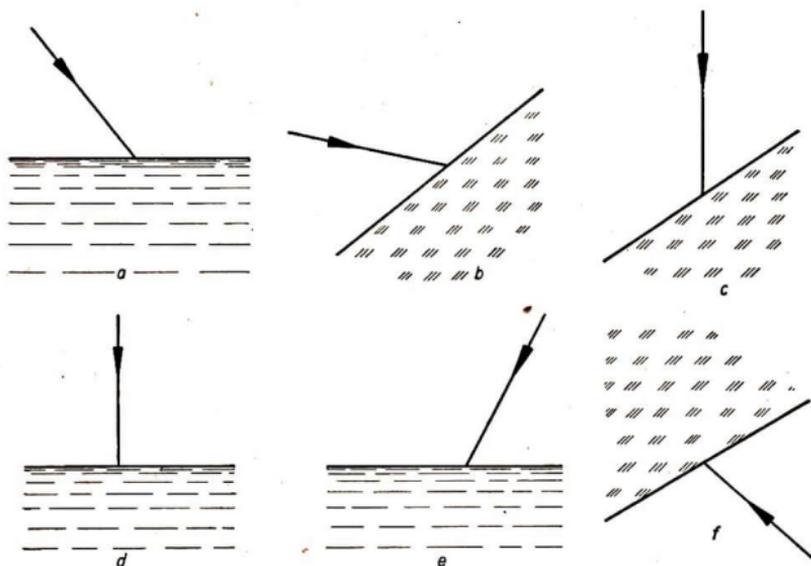


Abb. 23/1. Verschiedene Beispiele für die Brechung beim Übergang von Luft in Wasser (a, d und e) sowie von Luft in Glas (b, c und f)

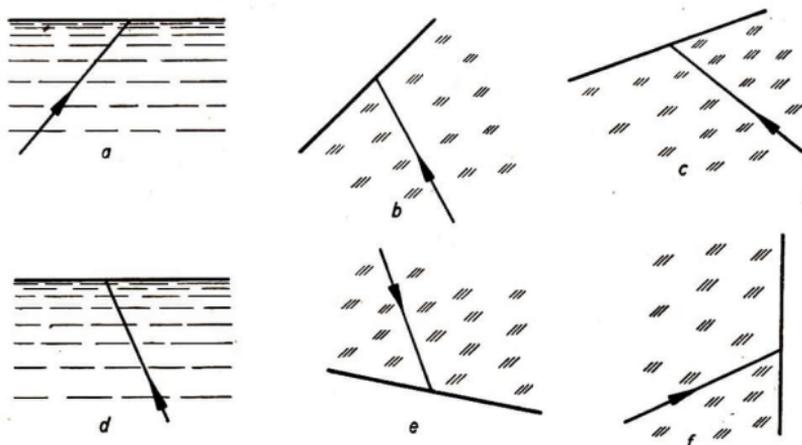


Abb. 23/2. Verschiedene Beispiele für die Brechung beim Übergang von Wasser in Luft (a und d) und von Glas in Luft (b, c, e und f)

§ 5. Optische Linsen

1. Das Verhalten von Lichtstrahlen beim Durchgang durch Linsen. Befühlen wir ein Leseglas durch einen weichen Lappen hindurch, so bemerken wir, daß es in der Mitte dicker ist als am Rande. Seine Begrenzungsflächen sind beide *nach außen gewölbt*. Nach dieser Form, die an die Linsenfrucht erinnert, haben solche Glaskörper den Namen *Linsen* erhalten.

Wir versehen eine Pappscheibe mit einem Einschnitt, in den wir eine Linse stecken (Abb. 24/1). An der einen Schmalseite der Scheibe stellen wir als *Blende* eine zweite Pappscheibe mit drei parallelen Schlitzfenstern auf. Lassen wir ein paralleles Lichtbündel auf die Blende fallen, so erkennen wir auf der Pappscheibe drei parallele Lichtstrahlen. Diese werden durch die Linse abgelenkt und in einem gemeinsamen Schnittpunkt vereinigt (Abb. 24/1). Man bezeichnet diesen Punkt als **Brennpunkt** und kennzeichnet ihn durch den Buchstaben *F*. Den Abstand zwischen dem Linsenmittelpunkt und dem Brennpunkt nennt man die **Brennweite** *f*. Lassen wir die Lichtstrahlen von der anderen Seite auf die Linse fallen, so werden sie wieder in einem Brennpunkt vereinigt. Die Brennweite ist die gleiche wie vorher.

Eine Linse, durch die Lichtstrahlen *gesammelt* werden, heißt **Sammellinse**. Die Gerade, die senkrecht durch die Mitte einer Linse geht, bezeichnet man als *optische Achse*. Lichtstrahlen, die parallel zur optischen Achse auf die Linse auftreffen, wie es bei unserem Versuch der Fall ist, nennt man *achsenparallele Lichtstrahlen* (vergl. Abb. 24/1).

Sammellinsen vereinigen achsenparallele Lichtstrahlen im Brennpunkt.

In der Abbildung 24/2 sind verschiedene Arten von Sammellinsen dargestellt. Man sieht, daß beide Seiten gleichmäßig oder verschieden gewölbt sein können; eine Fläche kann sogar eben sein. In dieser Abbildung ist auch eine Sammellinse dargestellt, bei der die eine Fläche in der gleichen Richtung gewölbt ist wie die andere; aber auch bei dieser Linse ist die Mitte dicker als der Rand.

Sammellinsen sind in der Mitte dicker als am Rand.

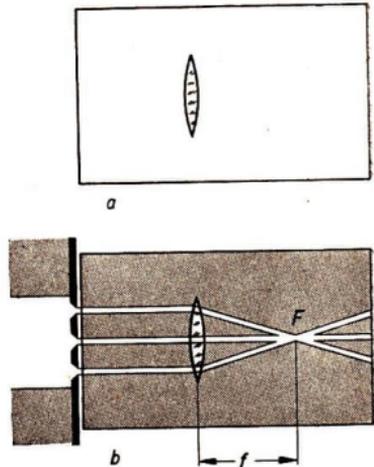


Abb. 24/1. Der Strahlengang an einer Sammellinse

a) Karton mit linsenförmigem Ausschnitt
b) Durch eine Sammellinse werden die achsenparallelen Lichtstrahlen im Brennpunkt vereinigt.

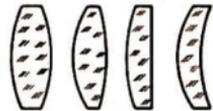


Abb. 24/2. Verschiedene Arten von Sammellinsen

Führen wir unseren Versuch mit Sammellinsen verschiedener Brennweite durch, so finden wir:

Flache Sammellinsen haben eine lange Brennweite. Stark gewölbte Sammellinsen haben eine kurze Brennweite.

Außerdem ist die Brennweite auch von der Zusammensetzung des Glases abhängig.

Die Wirkung einer Sammellinse beruht auf der Lichtbrechung. Wir können die Eintrittsstelle des Lichtstrahls als kleine ebene Fläche auffassen und darauf das Einfallslot errichten (Abb. 25/1). Jeder auf die Linse fallende Lichtstrahl wird nach dem Brechungsgesetz zum Einfallslot hin gebrochen. Vergleichen wir die Richtung des gebrochenen Strahls und die der optischen Achse miteinander, so erkennen wir, daß der Lichtstrahl zur optischen Achse hin gebrochen wird. Der Strahl wird durch die Linse noch ein zweites Mal an der Austrittsfläche gebrochen. Da an dieser Fläche der Lichtstrahl von Glas in Luft übergeht, wird er vom Einfallslot weg gebrochen. Wie die Abbildung 25/1 zeigt, wird aber auch in diesem Falle der Lichtstrahl zur optischen Achse hin gebrochen. Daraus erklärt sich die Wirkung der Sammellinsen.

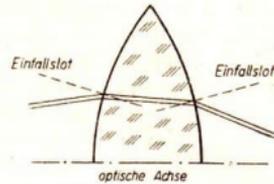


Abb. 25/1. Die Brechung eines Lichtstrahls an einer Sammellinse

Beim Durchgang durch eine Sammellinse wird ein Lichtstrahl auf die optische Achse hin gebrochen.

Die Wirkung einer Sammellinse erkennen wir auch beim *Brennglas*. Dieses ist eine einfache Sammellinse, die die von der Sonne kommenden Licht- und Wärmestrahlen im Brennpunkt vereinigt (Abb. 25/2). Bei der großen Entfernung, in der sich die Lichtquelle befindet, sind die Strahlen nahezu parallel.

Bringen wir in den Brennpunkt einer Sammellinse eine Lichtquelle, so treten die Lichtstrahlen aus der Linse parallel zur optischen Achse aus (Abb. 26/1). Auf diese Weise kann beispielsweise paralleles Licht bei Scheinwerfern erzeugt werden.

Es gibt auch Linsen, die in der Mitte dünner sind als am Rande. Wir setzen eine solche Linse in die Pappscheibe ein und lassen auf sie wieder achsenparallele Lichtstrahlen fallen. Die Strahlen werden nicht mehr vereinigt, sondern laufen auseinander. Sie werden *zerstreut* (Abb. 26/2). Man bezeichnet solche Linsen als **Zerstreuungslinsen**. Die Abbildung 26/3 zeigt verschiedene Arten von Zerstreuungslinsen.

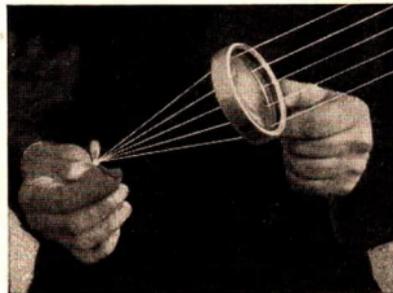


Abb. 25/2. Entzünden eines Streichholzes mit Hilfe einer Sammellinse. Die im Bild sichtbaren Lichtstrahlen sind nachträglich eingezeichnet.

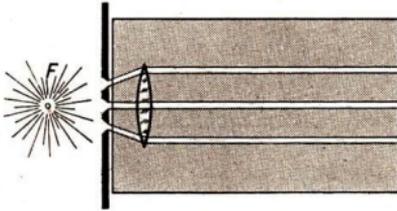


Abb. 26/1. Erzeugung achsenparalleler Lichtstrahlen mit Hilfe einer Sammellinse

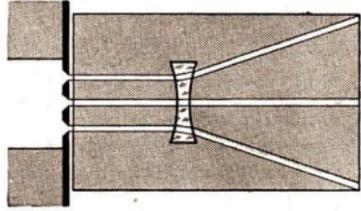


Abb. 26/2. Wirkung einer Zerstreuungslinse auf achsenparallele Strahlen

Abb. 26/3. Verschiedene Arten von Zerstreuungslinsen

Zerstreuungslinsen sind in der Mitte dünner als am Rande Sie zerstreuen achsenparallele Lichtstrahlen



2. Das Herstellen von Linsen. Das Glas wird in zähflüssigem Zustand zunächst in eine Form gepreßt. Dadurch erhält es ungefähr seine endgültige Form. Die Rohglasstücke sind nach dem Pressen auf der Oberfläche mattgrau und infolgedessen nur durchscheinend. Daher müssen sie nun geschliffen und poliert werden. Das geschieht vorwiegend automatisch durch besonders dafür konstruierte Maschinen. Mehrere Rohglasstücke werden auf einen kugelförmig gewölbten Tragkörper gekittet. Der Tragkörper rotiert um seine Achse (Abb. 26/4). Über den Tragkörper greift eine Polierschale, die maschinell auf dem Tragkörper hin und her geschwenkt wird. Mit einem Schleifmittel werden die Rohglasstücke geschliffen, bis sie genau die gewünschte Form haben. Anschließend werden sie mit einem Poliermittel poliert, so daß die Oberfläche völlig glatt und durchsichtig ist.



Abb. 26/4. Das Schleifen von Linsen
1 halb-kugelförmige Polierschale
2 halb-kugelförmiger Tragkörper

Für optische Zwecke muß das verwendete Glas fehlerfrei sein. Kleine Luftbläschen, wie man sie auch in guten Linsen, zum Beispiel in Photoapparaten, findet, stören nicht. Gläser mit größeren Bläschen, mit Schlieren und eingeschlossenen Fremdkörpern sind jedoch zum Fertigen optischer Teile ungeeignet. Optische Teile aus Glas verlangen eine pflegliche Behandlung. Wir greifen sie daher nicht mit bloßen Fingern an, da der Schweiß die Güte der Oberfläche beeinträchtigt. Staub wird mit einem Haarpinsel entfernt; Flecke können mit einem weichen Lappen beseitigt werden.

3. Das Entstehen von Bildern an Sammellinsen.

Außerhalb der Brennweite einer Sammellinse stellen wir drei farbige Glühlampen so auf, wie es die Abbildung 27/1 zeigt. Auf der anderen Seite der Linse verschieben wir einen weißen Karton so lange, bis wir ein deutliches Bild der Lampengruppe erhalten. Das Bild ist nur in einer ganz bestimmten Entfernung des Bildschirms von der Linse scharf. In allen anderen Entfernungen ist es unscharf.

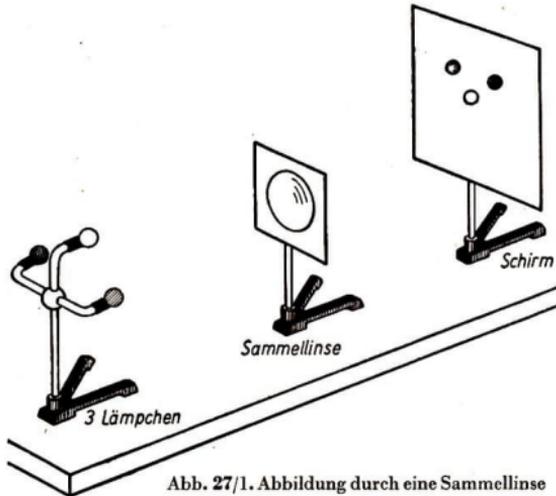


Abb. 27/1. Abbildung durch eine Sammellinse

Wir vergleichen das scharfe Bild mit der Lampengruppe selbst. Das Bild des oberen Lämpchens befindet sich unten, das linke Lämpchen ist im Bild rechts zu sehen. Es entsteht somit ein umgekehrtes Bild des Gegenstandes. Da wir das Bild auf einem Schirm auffangen können, nennen wir es ein *wirkliches* oder *reelles** Bild.

Eine Sammellinse erzeugt ein reelles umgekehrtes Bild eines Gegenstandes.

Sammellinsen erzeugen reelle Bilder infolge der Brechung der Lichtstrahlen beim Durchgang durch die Linse. So wie parallele Strahlen im Brennpunkt vereinigt werden, so werden auch die von einem beliebigen Punkt eines Gegenstandes ausgehenden Strahlen wieder in einem Punkt, seinem Bildpunkt, vereinigt. Sämtliche Bildpunkte ergeben dann ein reelles Bild des Gegenstandes.

Wir ersetzen die Glühlampe durch eine Kerze. Auf dem Schirm sehen wir das Bild der Flamme. Nun verändern wir den Abstand der Kerze von der Linse. Je weiter wir sie von der Linse entfernen, um so näher müssen wir den Bildschirm an die Linse heranrücken, damit wir ein scharfes Bild erhalten. Das Bild wird dabei immer kleiner. Ist die Kerze sehr weit von der Linse entfernt, so befindet sich das Bild nahezu im Brennpunkt. Es ist dann sehr viel kleiner als die Flamme. Nun rücken wir die Kerze wieder näher an die Linse heran. In einer bestimmten Entfernung der Kerze von der Linse sind die Kerzenflamme und ihr Bild gleich groß. Das ist der Fall, wenn die Abstände gleich groß sind, und zwar gleich der doppelten Brennweite der Linse. Es entsteht dann ein Bild in natürlicher Größe. Nähern wir die Kerze der Linse noch mehr, so müssen wir den Bildschirm immer weiter von der Linse entfernen. Es entstehen vergrößerte Bilder der Kerzenflamme. Ist die Entfernung der Kerze von der Linse kleiner als die Brennweite, so entsteht kein scharfes Bild mehr.

Die drei Fälle der Bilderzeugung durch eine Sammellinse sind in der Abbildung 28/1 zusammengestellt. Den Abstand der Kerze von der Linse nennt man die *Gegenstandsweite*, den Abstand des Bildes von der Linse die *Bildweite*.

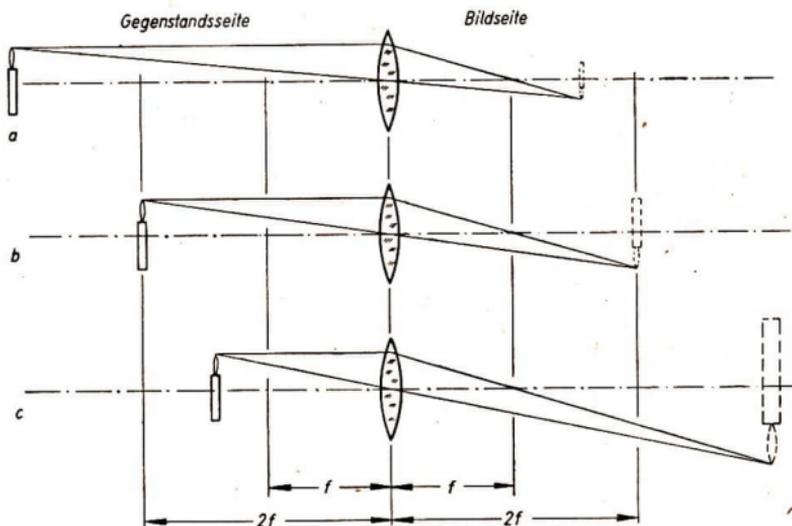


Abb. 28/1. Drei Fälle der reellen Abbildung

a) Verkleinerte Abbildung b) Abbildung in natürlicher Größe c) Vergrößerte Abbildung

Wir fassen die Ergebnisse unserer Versuche zusammen (vgl. Abb. 28/1):

1. Befindet sich der Gegenstand außerhalb der doppelten Brennweite, so entsteht ein *verkleinertes reelles Bild* zwischen der einfachen und der doppelten Brennweite.
2. Befindet sich der Gegenstand in der doppelten Brennweite, so entsteht ein *gleich großes reelles Bild* in der doppelten Brennweite.
3. Befindet sich der Gegenstand zwischen der doppelten und der einfachen Brennweite, so entsteht ein *vergrößertes reelles Bild* außerhalb der doppelten Brennweite.

Das Abbilden von Gegenständen durch Sammellinsen ist die Grundlage für die optischen Geräte, die wir in den nächsten Paragraphen kennenlernen werden.

4. Versuche, Fragen und Aufgaben:

1. Bestimme angenähert die Brennweite einer Sammellinse! Als Lichtquelle dient eine Glühlampe, die einige Meter entfernt aufgestellt wird. Die Schlitzblende stelle dadurch her, daß du aus einem Karton ein rechteckiges Fenster herausschneidest und durch schwarze Klebstreifen eine Anzahl paralleler Schlitze bildest!

2. Erzeuge von einem Gegenstand ein gleich großes Bild und bestimme dadurch die Brennweite einer Sammellinse!
3. Bilde mit Hilfe einer Sammellinse ein durchs Fenster sichtbares Haus auf einem weißen Karton ab! Bestimme die Brennweite der Linse! Beachte dabei, daß der Gegenstand sehr weit von der Linse entfernt ist!
4. Prüfe mit Hilfe einer brennenden Kerze, einer Sammellinse und eines Bildschirmes die im 3. Abschnitt zusammengestellten Möglichkeiten der Bildentstehung nach!
5. Bestimme bei verschiedenen Linsen die Linsenformen!
6. Skizziere den Strahlenverlauf,
 - a) wenn achsenparallele Strahlen auf eine Sammellinse fallen,
 - b) wenn achsenparallele Strahlen auf eine Zerstreuungslinse fallen,
 - c) wenn vom Brennpunkt herkommende Strahlen auf eine Sammellinse fallen!

§ 6. Die photographische Kamera und das menschliche Auge

1. Die verkleinerte reelle Abbildung in der photographischen Kamera. In der *photographischen Kamera** wird durch eine Sammellinse ein reelles, umgekehrtes, verkleinertes Bild der Gegenstände entworfen, die sich vor der Kamera befinden (Abb. 29/1). Bei der Scharfeinstellung verschiebt man die Linse in Richtung der optischen Achse. Sie muß nämlich je nach der Entfernung des Gegenstandes einen bestimmten Abstand vom Film haben. Bei der Aufnahme eines sehr weit entfernten Gegenstandes wird die Linse so weit zum Film hin verschoben, daß ihr Brennpunkt nahezu auf dem Film liegt. Der Abstand zwischen der Linse und dem Film ist dann etwa gleich der Brennweite (vgl. Abb. 29/1). Bei der Abbildung eines kleinen Gegenstandes in natürlicher Größe ist der Abstand des Gegenstandes von der Linse gleich der doppelten Brennweite. Den gleichen Abstand hat in diesem Falle die Linse vom Film.



Abb. 29/1. Die Wirkungsweise einer photographischen Kamera

Als Sammellinse dient bei der photographischen Kamera ein *Objektiv**. Es ist aus mehreren Linsen zusammengesetzt. Dadurch erzeugt man schärfere Bilder. Mit großer Sorgfalt müssen die Glassorten auf ihre Eigenschaften, wie Reinheit, Lichtdurchlässigkeit und Brechkraft, geprüft werden. Ebenso sorgfältig werden die Einzellinsen geschliffen, verkittet und in die Fassungen eingesetzt. Eines der besten und bekanntesten Objektive ist das *Zeiss-Tessar* (Abb. 30/1). Es ist eine Kombination von zwei Sammellinsen und zwei Zerstreuungslinsen. Die Kombination einer Sammellinse mit einer Zerstreuungslinse wurde auch für das bekannte Warenzeichen des VEB Carl Zeiss Jena verwendet (Abb. 30/2).

Das reelle Bild des photographierten Gegenstandes wird auf einer *lichtempfindlichen Schicht* aufgefangen. Diese Schicht ist auf einen Film oder auf eine Glasplatte aufgegossen. Der Film bzw. die Glasplatte befinden sich an der Rückwand des lichtdichten Kameragehäuses. Auf dem Film entsteht durch die Aufnahme und durch die Entwicklung mit Chemikalien ein *Negativ**. Diese Bezeichnung kommt daher, weil alle Helligkeitswerte umgekehrt sind. Ein heller Gegenstand sieht auf dem Negativ schwarz aus, ein schwarzer Gegenstand dagegen hell (Abb. 30/3). Wird von dem Negativ ein Abzug auf Papier, ein *Positiv**, angefertigt, so werden die Helligkeitswerte wieder richtiggestellt (Abb. 30/4).

Manche Kameras besitzen eine mattierte Glasscheibe, die als *Mattscheibe* bezeichnet wird. Auf ihr wird das Bild zuerst scharf eingestellt, bevor es durch die Aufnahme auf der Platte festgehalten wird.

Jede Kamera hat eine *Blende*. Sie wird nach ihrer Ähnlichkeit mit der *Iris** des

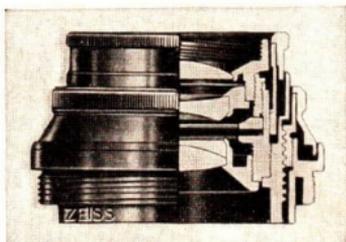


Abb. 30/1. Objektiv Zeiss-Tessar

Abb. 30/2
Warenzeichen des
VEB Carl Zeiss
Jena

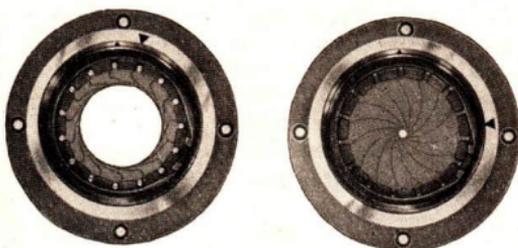


Abb. 30/3. Negativ



Abb. 30/4. Positiv der Abb. 30/3

Auges *Irisblende* genannt (Abb. 31/1). Die Blende regelt den Lichteinfall in die Kamera. Bei Blenden mit kleinen Durchmessern, die durch große Blendenzahlen gekennzeichnet sind, sind längere *Belichtungszeiten* erforderlich als bei großen Blenden. Durch die Blende wird die sogenannte *Schärfentiefe* des Bildes beeinflusst. Beim Benutzen einer kleinen

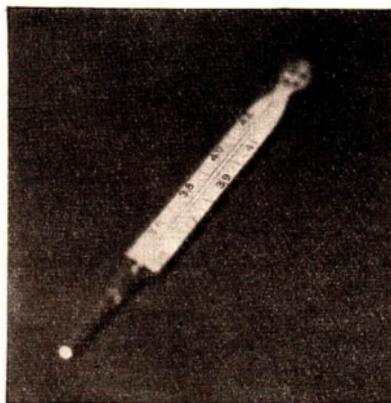


a) große

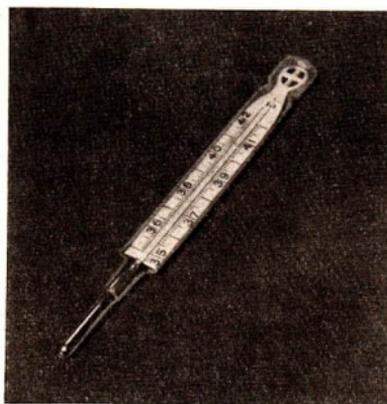
b) kleine Blendenöffnung.

Abb. 31/1. Irisblende. Die Deckplatte ist abgenommen. Eine Drehung nach rechts bewirkt eine Verengung der Blendenöffnung. Beachte die Einstellmarke am Rande!

Blende wird ein größerer Entfernungsbereich scharf abgebildet. Die Abbildung 31/2 zeigt zwei Aufnahmen des gleichen Gegenstandes. Die linke Aufnahme wurde mit großer Blende und die rechte mit kleiner Blende gemacht.



a) mit Blende 4



b) mit Blende 22

Abb. 31/2. Zwei Aufnahmen vom gleichen Standpunkt aus

2. Die wichtigsten Kameratypen. a) Die *Rollfilm-Boxkamera** (Abb. 32/1). Die *Boxkameras* haben ein festes Gehäuse. Bei ihnen ist das Objektiv meist nur eine einfache Sammellinse, so daß die Bilder nicht so scharf werden wie bei einer Kamera mit einem zusammengesetzten Objektiv. Damit die Bilder trotzdem scharf genug ausfallen, wird eine kleine Blende benutzt. Eine besondere Scharfeinstellung ist im allgemeinen bei den Boxkameras nicht erforderlich, weil bei der kleinen Blende alle Gegenstände von etwa 3 m bis zu einer beliebig großen Entfernung scharf abgebildet werden. Der Film wird mit Hilfe einer Drehvorrichtung von einer Spule

ab- und auf eine zweite aufgewickelt. Die Boxkamera hat einen Verschluss, der die Kamera hinter der Linse lichtdicht abschließt. Er öffnet sich beim Belichten für den Bruchteil einer Sekunde, und zwar für etwa $\frac{1}{25}$ s. Da die Möglichkeit zum direkten Beobachten des Bildes auf der Mattscheibe fehlt, ist jede Boxkamera mit einem Sucher ausgestattet, der im Kameragehäuse untergebracht ist. Mit ihm ermittelt man den Bildausschnitt. Die Größe des Bildes auf dem Film beträgt im allgemeinen $6 \text{ cm} \times 9 \text{ cm}$.

b) Die Rollfilm-Klappkamera (Abb. 32/2). Die Kamera wird nach vorn durch einen Lederbalgen lichtdicht abgeschlossen, der aus dem Gehäuse herausgeklappt werden kann. Er trägt an der Vorderseite das aus mehreren Linsen bestehende Objektiv und den Verschluss mit der Blende. Am Objektiv ist die Einstellung auf verschiedene Entfernungen markiert.

Abb. 32/2. Rollfilm-Klappkamera „Erkona“, hergestellt vom VEB Kinowerk, Dresden. 1 Gehäuse mit Filmspulen, 2 Klappdeckel mit Führungshebeln für das Objektiv, 3 Lederbalgen, 4 Objektiv, 5 Verschluss, 6 aufgeklappter Sucher

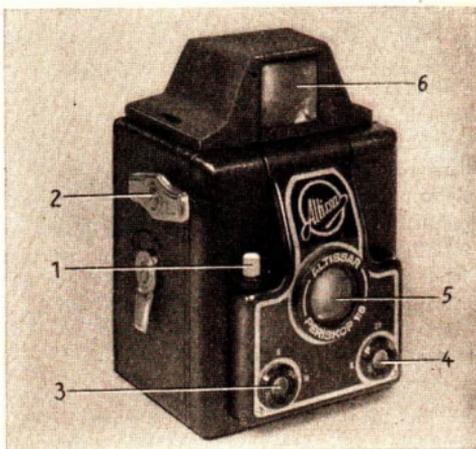
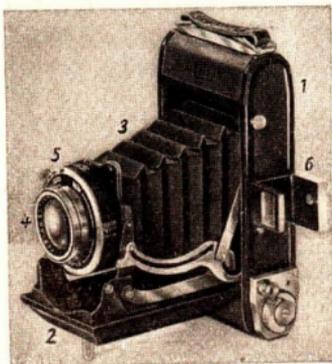
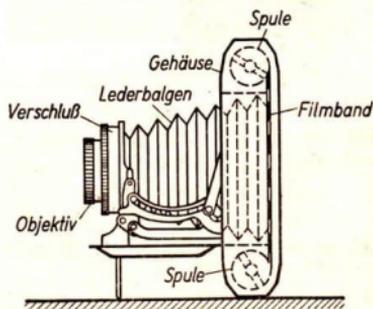


Abb. 32/1. Rollfilm-Boxkamera „Altissa“, hergestellt vom VEB Altissa-Camera-Werk, Dresden. 1 Auslöseknopf, 2 Kurbel für Filmtransport, 3 Einstellung der Blende, 4 Einstellung der Verschlusszeiten, 5 Objektiv, 6 Durchblicksucher

Abb. 32/3
Schnitt durch eine Rollfilm-Klappkamera



Zum Scharfeinstellen des Bildes schätzt man die Entfernung des Aufnahmegegenstandes von der Kamera möglichst genau und stellt das Objektiv durch Drehen in einem Gewinde auf diese Entfernung ein. Der Filmlauf ist derselbe wie bei der Boxkamera; er ist aus der Abbildung 32/3 zu ersehen. Je nach dem Kameratyp kann das Negativ folgende Größen haben: 4 cm × 4 cm, 4,5 cm × 6 cm, 6 cm × 6 cm und 6 cm × 9 cm.

c) Die Kleinbildkamera.

Die modernste Form der Kamera ist die *Kleinbildkamera*. Ihre übliche Bildgröße ist 24 mm × 36 mm. Der Film ist in einem Gehäuse zwischen zwei Spulen ausgespannt. Die eigentliche Kamera wird meist von einem Metallrohr gebildet, das auf dem Gehäuse aufsitzt und das Objektiv trägt.

Die Abbildung 33/1 zeigt die bekannte „Praktica“, eine hochentwickelte Form der Kleinbildkamera. Die „Praktica“ ist eine *Spiegelreflexkamera*. Bei dieser Kamera wird das Bild in der gleichen Größe und Schärfe, wie es auf dem Film abgebildet wird, durch einen umklappbaren Spiegel auf eine Mattscheibe geworfen, die von oben betrachtet werden kann. Dort wird das Bild scharf eingestellt und seine Begrenzung bestimmt. Beim Auslösen des Verschlusses klappt der Spiegel blitzschnell nach oben, so daß das Bild auf dem Film entsteht.

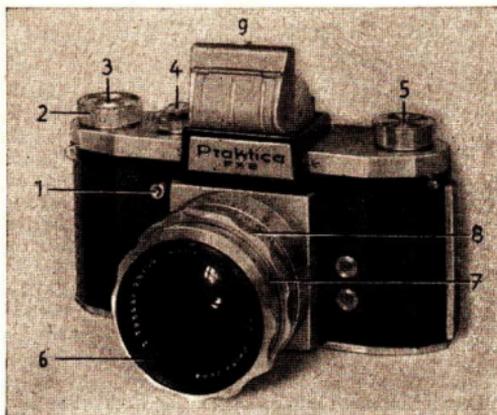


Abb. 33/1. Kleinbildkamera „Praktica“, hergestellt von den volkseigenen Kamerawerken Niedersieditz, Dresden. Zeiss-Objektiv Tessar, Brennweite 50 mm, Bildgröße 24 mm × 36 mm. Die Sucheröffnung ist aufgeklappt. 1 Auslöseknopf, 2 Filmtransportknopf, 3 Bildzählscheibe, 4 Einstellknopf für Verschlusszeiten, 5 Rückspulknopf, 6 Objektiv, 7 Einstellring für die Blendenöffnung, 8 Einstellring für die Entfernung, 9 Sucher

3. Die Bildentstehung im menschlichen Auge. Die Bilder entstehen in unserem Auge ähnlich wie in einer photographischen Kamera. Sie sind verkleinerte reelle Abbildungen der Gegenstände vor dem Auge. Die Sammellinse des Auges, die man *Augenlinse* nennt, besteht aus einem durchsichtigen elastischen Stoff und befindet sich unmittelbar hinter der *Pupille** (Abb. 34/1). Das reelle Bild wird auf der lichtempfindlichen *Netzhaut* erzeugt, die die Rückwand des Augapfels auskleidet. Sie wird aus den Enden der *Sehnervfasern* gebildet. Auf der Netzhaut steht das Bild an sich umgekehrt. Daß wir trotzdem die Gegenstände aufrechtstehend erblicken,

ist eine Folge der Gewöhnung von Kind auf. Unsere Erfahrung lehrt uns, daß die Gegenstände aufrecht stehen.

Die Scharfeinstellung geht im Auge anders vor sich als bei der photographischen Kamera, weil der Abstand zwischen der Augenlinse und der Netzhaut nicht veränderlich ist. Beim Scharfeinstellen wird die Krümmung der Augenlinse und damit ihre Brennweite jeweils so verändert, daß die Bilder stets auf der Netzhaut entstehen.

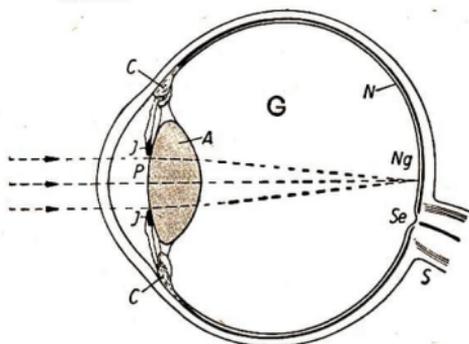


Abb. 34/1. Waagerechter Schnitt durch das Auge (schematisch). *I* Iris (Regenbogenhaut); *P* Pupille, Sechloch in der Regenbogenhaut; *N* Netzhaut, sie ist die lichtempfindliche Schicht des Auges und enthält die Enden der Sehnervfasern; *Ng* Netzhautgrube; *S* Sehnerv; *Se* Sehnervende; *A* Augenlinse, durchsichtig, elastisch, in der Wölbung veränderlich; *C* Ziliarmuskel, Muskel zum Verändern der Linsenkrümmung; *G* Glaskörper, aus einer gallertartigen, durchsichtigen Masse bestehend

Das Krümmen und Abflachen der Augenlinse bewirkt ein Muskel, der die Linse ringartig umschließt. Er heißt *Ziliarmuskel**. In der Abbildung 34/2 ist das Entstehen des Bildes eines entfernten und eines nahen Gegenstandes im Auge und in der Kamera gegenübergestellt.

Zum Regeln der einfallenden Lichtmenge dient die *Regenbogenhaut* oder *Iris*. So nennt man die meist braun oder graublau gefärbte Haut, die in ihrer Mitte die *Pupille* bildet. Sie zieht sich je nach der herrschenden Helligkeit zusammen oder dehnt

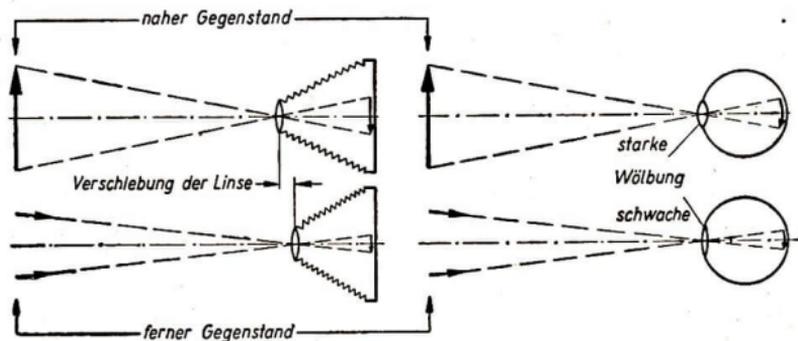


Abb. 34/2. Vergleich der Abbildung eines entfernten und eines nahen Gegenstandes im Auge und in der Kamera

sich aus, so daß die Pupille größer oder kleiner wird. Sie entspricht der Blende bei der photographischen Kamera.

Das Entstehen des Bildes im Auge ist aber nur ein Teil des Vorganges, den wir das Sehen nennen. Die Eindrücke des Bildes auf der Netzhaut werden durch die Sehnerven an das Gehirn weitergegeben und dort verarbeitet.

4. Versuche, Fragen und Aufgaben:

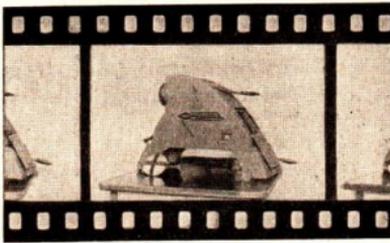
1. Die Eintrittsstelle des Sehnervs in das Auge ist gegen Lichtreize unempfindlich. Zeichne auf ein Blatt Papier in einem gegenseitigen Abstand von etwa 10 cm zwei Kreuze, lege das Papier vor dich auf den Tisch und betrachte das rechte Kreuz mit dem linken Auge oder das linke Kreuz mit dem rechten Auge! Es wird abwechselnd das eine der beiden Kreuze unsichtbar.
2. Richte eine Plattenkamera aus einiger Entfernung gegen das Fenster! Setze die Mattscheibe ein und betrachte das Mattscheibenbild! Stelle auf das Fensterkreuz scharf ein! Schließe die Blende allmählich! Welchen Einfluß hat dies auf die Helligkeit und auf die Schärfe der Bilder der vor und hinter dem Fenster sichtbaren Gegenstände?
3. Beobachte auf die gleiche Weise, wie sich beim Scharfeinstellen auf verschiedene Entfernungen der Abstand zwischen dem Objektiv und dem Mattscheibenbild verändert!
4. Welcher der in Abbildung 28/1 zusammengestellten Fälle findet auf die photographische Kamera und auf das Auge Anwendung?
5. Worin unterscheiden sich die Sammellinsen im Auge und in der Kamera?
6. Welche Teile dienen bei der Kamera und beim Auge zum Auffangen des Bildes?
7. Wie geht das Scharfeinstellen bei der Kamera und beim Auge vor sich?
8. Welche Wirkung hat das Ablenden beim Auge und bei der Kamera?

§ 7. Projektionsapparate

I. Der Bildwerfer. Bei einem Lichtbildervortrag will man kleine Glas- oder Filmbildchen vergrößert auf einem Bildschirm wiedergeben. Das Gerät, mit dem dies geschieht, heißt *Bildwerfer* oder *Projektor**. Am gebräuchlichsten sind heute *Kleinbildwerfer*, die für durchsichtige Bilder vom Format 24 mm × 36 mm bestimmt sind. Die durchsichtigen Bilder nennt man *Diapositive* (Abb. 36/1). Die Diapositive werden entweder als Filmstreifen verwendet oder sie werden einzeln zwischen zwei Glasscheiben vom Format 5 cm × 5 cm gelegt.

Der Bildwerfer enthält eine starke Lichtquelle, die meist eine elektrische Glühlampe besonderer Bauart ist. Die von ihr ausgehenden Lichtstrahlen werden durch ein Linsensystem, den *Kondensator**, gesammelt, damit das Diapositiv ausreichend und gleichmäßig durchleuchtet wird (Abb. 36/2). Ein Objektiv bildet das durchleuchtete Diapositiv auf den Schirm ab. Da das Bild bei der reellen Abbildung umgekehrt wird, muß das Diapositiv auf dem Kopf stehend und seitenverkehrt in den Bildwerfer gesteckt werden.

Die Abbildung 36/3 zeigt den Aufbau eines modernen, sehr lichtstarken Kleinbildwerfers des VEB Carl Zeiss Jena.



a) als Film

Abb. 36/1. Diapositiv

b) als Einzeldiapositiv

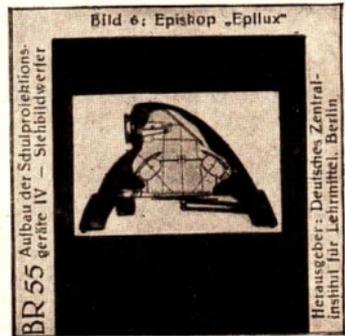


Abb. 36/2

Strahlengang in einem Bildwerfer für Glasbilder

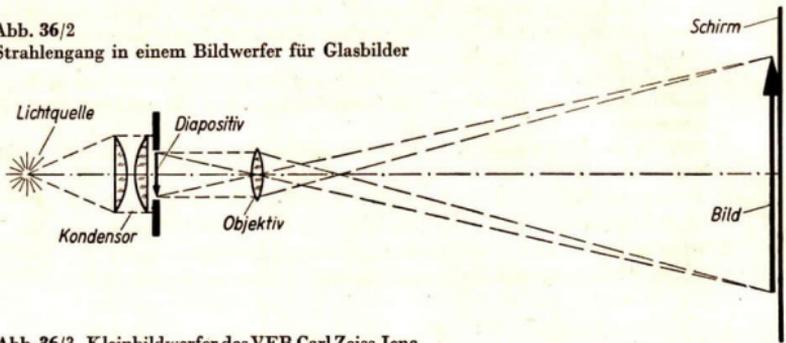
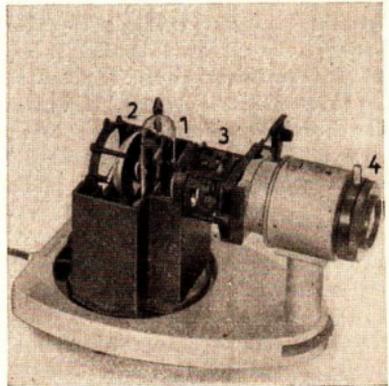


Abb. 36/3. Kleinbildwerfer des VEB Carl Zeiss Jena

1 Lampe (350 Watt) 2 Kondensor 3 Reflektor (Hohlspiegel) 4 Objektiv (Brennweite 100 mm)

a) Gesamtansicht

b) das Lampengehäuse ist abgenommen



2. Das Episkop. Während beim Bildwerfer Glas- oder Filmbilder durchleuchtet werden, kann man mit dem *Episkop* undurchsichtige Bilder, Papierbilder, wie Abbildungen aus Büchern, Postkarten, Kunstdrucke, durch Beleuchtung und Spiegelung projizieren. Die Abbildung 37/1 zeigt den Aufbau eines Episkops. Das Bild wird mittels starker Spezialglühlampen beleuchtet. Die am Bild reflektierten Strahlen werden mit Hilfe eines um etwa 45° geneigten ebenen Spiegels durch ein Linsensystem auf den Schirm geworfen. Die Lichtstärke ist infolge der mehrmaligen Reflexion bei den Episkopen trotz technischer Vervollkommung bei weitem nicht so groß wie bei den Bildwerfern.

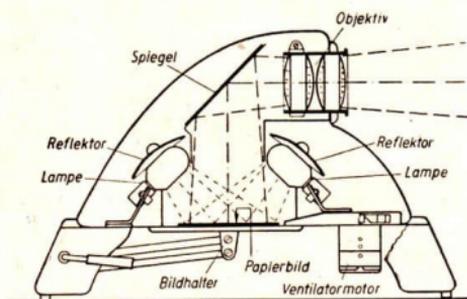
Abb. 37/1. Episkop

a) Ansicht



b) Die Wirkungsweise (schematisch)

3. Filmvorführgeräte. Der optische Aufbau der *Filmvorführgeräte* ist dem der Bildwerfer ähnlich. Bei ihnen werden die Bilder des Films in schneller Folge ruckweise an einem Bildfenster vorbeibewegt. Infolge der schnellen Bildfolge kann der Betrachter nicht mehr jedes einzelne Bild und jeden Bildwechsel erfassen, sondern erhält den Eindruck eines bewegten Bildes. Während des Weiterrückens, beim Bildwechsel,



wird jedesmal der Strahlengang durch eine rotierende Scheibe unterbrochen. Der Bildstreifen ist bei normalem Kinofilm 35 mm und bei den Schmalfilmen 16 mm oder 8 mm breit. Die Abbildung 38/1 zeigt ein modernes Schmalfilmvorführgerät,

wie es in unseren Schulen benutzt wird. In der Abbildung 38/2 ist das Filmvorführgerät „Weimar II“ für 8-mm-Film wiedergegeben. Dieses Gerät wird als Heimkino für selbstaufgenommene Filme verwendet.

Die Bildfolge ist beim Kinofilm 24 Bilder in einer Sekunde. Bei einfachen Geräten für den 8-mm-Film genügt schon ein Bildwechsel von 16 Bildern in der Sekunde.

Abb. 38/1. Schmalfilmvorführgerät des VEB Carl Zeiss Jena für 16-mm-Film. Die Seitenwand ist aufgeklappt. 1 Lampengehäuse, 2 Objektiv, 3 Film, 4 Abwickelspule, 5 Aufwickelspule, 6 Ventilator

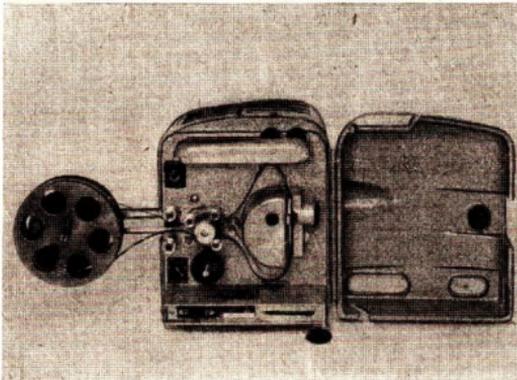
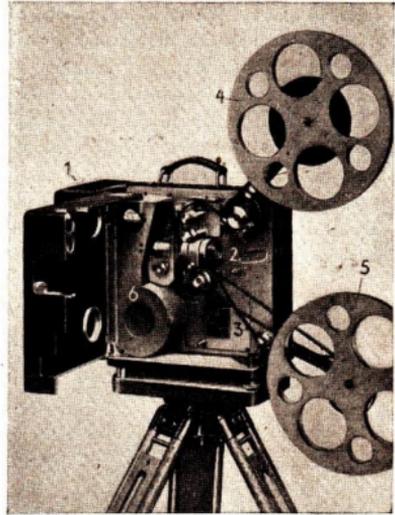


Abb. 38/2
Filmvorführgerät
„Weimar II“ des VEB Fein-
gerätewerk Weimar, für
8-mm-Schmalfilm. Die Sei-
tenwand ist aufgeklappt.

4. Versuche und Fragen:

1. Welcher der in Abbildung 28/1 zusammengestellten Fälle findet auf den Bildwerfer Anwendung?
2. Was versteht man unter einem Diapositiv?
3. Beleuchte ein Diapositiv von hinten mit einer Glühlampe, einer Taschenlampe oder einer Kerze! Bilde das Diapositiv mit Hilfe einer Sammellinse vergrößert ab! Zeige, wie durch Einfügen einer Sammellinse als Kondensator zwischen Lampe und Diapositiv das Bild auf der Wand heller und gleichmäßiger ausgeleuchtet wird!

4. Nenne die wichtigsten Teile des Bildwerfers! Welche Aufgaben haben sie im einzelnen zu erfüllen?
5. Wodurch unterscheidet sich ein Filmvorführgerät von einem Bildwerfer?
6. Welchen Vorteil und welchen Nachteil hat ein Episkop gegenüber den anderen Projektionsapparaten?

§ 8. Optische Geräte für Nah- und Fernbeobachtung

1. Die Lupe. Blicken wir durch eine Sammellinse auf eine Briefmarke, die innerhalb der Brennweite der Linse liegt, dann erscheint uns die Marke vergrößert. Wir erkennen infolgedessen an ihr Einzelheiten, die wir mit bloßem Auge schwer oder gar nicht sehen können. Solche Vergrößerungsgläser bezeichnet man als *Lupen*. Sie werden in den verschiedensten Gebieten der Produktion und der Forschung verwendet.

In der Landwirtschaft benutzt man Lupe zum Prüfen des Saatgutes. Je nach ihrem Verwendungszweck werden sie mit einem Handgriff oder mit einer Vorrichtung zum Aufstellen versehen. Aus der Abbildung 39/1 ist die Wirkung einer Lupe zu erkennen. Die Abbildung 39/2 zeigt eine *Fadenzähllupe*, wie sie in Webereien verwendet wird, um die Qualität des Gewebes zu prüfen. In der Abbildung 39/3 sehen



Abb. 39/1. Durchsicht durch ein Leseglas



Abb. 39/2
Fadenzähllupe. Der
Ausschnitt in der
Fußplatte des Lupen-
gestells beträgt genau
1 cm².



Abb. 39/3. Kopflupe aus dem volkseigenen Carl Zeiss Werk in Jena. Die Lupe ermöglicht das Betrachten mit beiden Augen.

wir eine *binokulare* Kopflupe*, die durch ein Kopfband gehalten wird. Sie ermöglicht das *gleichzeitige Beobachten mit beiden Augen* und läßt dem Benutzer die Hände zur Arbeit frei. Andere Lupen lassen sich mit ihrem Gehäuse vor das Auge klemmen. Diese werden hauptsächlich von Uhrmachern und Feinmechanikern benutzt. Versuche mit Sammellinsen verschiedener Brennweiten ergeben:

Eine Lupe vergrößert um so stärker, je kleiner ihre Brennweite ist.

Das Größenverhältnis zwischen dem Gegenstand, wie er durch die Lupe erscheint, und dem Gegenstand selbst bezeichnet man als *Vergrößerung*. Man kann die Vergrößerung einer Lupe grob bestimmen, indem man den gleichen Gegenstand mit dem einen Auge durch eine Lupe, mit dem anderen direkt betrachtet und das Größenverhältnis schätzt (Abb. 40/1).

Abb. 41/1a zeigt die Abbildung eines Gegenstandes im Auge. Hält man eine Lupe vor das Auge, so werden die Strahlen in der Lupe gebrochen und treten unter einem anderen Winkel als vorher in die Augenlinse ein (Abb. 41/1b).

Dadurch wird der Gegenstand größer auf der Netzhaut abgebildet, wie ein Vergleich der Abbildungen 41/1a und b zeigt. Die vom Punkt P ausgehenden Strahlen scheinen nach ihrem Durchgang durch die Lupe vom Punkt P' herzukommen. P' ist das Bild von P . Man kann aber diesen Punkt P' wie auch alle anderen Bildpunkte des Gegenstandes nicht auf einem Schirm auffangen und kann ihn nur durch eine geometrische Konstruktion ermitteln. Man nennt aus diesem Grunde P' das *scheinbare* oder *virtuelle** Bild des Punktes P , im Gegensatz zu einem reellen Bild, das man auffangen kann.

Das virtuelle Bild ist nicht umgekehrt wie das reelle. Dies ist aus der Abbildung 41/1 und auch aus der Abbildung 40/1 ersichtlich. Der Punkt P' liegt auf derselben Seite der optischen Achse wie der Punkt P . Bei Sammellinsen entsteht dann ein virtuelles Bild, wenn sich der Gegenstand innerhalb der einfachen Brennweite befindet.

Auch das *Bild im ebenen Spiegel ist ein virtuelles Bild*, es ist aufrechtstehend und läßt sich nicht auffangen (vgl. Seite 14 und Seite 15).

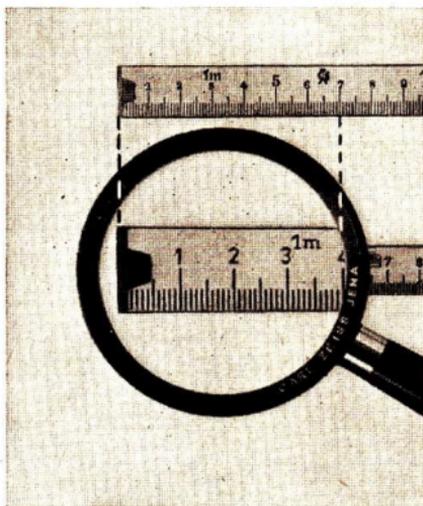


Abb. 40/1. Betrachten eines Gliedermaßstabes ohne Lupe (oben) und mit Lupe (unten). Es ergibt sich ein Vergrößerungsmaßstab von rund 1,75 : 1.

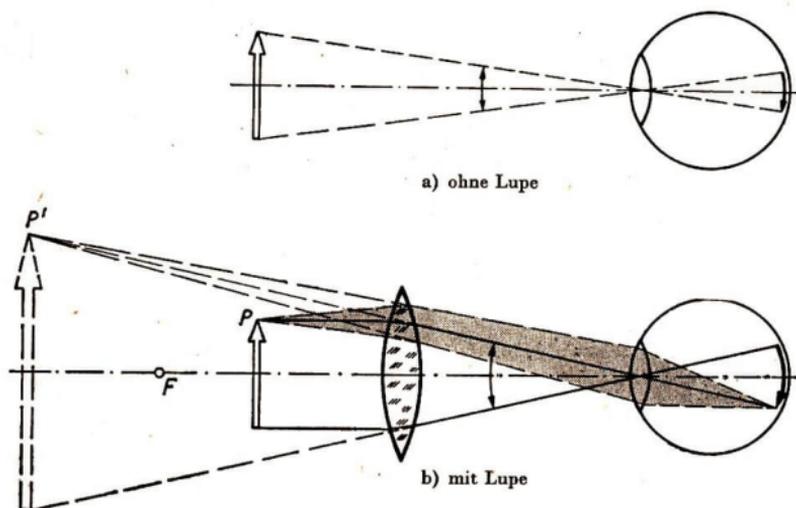


Abb. 41/1

Die vergrößernde Wirkung einer Lupe. Abbildung eines Gegenstandes auf der Netzhaut

2. Das Mikroskop. Mit einer Lupe erreicht man im günstigsten Falle eine etwa 20fache Vergrößerung. Für wissenschaftliche Untersuchungen benötigt man aber Geräte mit weit stärkerer Vergrößerung. Solche Geräte nennt man *Mikroskope**. Mit ihnen kann man Einzelheiten von Gegenständen und kleine Dinge sichtbar machen, die man mit dem bloßen Auge wegen ihrer geringen Größe nicht erkennen kann.

Die Wirkungsweise eines Mikroskops machen wir uns an einem einfachen Versuch mit zwei Sammellinsen klar (Abb. 41/2). Ein durchsichtiger Gegenstand wird durchleuchtet. Von einer Sammellinse, dem *Objektiv*, wird auf einer Mattscheibe ein ver-

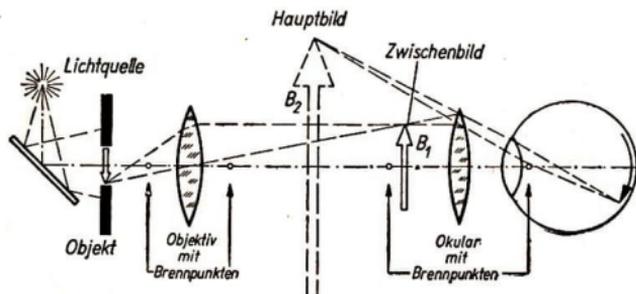


Abb. 41/2. Versuchsanordnung zur Veranschaulichung der Wirkungsweise eines Mikroskops

größtes reelles Bild B_1 , das *Zwischenbild*, entworfen. Je näher der Gegenstand an den Brennpunkt des Objektivs herangebracht wird, um so größer wird das Zwischenbild, um so weiter rückt es aber auch vom Objektiv fort (vgl. § 5,4). Damit dieser Abstand nicht zu groß wird, benutzt man Objektive mit kleinen Brennweiten. Außerdem erhält man bei einem solchen Objektiv trotz kleiner Bildweite ein großes Zwischenbild. Es wird durch eine zweite Sammellinse, das *Okular**, betrachtet. Das Okular wirkt als Lupe, so daß man ein stark vergrößertes *Hauptbild* B_2 sieht. Die *Mattscheibe* kann jetzt entfernt werden; die Wirkung bleibt die gleiche.

Die Abbildung 42/1 stellt einen senkrechten Schnitt durch ein einfaches Mikroskop dar. Ein schweres *Stativ* trägt ein Rohr, den *Tubus**, der durch eine Schraube, die *Trieb-schraube*, auf und ab bewegt werden kann. In die untere Fassung des Tubus wird das Objektiv eingeschraubt. Die für Mikroskope verwendeten Objektive haben Brennweiten von nur wenigen Millimetern. Aus diesem Grunde muß das Objektiv durch Senken des Tubus sehr nahe an das Objekt herangebracht werden. Bei einem Mikroskop ist das Objektiv im allgemeinen aus mehreren Linsen zusammengesetzt, die mit großer Genauigkeit in eine Fassung eingefügt sind (Abb. 42/2). In die obere Tubusöffnung wird das Okular eingesetzt.

Die zu untersuchenden Gegenstände, die *Objekte*, werden auf den *Objektisch* gelegt, der unterhalb des Objektivs am Stativ befestigt ist. Von den Objekten fertigt man dünne Schnitte an und legt sie auf eine dünne Glasscheibe, den *Objektträger*. Dann werden die Schnitte mit einem sehr dünnen Glasplättchen, dem *Deckglas*, bedeckt. Das Objekt wird von unten her durch einen Spiegel beleuchtet. Während wir den Tubus von der Seite her beobachten, senken wir ihn vorsichtig so weit, bis sich der untere Rand des Objektivs dicht über dem Deckglas befindet. Dann blicken wir in das Okular und heben den

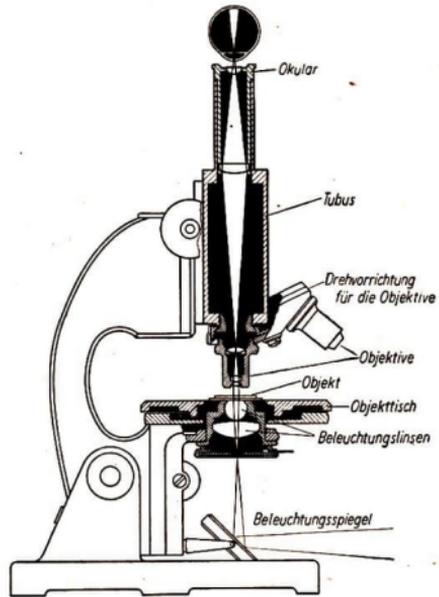
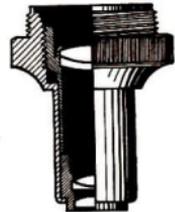


Abb. 42/1. Achsenschnitt durch ein Geradsicht-Mikroskop mit eingezeichnetem Strahlengang

Abb. 42/2. Schnitt durch ein Mikroskopobjektiv





Ernst Abbe
(1840—1905)

Tabus durch Drehen der Triebsschraube, bis das Bild scharf erscheint.

Bis in die Hälfte des vorigen Jahrhunderts wurden Mikroskope rein handwerksmäßig hergestellt. Erst der Jenaer Physiker *Ernst Abbe**, ein Mitbegründer der Carl Zeiss Werke, schuf die wissenschaftliche Grundlage für den Bau optischer Geräte.

Mit leistungsfähigen Mikroskopen kann man noch zwei Punkte unterscheiden, die einen Abstand von etwa $\frac{4}{100\,000}$ cm haben. Eine wesentlich stärkere Vergrößerung erreicht man mit *Elektronenmikroskopen*. Die Abbildung 43/1 zeigt das elektronenmikroskopische Bild von Bromsilberkörnern, die sich in der lichtempfindlichen Schicht der Filme befinden.

3. Das astronomische Fernrohr. Bereits der deutsche Astronom *Johannes Kepler** benutzte ein einfaches *Fernrohr* zu Beobachtungen der Gestirne. Unsere heutigen weitreichenden Kenntnisse vom Bau des Weltalls sind vor allem auf die hohe Entwicklung der Fernrohre zurückzuführen (Abb. 44/1). Wir sehen an diesem Beispiel besonders deutlich, wie die auf Grund unserer physikalischen Erkenntnisse geschaffenen Geräte es uns ermöglichen, die Erscheinungen und die Zusammenhänge in der Natur immer besser zu erkennen.

Abb. 43/1. Elektronenmikroskopisches Bild von Bromsilberkörnern. Vergrößerung 14 000 : 1. Die in der Abbildung eingezeichnete Strecke ist in Wirklichkeit $1\mu = \frac{1}{1000}$ mm lang.



Das astronomische Fernrohr ist trotz der ganz anders gearteten Aufgabe dem Mikroskop sehr ähnlich gebaut. Wir können ein Modell dieses Fernrohres aus zwei Sammellinsen, dem *Objektiv* und dem *Okular*, zusammensetzen (Abb. 44/2).

Als Objektiv dient eine Sammellinse von großer Brennweite und einem verhältnismäßig großen Durchmesser. Da die Himmelskörper außerordentlich weit entfernt liegen, sind die von ihnen herkommenden Lichtstrahlen nahezu parallel. Das Objektiv entwirft von den Himmelskörpern ein reelles, umgekehrtes, verkleinertes Bild B_1 , das man wie beim Mikroskop als *Zwischenbild* bezeichnet; es entsteht nahe dem Brennpunkt des Objektivs (vgl. Abb. 44/2). Das dem Auge zugekehrte Okular ist



Johannes Kepler
(1571–1630)

Länge des Rohres	170 cm
Durchmesser des Objektivs	10,5 cm
Brennweite des Objektivs	150 cm
Durchmesser des Kuppel- raumes	4 m
Höhe des Kuppelraumes	4,2 m

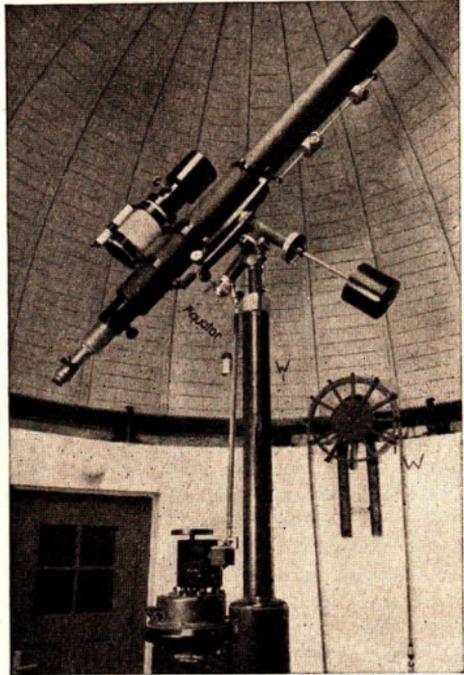


Abb. 44/1. Astronomisches Fernrohr in der Schulsternwarte der Pestalozzi-Schule in Rode-
wisch im Vogtland. Das Rohr trägt seitlich eine photographische Kamera für Sternaufnahmen,
einen Astrographen.

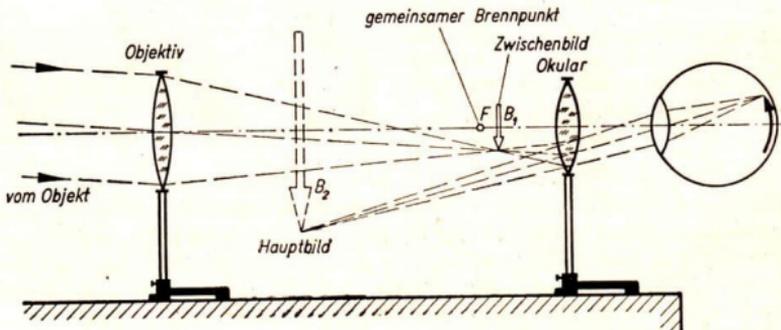


Abb. 44/2. Die Wirkungsweise des astronomischen Fernrohrs. Der weit entfernte Gegenstand
(Stern) wird vom Objektiv in B_1 abgebildet. Das reelle Bild wird durch das Okular vergrößert
betrachtet (vgl. Lupenwirkung Abb. 41/1).

ebenfalls eine Sammellinse und wirkt als Lupe. Die Brennpunkte von Objektiv und Okular fallen fast zusammen. Wir erhalten ein virtuelles Bild B_2 , das größer als B_1 ist. Für Himmelsbeobachtungen stört es nicht, daß die entstehenden Bilder umgekehrt sind.

Für starke Vergrößerungen braucht man Objektive mit großen Brennweiten und großen Durchmessern. So haben die größten Fernrohre Objektive mit Brennweiten bis etwa 19 m und Durchmesser bis 1 m. Man erzielt dadurch etwa eine 1000fache Vergrößerung. Richtet man ein solches Fernrohr auf den Mond, so kann man noch Unebenheiten des Bodens erkennen, die etwa 100 m lang sind.

4. Das Prismenfernglas. Damit man das astronomische Fernrohr auch für Beobachtungen auf der Erde benutzen kann, muß man das umgekehrte Bild aufrichten. Zu diesem Zweck wurden *Prismengläser* entwickelt, die auch *Feldstecher* genannt werden. Sie wurden gegen Ende des vorigen Jahrhunderts zuerst vom Carl Zeiss Werk in Jena nach den Angaben von *Ernst Abbe* hergestellt. Feldstecher haben für jedes Auge ein Fernrohr (Abb. 45/1). In den Strahlengang jedes Rohres sind *zwei Glasprismen* eingebaut, an deren Flächen die Lichtstrahlen viermal wie an Spiegeln zurückgeworfen werden. Dabei wird in einem der beiden Prismen oben und unten, im anderen Prisma rechts und links vertauscht (Abb. 45/2). Infolgedessen erscheint der Gegenstand wieder in seiner natürlichen Stellung. Durch diese besondere Anordnung der Prismen werden die sonst langen und dadurch unhandlichen Fernrohre kurz und handlich.

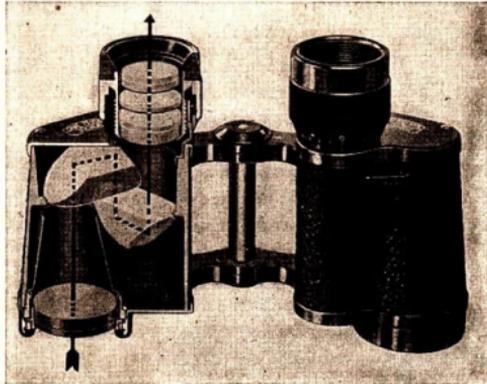


Abb. 45/1. Prismenfernglas des VEB Carl Zeiss Jena. Eine Seite ist aufgeschnitten, damit der Lichtweg sichtbar wird.

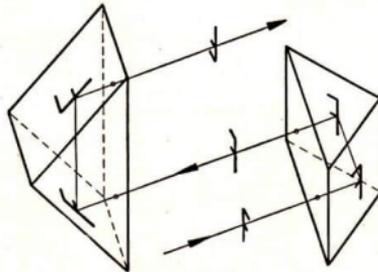


Abb. 45/2

Umkehrung eines Bildes durch zwei Glasprismen

5. Die optische Industrie der Deutschen Demokratischen Republik. Die für optische Geräte, wie Mikroskope, Fernrohre, Photoapparate und Brillen, erforderlichen Lin-

sen werden in großen Industriebetrieben hergestellt. Der bedeutendste Betrieb dieser Art in unserer Deutschen Demokratischen Republik ist der *VEB Carl Zeiss in Jena*, der in über 80 Länder der Erde optische Geräte exportiert. Rund 8000 Arbeiter dieses volkseigenen Werkes produzieren neben Objektiven für Photoapparate in erster Linie Mikroskope, Filmvorführgeräte und Feinmeßgeräte.

Die hohe, in der ganzen Welt geschätzte Qualität der Zeiss-Erzeugnisse beruht vor allem auf den großen Erfahrungen, den Kenntnissen und der engen Zusammenarbeit der vielen hundert Wissenschaftler und Facharbeiter. Das hochwertige Glasmaterial liefert ihnen der gleichfalls in Jena arbeitende *VEB Jenaer Glaswerk Schott und Genossen*. Hier wurden neue Glassorten entwickelt, die allen Anforderungen der optischen Industrie genügen.

Zeiss-Objektive werden in den hochwertigen Photoapparaten verwendet, die unsere Kamerawerke herstellen. Die wichtigsten unter ihnen sind der *VEB Kamerawerke Niedersedlitz*, der *VEB Kinowerk Dresden* und das *Ihagee Kamerawerk Dresden*. Auch diese optischen Betriebe liefern Photoapparate, Mikroskope und andere Geräte in viele Länder Europas, Asiens, Afrikas und Amerikas. Wir können dafür wertvolle Rohstoffe importieren. Für eine einzige, nur wenige hundert Gramm wiegende Kamera vom Typ „Exakta Varex“ erhalten wir zum Beispiel 118 kg Baumwolle für unsere Textilindustrie. Aus dieser Baumwolle kann man 590 m² Baumwollstoff weben, der zum Anfertigen von 260 Kleidern reicht. Da wir für unsere gesamte Wirtschaft viele Rohstoffe einführen müssen, ist der Export hochwertiger optischer Geräte von großer Bedeutung. Infolgedessen wurden von unseren Werktätigen große Anstrengungen unternommen, um auch die Produktion optischer Geräte zu steigern.

Die untenstehende Tabelle zeigt beispielsweise die Erhöhung der Produktion von Photoapparaten in den Jahren 1950 bis 1956. Wir erkennen eine Steigerung auf rund 667% der im Jahre 1950 hergestellten Photoapparate.

*Steigerung der Produktion von Photoapparaten
in den Jahren 1950 bis 1956*

Jahr	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956
Stück	142 562	219 022	288 100	445 426	804 087	917 561	951 127
Prozent	100	153,6	202,1	312,4	564,0	643,6	667,2

6. Versuche, Fragen und Antworten:

1. Betrachte ein Linienblatt durch eine Lupe! Stelle die Vergrößerung der Lupe fest, indem du die Linienzahl innerhalb der Lupe mit der außerhalb der Lupe vergleichst (Abb. 47/1).

2. Was ist an der Wirkungsweise des Mikroskops und des astronomischen Fernrohres gleichartig?
3. Worin unterscheidet sich das virtuelle Bild vom reellen?
4. Warum sind die optischen Instrumente, wie photographische Kameras, Mikroskope und Fernrohre, innen geschwärzt?
5. Stelle nach Abbildung 44/2 aus zwei Sammellinsen das Modell eines astronomischen Fernrohres her!

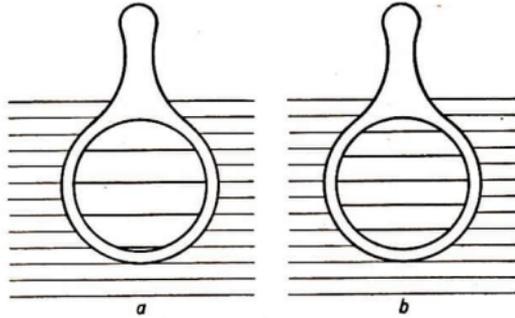


Abb. 47/1. Die Vergrößerung durch eine Lupe

6. Stelle die Steigerung der Produktion von Photoapparäten in den Jahren von 1950 bis 1956 nach den Zahlenangaben in der Tabelle auf Seite 46 graphisch dar!

§ 9. Die Zerlegung des Lichts

1. Die Brechung eines Lichtstrahls durch ein Prisma. Wir lassen einen Lichtstrahl durch ein *Prisma* aus Glas fallen (Abb. 47/2). Der Lichtstrahl wird zweimal gebrochen, nämlich beim Eintritt in das Glas und beim Austritt aus dem Glas. Wir erkennen, daß der Lichtstrahl in beiden Fällen nach der gleichen Seite gebrochen wird (Abb. 47/3). Dieselbe Erscheinung haben wir schon bei der Brechung an einer Linse festgestellt.

2. Die Zerlegung des weißen Lichts durch ein Prisma. Läßt man den Lichtstrahl nach dem Austritt aus dem Prisma auf einen Schirm fallen, so kann man an dem gebrochenen Strahl *farbige Ränder* beobachten. Diese Farbenerscheinung zeigt der folgende Versuch noch deutlicher (Abb. 48/1).

Wir beleuchten eine Spaltblende durch eine lichtstarke elektrische Lampe und bilden den leuchtenden Spalt durch eine Sammellinse auf einem Schirm ab. Wir erblicken ein weißes Bild des Spalts.

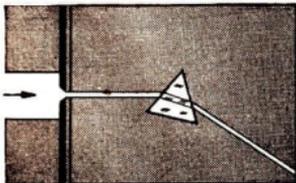


Abb. 47/2. Brechung eines Lichtstrahls durch ein Glasprisma

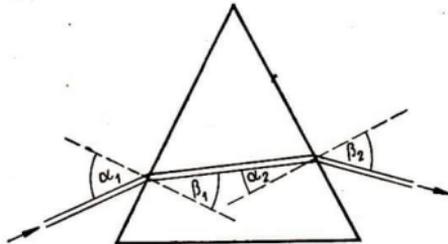


Abb. 47/3. Erklärung der Brechung durch ein Glasprisma nach dem Brechungsgesetz

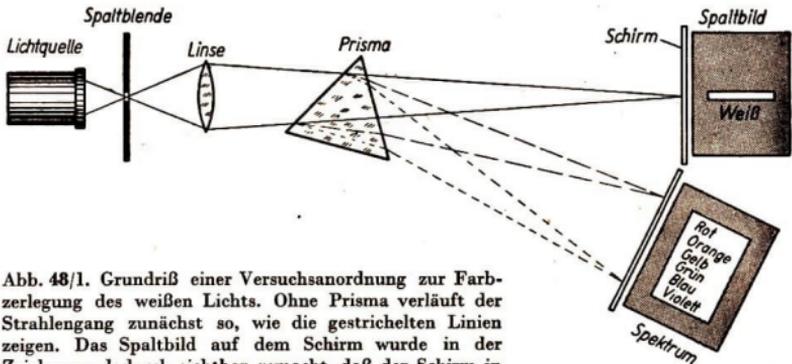


Abb. 48/1. Grundriß einer Versuchsanordnung zur Farberzeugung des weißen Lichts. Ohne Prisma verläuft der Strahlengang zunächst so, wie die gestrichelten Linien zeigen. Das Spaltbild auf dem Schirm wurde in der Zeichnung dadurch sichtbar gemacht, daß der Schirm in die Zeichenebene geklappt wurde.

Nun bringen wir in den Strahlengang ein dreiseitiges Prisma. Die Abbildung 48/1 zeigt die Versuchsanordnung in der Draufsicht. Die Lichtstrahlen werden nach dem Brechungsgesetz aus ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt. Dabei entsteht auf dem Schirm ein *bunter Farbenstreifen*. Ein solcher Farbenstreifen heißt *Spektrum**. Es weist immer die gleiche Farbenfolge auf, ganz gleich, was für eine Lichtquelle benutzt wird. Die im Spektrum auftretenden Farben nennt man *Spektralfarben*. Da die Spektralfarben ineinander übergehen, läßt sich für sie eine bestimmte Anzahl nicht angeben. Wir unterscheiden als auffallendste Farben *Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau und Violett*.

Bringen wir in den roten Teil des Spektrums einen zweiten Spalt, so tritt aus ihm nur rotes Licht aus. Wir stellen in den Strahlengang des roten Lichts ein zweites Prisma. Der rote Lichtstrahl wird zwar durch das Prisma abgelenkt, aber nicht weiter zerlegt. Zu dem gleichen Ergebnis kommen wir, wenn wir eine andere Farbe ausblenden. Aus diesem Grunde bezeichnet man die Spektralfarben als *Grundfarben*.

Das weiße Licht läßt sich durch ein Prisma in die Spektralfarben zerlegen.

Man nennt den geschilderten Vorgang die *Farbzerstreuung*. Wie wir aus der unterschiedlichen Ablenkung erkennen, werden die Spektralfarben verschieden stark gebrochen.

Das rote Licht wird am wenigsten, das violette am stärksten gebrochen.

In der Natur können wir die Zerlegung des weißen Lichts in Spektralfarben besonders deutlich am *Regenbogen* beobachten, dessen Entstehung wir uns jetzt erklären können. Wenn es regnet, ist die Luft mit vielen Wassertröpfchen erfüllt. Die Sonnenstrahlen fallen auf die Tröpfchen und durchdringen sie. Beim Ein- und Austritt werden die Sonnenstrahlen gebrochen und in Spektralfarben zerlegt. Wir können einen Regenbogen selbst erzeugen, wenn wir mit einem Wasserschlauch, die Sonne im Rücken, das Wasser in feinen Tröpfchen versprengen.

Auch jenseits von Rot und Violett setzt sich das Spektrum fort. Wir können diese Teile des Spektrums allerdings mit unseren Augen nicht wahrnehmen; sie sind unsichtbar. Man bezeichnet diese Strahlen als *infrarote* bzw. als *ultraviolette Strahlen*. Die infraroten Strahlen üben eine starke Wärmewirkung aus. Dies kann man mit Hilfe eines empfindlichen Thermometers nachweisen. Man nennt die infraroten Strahlen auch *Wärmestrahlen*. Sie werden in den *Infrarot-Bestrahlungslampen* zu Heil- und Wärmезwecken verwendet. In der modernen Technik werden vielfach Lacke und andere Materialien durch infrarote Strahlen getrocknet.

Die ultravioletten Strahlen sind *chemisch sehr wirksam*. So verursachen sie beispielsweise die Bräunung der Haut und schwärzen Photoplatten. Sie werden durch Glas und dicke Luftschichten geschwächt oder zurückgehalten. Außerdem werden ultraviolette Strahlen zu Heilzwecken verwendet. Man benutzt dazu *Höhensonnen*, deren Licht einen großen Bestandteil an ultravioletten Strahlen aufweist.

3. Die Wiedervereinigung des Spektrums zu Weiß. Wir stellen hinter das Prisma in den Strahlengang eine große Sammellinse, die die Lochblende auf dem Schirm abbildet

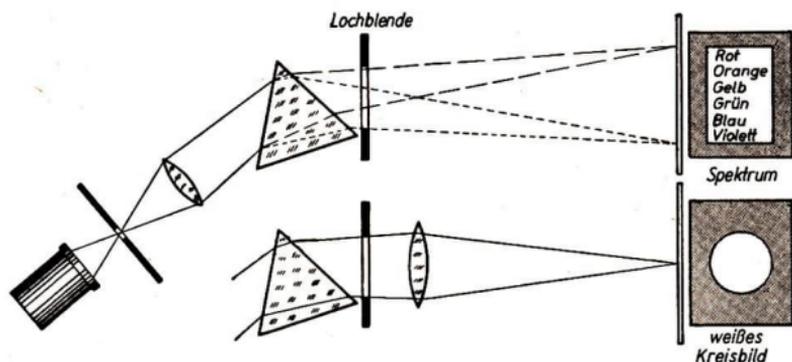


Abb. 49/1. Versuchsanordnung zur Wiedervereinigung der Spektralfarben zu Weiß. Der Schirm ist in die Zeichenebene geklappt.

(Abb. 49/1). An Stelle des Spektrums erscheint auf dem Bildschirm wieder ein weißes Bild der Blende. Demnach sind die Spektralfarben wieder zu Weiß vereinigt worden.

Die Vereinigung aller Spektralfarben ergibt Weiß.

Diese Vereinigung bestätigt uns gleichzeitig die Zerlegung des weißen Lichts in die Spektralfarben. Wir erkennen, daß der Vorgang der Zerlegung des weißen Lichts *umkehrbar* ist.

4. Komplementärfarben. Wir blenden die roten Strahlen durch einen weißen Kartonstreifen ab.

Auf dem Schirm erblicken wir statt des weißen ein grünes Bild der Lochblende. Untersucht man dieses grüne Licht mit Hilfe eines zweiten Prismas, so zeigt sich, daß das grüne Licht weiter zerlegt werden kann. Es handelt sich somit nicht um die Spektralfarbe Grün, sondern um eine grüne Mischfarbe, die sich aus allen Spektralfarben

außer Rot zusammensetzt. Lassen wir auch die roten Strahlen wieder durch die Sammellinse gehen, indem wir den Kartonstreifen entfernen, so erhalten wir wieder einen weißen Lichtfleck. *Rot und Grün ergeben zusammen wieder Weiß*. Blendet man andere Farben aus dem Spektrum aus, so entstehen andere Mischfarben. Jede Mischfarbe wird durch die jeweils ausgeblendete Farbe zu Weiß ergänzt.

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

Komplementärfarben ergänzen sich zu Weiß.

5. Körperfarben. Farben, in denen Körper erscheinen, wenn sie beleuchtet werden, heißen *Körperfarben*. Meist werden sie den Körpern durch *Farbstoffe* aufgeprägt. Sie zeigen nur in wirklich weißem Licht, d. h. im Tageslicht, ihren natürlichen Farbton. Im Licht einer Glühlampe dagegen sind beispielsweise grüne und blaue Körperfarben kaum voneinander zu unterscheiden. Wir kaufen aus diesem Grunde farbige Bekleidungsstücke nicht gern bei künstlichem Licht ein. Das Tageslicht enthält mehr blaues Licht als das künstliche. Das Licht der modernen *Tageslicht-Leuchtstoffröhren* kommt in dieser Hinsicht dem Tageslicht sehr nahe.

Legt man ein Blatt zinnoberrotes Buntpapier auf weißen Grund und bestrahlt es im dunklen Raum mit weißem Licht, dann hebt sich die rote Farbe vom weißen Untergrund ab (Abb. 50/1 a). Beleuchtet man das Blatt dagegen mit grünem Licht, dann erscheint es schwarz auf grünem Untergrund (Abb. 50/1 b). Wir folgern daraus, daß die rote Körperfarbe das Licht verschluckt, es *absorbiert*, während es der weiße Untergrund reflektiert. Bestrahlen wir das rote Blatt jetzt mit rotem Licht, dann erscheint es rot auf rotem Untergrund (Abb. 50/1 c): Die rote Körperfarbe reflektiert das rote Licht.

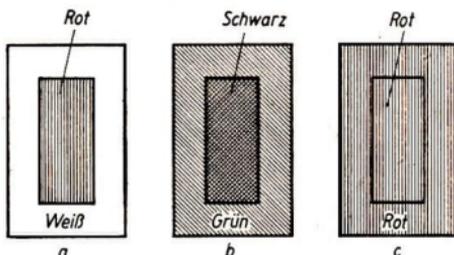


Abb. 50/1. Farbeeindruck einer roten Körperfarbe bei Bestrahlung a) mit weißem Licht, b) mit grünem Licht, c) mit rotem Licht

Körperfarben reflektieren nur diejenige Lichtfarbe, in der sie im weißen Licht erscheinen; die anderen Lichtfarben absorbieren sie. Schwarze Körper absorbieren alle Lichtfarben; weiße Körper reflektieren alle Lichtfarben.

5. Versuche, Fragen und Antworten:

1. Erzeuge ein Spektrum nach der Versuchsanordnung in der Abbildung 48/1! Benutze dazu einen Kartonstreifen, in den ein Spalt mit einer Breite von 1 bis 2 mm eingeschnitten wurde!
2. Warum sind bei Bildern, die mit einer einfachen Linse erzeugt werden, die Ränder vielfach farbig gesäumt?
3. Welche Wirkung hat ein Prisma auf einen Lichtstrahl?
4. Welcher Zusammenhang besteht zwischen weißem Licht und den Spektralfarben?
5. Was sind Komplementärfarben? Wie kann man mit ihnen weißes Licht erzeugen?
6. Betrachte farbige Bilder durch farbige Gläser!

II. Von den Kräften (Mechanik*)

§ 10. Masse und Gewicht eines Körpers

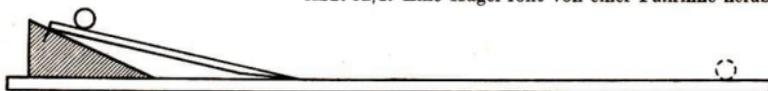
1. Die Kraft als Ursache einer Bewegungsänderung. Wenn wir einen vollbeladenen Handwagen in Bewegung setzen, müssen wir uns anstrengen und unsere Muskeln anspannen. Wir wenden dazu Kraft auf. Legen wir auf den waagerechten Boden eines Sportplatzes einen Fußball, so bleibt er dort unbeweglich liegen. Erst wenn wir ihn mit dem Fuß anstoßen, rollt oder fliegt er davon. Wir müssen eine *Kraft* auf den Ball einwirken lassen, damit er in *Bewegung* versetzt wird. Ebenso erreichen wir durch die Muskelkraft unserer Beine, daß unser Fahrrad in Bewegung gerät. Durch *Dampfkraft* werden Eisenbahnen und Maschinen angetrieben. Segelboote werden durch *Windkraft* bewegt und *Wasserkräfte* treiben Wasserräder und Turbinen an.

Ein ruhender Körper wird durch eine Kraft in Bewegung gesetzt.

Umgekehrt muß eine *Kraft* wirken, damit ein *bewegter Körper zur Ruhe kommt*. Wollen wir einen Handwagen, der auf glatter Straße rollt, anhalten, so müssen wir uns dagegenstemmen und eine *Kraft* dafür aufwenden. Aber auch durch die *Reibung* kommt jeder bewegte Körper zur Ruhe. Wir lassen eine Kugel von einer geneigten Rinne über einen möglichst langen Tisch rollen (Abb. 51/1). Ist die Tischplatte horizontal und ihre Oberfläche eben, so rollt die Kugel bis an das Ende des Tisches. Wir merken kaum, daß die Kugel allmählich langsamer rollt. Nun bestreuen wir den Tisch mit Sägespänen oder mit Sand; die Kugel kommt dann schon nach Durchlaufen einer kurzen Strecke zur Ruhe. Sie wird durch die Unebenheiten der Lauffläche abgebremst.

Auf einer Eisfläche gleitet ein Schlittschuhläufer eine weite Strecke, ohne sich neu abstoßen zu müssen. Hier ist die *Reibung* sehr gering. Könnte man die *Reibung* aufheben, so würde die *Bewegung* eines Körpers nie von selbst langsamer werden. Jeder einmal in *Bewegung* geratene Körper, der sich selbst überlassen ist, würde sich nach dem *Aufhören* der *Antriebskraft mit gleichbleibender Geschwindigkeit in gerader Richtung* weiterbewegen und nicht wieder zur Ruhe kommen.

Abb. 51/1. Eine Kugel rollt von einer Fallrinne herab.



2. Die Trägheit. In der Physik bezeichnet man das im ersten Abschnitt geschilderte Verhalten der Körper als ihre **Trägheit**. Schon vor 200 Jahren wurde von dem bedeutenden englischen Physiker *Isaac Newton** das folgende Naturgesetz aufgestellt:

Jeder ruhende Körper bleibt in Ruhe, solange keine Kraft auf ihn einwirkt. Jeder in Bewegung befindliche Körper bewegt sich mit gleichbleibender Geschwindigkeit geradlinig weiter, solange keine Kraft auf ihn einwirkt.

Dieser Satz gilt für alle Körper; man bezeichnet ihn als das **Trägheitsgesetz**.

An den folgenden Beispielen können wir die Trägheit der Körper anschaulich beobachten. 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, weil sie träge ist. Sie fällt in den Zylinder.

Man befestigt den Stiel einer Axt, indem man wie in der Abbildung 52/1 den Stiel frei in der Hand hält und gegen ihn einen kräftigen Schlag ausübt. Der Stiel wird bewegt und dringt in die Axt ein, während diese nahezu in Ruhe bleibt.

Wir legen auf eine Papptafel von der Größe eines Zeichenblocks eine Kugel. An einem Faden ziehen wir die Papptafel ruckartig über den Tisch. Beim Anziehen bleibt die Kugel infolge ihrer Trägheit liegen; die Pappe



Isaac Newton
(1643–1724)



Abb. 52/1
Befestigen
des Stieles an
einer Axt



a) Beim Anziehen bleibt die Kugel liegen.

b) Beim plötzlichen Anhalten rollt die Kugel weiter.

Abb. 52/2. Trägheit einer auf einer Papptafel liegenden Kugel

wird unter ihr fortgezogen. Legt man einen kleinen Klotz hinter die Kugel, so wird sie auf der Papptafel mitgeführt. Bei einem plötzlichen Halt rollt die Kugel in der Bewegungsrichtung weiter (Abb. 52/2).

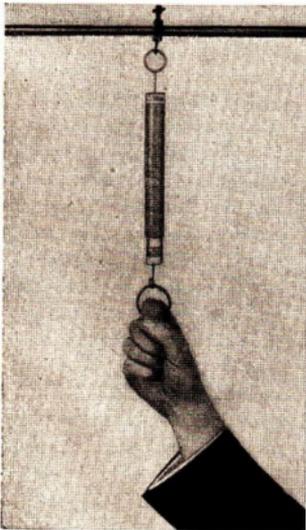
Lassen wir zwei gleich große Kugeln aus Eisen und aus Holz nacheinander über eine geneigte Rinne herabrollen, so rollt die eiserne Kugel weiter als die hölzerne. Aus der größeren Laufstrecke der eisernen Kugel können wir auf ihre größere Trägheit schließen.

3. Die Masse. Die unterschiedliche Trägheit der Körper ist aus ihrer verschieden großen **Masse** zu erklären. Wir verstehen darunter den gesamten Stoff, der den Körper erfüllt und der sich in der Trägheit des Körpers äußert.

Die Größe der Masse können wir durch *Wägen* auf der *Balkenwaage* feststellen; wir gewinnen dadurch zugleich ein *Maß für die Trägheit*. Schon im 6. Schuljahr haben wir Wägungen vorgenommen, sprachen aber damals noch nicht von der Masse eines Körpers, sondern von seiner Stoffmenge. Nachdem wir jetzt die Bedeutung der Masse als Maß für die Trägheit erkannt haben, werden wir das Wort Stoffmenge nicht mehr verwenden, sondern werden nur noch von der Masse sprechen. Wägen wir zum Beispiel eine eiserne und eine hölzerne Kugel von gleichem Rauminhalt, so finden wir, daß die eiserne Kugel eine größere Masse hat als die hölzerne Kugel. Sie ist infolgedessen träger als diese. Die zum Wägen verwendeten Einheiten, das **Kilogramm** (kg) und das **Gramm** (g), sind *Masseneinheiten*.

4. Gewicht ist Kraft. Ein Körper kann nur durch eine Kraft in Bewegung gesetzt oder gebremst werden. Außerdem wissen wir bereits, daß sich ein Körper nur mit Hilfe von Kräften verformen läßt. Drücken wir zum Beispiel auf eine dünne Leiste, die an den beiden Enden unterstützt ist, so biegt sie sich etwas durch; sie *wird verformt*. Dasselbe erreichen wir, wenn wir ein Gewichtsstück auf die Leiste stellen (Abb. 53/1). In ähnlicher Weise können wir eine *Schraubenfeder* durch eine Kraft verformen. Ziehen wir an einer solchen Feder, so wird sie gestreckt (Abb. 53/2 a). Die Feder wird um so länger, je größer

Abb. 53/1. Elastische Verformung einer Holzleiste



a) Spannen einer Feder durch Muskelkraft



b) Spannen einer Feder durch das Gewicht eines Ziegelsteins

Abb. 53/2. Mit einer Feder messen wir Kräfte

die Kraft ist, mit der wir ziehen. Wir können aus der Größe der Verformung auf die Größe der Kraft schließen. Die gleiche Wirkung können wir aber auch dadurch erreichen, daß wir Gegenstände an die Feder hängen (Abb. 53/2b). Wir erkennen daraus, daß das Gewicht eines Körpers wie eine Kraft wirkt.

In der Schule benutzen wir meistens *Federwaagen*, bei denen die Feder in einem Zylinder aus Pappe untergebracht ist (Abb. 54/1). Dieser Zylinder trägt eine Skala, auf der die Größe der Zugkraft abgelesen werden kann. Eine oft verwendete Federwaage ist die *Lumpenwaage*, die wir bei den Sammelstellen für Altmaterial häufig sehen können (Abb. 54/2).

Daß das Gewicht eines Körpers eine Kraft ist, bestätigen uns auch unsere Erfahrungen. Wenn wir einen Koffer tragen, so spüren wir eine Kraftwirkung, als zöge jemand den Arm nach unten. Diese Beobachtung kann man an jeder Stelle der Erde machen. Alle Körper werden von der Erde angezogen, Auf alle Körper wirkt eine Kraft, die zum Erdmittelpunkt hin gerichtet ist (Abb. 54/3). Wir nennen diese Kraft die *Schwerkraft*, weil sie die Ursache für das Gewicht der Körper ist.

Das Gewicht eines Körpers ist eine Kraft.

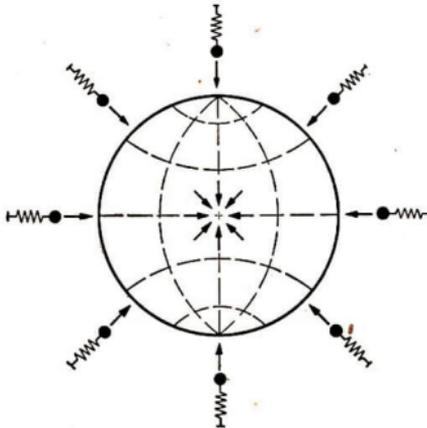


Abb. 54/3. Die Richtung der Schwerkraft verläuft auf der Erde überall zum Erdmittelpunkt hin.

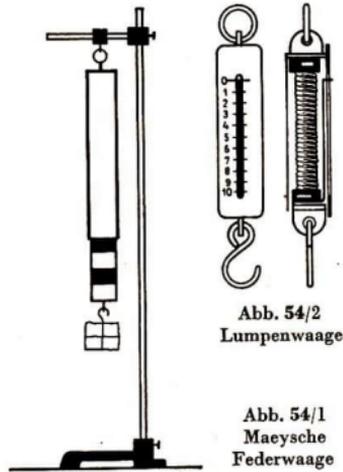


Abb. 54/2
Lumpenwaage

Abb. 54/1
Maeyssche
Federwaage

Wir können demnach mit Hilfe von Federwaagen Kräfte bzw. Gewichte miteinander vergleichen und sie messen. Wir brauchen dazu nur die Skala der Federwaage unter Verwendung einer geeigneten Gewichtseinheit einzuteilen.

Als *Kraft-* bzw. *Gewichtseinheit* hat man diejenige Kraft gewählt, mit der die Masse 1 kg auf die Unterlage drückt. Man nennt diese Kräfteinheit ein **Kilopond*** (kp). Wir verstehen darunter das Gewicht eines Körpers mit der Masse 1 kg.

Als *Kraft-* bzw. *Gewichtseinheit* hat man diejenige Kraft gewählt, mit der die Masse 1 kg auf die Unterlage drückt. Man nennt diese Kräfteinheit ein **Kilopond*** (kp). Wir verstehen darunter das Gewicht eines Körpers mit der Masse 1 kg.

Diese Feststellung muß allerdings eingeschränkt werden. *Das Gewicht eines Körpers ist nicht überall auf der Erde gleich.* Die Erde ist keine Kugel; sie ist vielmehr

an den Polen etwas abgeplattet. Vom Pol zum Äquator hin wird die Entfernung vom Erdmittelpunkt allmählich etwas größer. Die Schwerkraft nimmt infolgedessen etwas ab, mithin verringert sich das Gewicht.

Da sich das Gewicht eines Körpers mit dem Beobachtungsort ändert, gilt die Skala einer Federwaage nur für einen genau festgelegten Ort. Man hat dazu den 45. Breitenkreis gewählt und festgesetzt:

Ein Kilopond (kp) ist das Gewicht einer Masse von 1 kg, die sich in Meereshöhe auf einer geographischen Breite von 45° befindet.

Da ein Liter Wasser bei 4° C die Masse 1 kg hat, können wir auch sagen:

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

Am 45. Breitenkreis stimmen das Gewicht und die Masse eines Körpers zahlenmäßig überein.

Den tausendsten Teil eines Kiloponds nennt man ein **Pond (p)**, den tausendsten Teil eines Ponds ein **Millipond (mp)**. Das Tausendfache eines Kiloponds heißt ein **Megapond (Mp)**.

$$\begin{aligned} 1 \text{ kp} &= 1000 \text{ p,} \\ 1 \text{ p} &= 1000 \text{ mp,} \\ 1 \text{ Mp} &= 1000 \text{ kp.} \end{aligned}$$

5. Zusammenfassung. In der Umgangssprache werden Gewichts- und Massenangaben oft verwechselt. Da es sich aber um ganz verschiedene Größen handelt, müssen wir zwischen der Masse und dem Gewicht streng unterscheiden. Ein Wägestück aus Eisen hat eine bestimmte Masse und besitzt eine der Masse entsprechende Trägheit. Infolge der Schwerkraft hat es außerdem ein bestimmtes Gewicht. Die Schwerkraft ist aber, wie wir bereits wissen, vom Ort abhängig.

Den Unterschied zwischen der Masse und dem Gewicht erkennen wir auch aus folgendem Versuch: Wir hängen an eine Federwaage einen Stein und berühren ihn von unten her mit der flachen Hand. Vom Gewicht des Steines merken wir nichts mehr. Die *Spannkraft* der Feder, die den Stein trägt, hebt das Gewicht auf. Trotzdem müssen wir aber eine Kraft aufwenden, um den Stein durch einen Stoß von der Seite in Bewegung zu setzen. Wir nehmen dabei deutlich einen Widerstand wahr. Dieser ist aber nicht auf das Gewicht des Steines zurückzuführen; denn das Gewicht wirkt senkrecht nach unten, der Stoß aber erfolgt von der Seite her. Der Widerstand, den wir beim Stoßen empfinden, beruht vielmehr auf der Trägheit des Körpers, die er auf Grund seiner Masse besitzt.

Noch klarer würde uns der Unterschied zwischen der Masse und dem Gewicht werden, wenn wir die Entfernung eines Körpers vom Erdmittelpunkt vergrößern könnten. Wir würden an der Federwaage feststellen, daß das Gewicht des Steines immer mehr abnimmt, je weiter wir uns vom Erdmittelpunkt entfernen. In sehr großer Entfernung würde sie kein Gewicht mehr anzeigen. Würden wir aber nochmals den im vorangehenden Absatz beschriebenen Versuch durchführen, so würden wir wiederum feststellen: Wir müssen die gleiche Kraft wie auf der Erde aufwenden, um

den Körper zu bewegen. Der Körper hat zwar an Gewicht, dagegen an Masse und deshalb auch an Trägheit nichts verloren.

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

Auf dem Mond würde die Federwaage nur etwa ein Sechstel des Gewichts anzeigen, das der Stein auf der Erde hat. Da nämlich der Mond eine viel kleinere Masse als die Erde hat, zieht er auch den Stein nicht so stark an wie die Erde.

6. Versuche, Fragen und Aufgaben:

1. Wiederhole den in Abbildung 52/2 wiedergegebenen Versuch! Verwende aber statt einer Kugel einen schmalen, langen Holzklötz! Stelle ihn mit seiner kleinsten Fläche auf eine Papptafel und ziehe diese an einem Faden über den Tisch! Was beobachtest du bei ruckartigem Anziehen oder beim plötzlichen Halt?
2. Binde an einem Zwirnsfaden einen Körper mit einer Masse von etwa 2 kg! Lege den Körper auf einen Tisch und hebe ihn dann einmal ganz langsam, ein anderes Mal ruckartig an! Wiederhole den Versuch mehrere Male! Was kannst du feststellen?
3. Lege ein dünnes Brettchen (kein Sperrholz, Größe 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! Was geschieht infolge des Schlages? Erkläre den Vorgang!
4. Setze eine mit Wasser gefüllte Schale plötzlich in Bewegung! Was kannst du an dem Wasser beobachten? Verändere die Bewegungsrichtung! Erkläre die Vorgänge!
5. Beobachte und erkläre dein Verhalten in einem Fahrzeug, in dem du stehst, ohne dich festzuhalten. Was geschieht, wenn das Fahrzeug schnell anfährt oder plötzlich gebremst wird? Warum darfst du beim Radfahren die Bremsen nicht plötzlich und so stark betätigen?
6. Warum muß der Soziussitz eines Motorrades eine Vorrichtung zum Festhalten haben?

§ 11. Die Wichte und die Dichte

1. Die Wichte. Wir hängen drei gleich große Würfel aus Holz, Aluminium und Eisen mittels Fadenschlingen nacheinander an eine Federwaage. Die drei Körper haben trotz gleichen Rauminhalts verschiedenes Gewicht. Das Gewicht eines Körpers ist demnach nicht nur von seinem Rauminhalt, sondern auch von dem Stoff abhängig, aus dem er besteht.

Körper aus verschiedenen Stoffen haben bei gleichem Rauminhalt im allgemeinen verschiedenes Gewicht.

Wir können aber auch den Rauminhalt von Körpern gleichen Gewichts miteinander vergleichen. Wir hängen zum Beispiel ein Brett an eine Federwaage und danach ein Stück Eisen, das den gleichen Ausschlag hervorruft wie das Brett. Das Stück Eisen hat demnach das gleiche Gewicht wie das Brett. Wir sehen aber deutlich, daß das Brett einen größeren Raum einnimmt als das Stück Eisen.

Ebenso hat ein Zylinder aus Eisen einen kleineren Rauminhalt als ein gleich schwerer Zylinder aus Aluminium. Der Zylinder aus Aluminium hat wiederum einen kleineren Rauminhalt als ein gleichschwerer Zylinder aus Holz (Abb. 57/1).

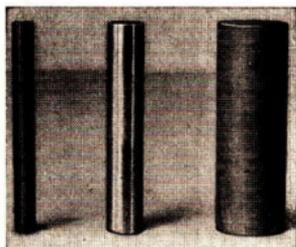


Abb. 57/1. Drei Zylinder aus Eisen, Aluminium und Holz. Sie haben gleiches Gewicht, aber verschiedenen Rauminhalt.

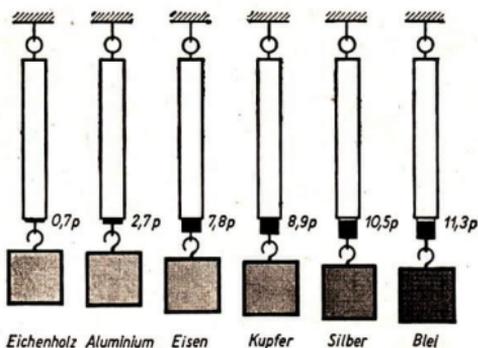


Abb. 57/2. Die Wichte verschiedener Stoffe, dargestellt durch die Gewichte von Würfeln mit einem Rauminhalt von je 1 cm³

Körper aus verschiedenen

Stoffen haben bei gleichem Gewicht im allgemeinen unterschiedlichen Rauminhalt.

Damit man das unterschiedliche Gewicht der Stoffe bei gleichem Rauminhalt miteinander vergleichen kann, hat man die Wichte eingeführt. Es wurde festgesetzt:

Die Wichte eines Stoffes ist der Quotient aus dem Gewicht und dem Rauminhalt.

Würden wir aus allen uns bekannten Stoffen Würfel von je 1 cm³ Rauminhalt herstellen und ihre Gewichte mit einer empfindlichen Federwaage messen, dann würden wir für jeden Würfel ein anderes Gewicht erhalten (Abb. 57/2). Die so erhaltenen Zahlen stimmen mit den Wichtezahlen überein und geben das Gewicht von 1 cm³ eines Stoffes in Pond an.

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

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

Da die Wichte aus den beiden Größen Gewicht und Rauminhalt abgeleitet ist, setzt sich auch die *Maßeinheit der Wichte* aus zwei Maßeinheiten, aus dem Pond und dem Kubikzentimeter, zusammen. Die Maßeinheit der Wichte ist **Pond je Kubikzentimeter (p/cm³)**.

Wir bestimmen beispielsweise das Gewicht und den Rauminhalt von drei verschiedenen Eisenkörpern und bilden jeweils den Quotienten aus dem Gewicht und dem zugehörigen Rauminhalt.

	1. Körper	2. Körper	3. Körper
Gewicht (G)	43 p	74 p	54,5 p
Volumen (V)	5,5 cm ³	9,5 cm ³	7 cm ³
Wichte $\left(\frac{G}{V}\right)$	rund 7,8 p/cm ³	rund 7,8 p/cm ³	rund 7,8 p/cm ³

Ergebnis: Die Wichte des Eisens beträgt $7,8 \text{ p/cm}^3$.

Auf die gleiche Weise können wir auch die Wichte anderer Stoffe bestimmen.

Wichten einiger Stoffe
(in p/cm^3)

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 ... 0,9
Silber	10,5	Kohle	1,2 ... 1,5	Kork	0,2

Wir können aus dem Rauminhalt eines Körpers sein Gewicht und umgekehrt aus seinem Gewicht seinen Rauminhalt berechnen. Aus

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

folgt durch Multiplikation mit V

$$G = \gamma \cdot V$$

und daraus durch Division mit γ

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

2. Die Dichte. Statt des Gewichtes läßt sich auch die Masse eines Körpers mit seinem Rauminhalt vergleichen. Dieser Vergleich führt zum Begriff der **Dichte**.

Die Dichte eines Stoffes ist der Quotient aus der Masse und dem Rauminhalt.

Bezeichnet man die Dichte mit ρ , die Masse mit m und den Rauminhalt mit V so ist

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Die **Maßeinheit der Dichte** ist **Gramm je Kubikzentimeter** (g/cm^3).

Da das Gewicht und die Masse am 45. Breitenkreis zahlenmäßig übereinstimmen, erhalten wir auch für die Dichte eines Stoffes am 45. Breitenkreis zahlenmäßig die gleichen Angaben wie für die Wichte. *Die Maßeinheiten sind aber verschieden.* Da die Masse vom Beobachtungsort unabhängig ist, ist die Dichte eines Stoffes, im Gegensatz zu seiner Wichte, für alle Orte die gleiche.

3. Versuche, Fragen und Aufgaben:

1. Wäge ein Eisenstück auf einer Balkenwaage und bestimme seinen Rauminhalt durch Wasserverdrängung in einem Meßglas! Berechne daraus die Dichte des Eisens!
2. Führe dasselbe mit Glas, Messing, Blei, Aluminium und anderen Stoffen durch!
3. Wie schwer ist eine Eisenplatte von 12 cm Länge, 3 cm Breite und 2 cm Dicke? Das Gewicht ist in p anzugeben!
4. Wie schwer ist eine Bleiplatte von den gleichen Abmessungen?
5. Welchen Rauminhalt hat ein Stück Eis von 1 kp Gewicht?
6. 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 das Metall nach der Wichtezahl!

§ 12. Der Hebel — Das Hebelgesetz

1. Brechstange und Hebebaum als kraftsparende Vorrichtungen. Will ein Steinsetzer einen schweren Stein etwas anheben, um ihn zurechtzurücken, so benutzt er dazu häufig eine eiserne Stange, die an einem Ende abgeflacht ist. Eine solche Stange nennt man eine *Brechstange*. Der Steinsetzer stößt die Stange mit ihrem flachen Ende so unter den Stein, daß sie nur wenig gegen die Erde geneigt ist. Dann faßt er die Stange am freien Ende an und zieht sie empor. Dadurch wird auch der Stein angehoben (Abb. 59/1). Ohne die Stange wäre ihm das nur mit großer Anstrengung oder überhaupt nicht gelungen.

Ist genügend Spielraum unter dem Stein vorhanden, so kann man das gleiche auch erreichen, wenn man die Stange etwas nach oben richtet und dicht vor dem Stein eine feste Unterlage unter die Stange klemmt. Drückt man das freie Ende der Stange nach unten, so wird das andere Ende und damit auch der Stein gehoben (Abb. 59/2). Man bezeichnet eine Stange von dieser Wirkungsart als einen *Hebebaum*. Häufig sind Hebebäume, wie ihr Name sagt, aus hartem widerstandsfähigem Holz gefertigt. Sie sind an ihrem abgeflachten Ende durch einen eisernen Beschlag gegen Zersplittern geschützt. In der Nähe dieses Endes sind sie auf der Unterseite mit einer Verdickung versehen, die gleichzeitig als Unterlage dient. Um diese dreht sich der Hebebaum beim Gebrauch.



Abb. 59/1. Anheben eines schweren Steines mit Hilfe einer Brechstange



Abb. 59/2. Anheben eines schweren Steines mit Hilfe eines Hebebaumes

Zum Öffnen von Kisten verwendet man vielfach den *Kistenöffner*, der wie ein Hebebaum wirkt. Er wird durch einige Hammerschläge von der Seite her unter den Kistendeckel getrieben. Drückt man kräftig auf das freie Ende, so wird der Deckel aufgebrochen (Abb. 60/1).

Abb. 60/1. Wirkungsweise eines Kistenöffners



2. Der Hebel. Die Brechstange und der Hebebaum wurden bereits im Altertum zum Heben von Lasten verwendet. Schon die Ägypter benutzten sie um das Jahr 2800 v. u. Z. beim Bau der Pyramiden.

Beim Verwenden einer Brechstange oder eines Hebebaumes braucht man zum Anheben einer schweren Last eine wesentlich geringere Kraft als ohne diese Vorrichtungen. Die Brechstange und der Hebebaum drehen sich beim Gebrauch um eine Achse. Bei der Brechstange liegt die Drehachse an dem einen Ende, beim Hebebaum etwas von einem Ende entfernt an der Unterlage. Der Kraftaufwand ist um so geringer, je weiter von der Drehachse entfernt die bewegende Kraft angreift. Dabei muß die zu hebende Last nahe bei der Achse auf den Hebebaum beziehungsweise auf die Brechstange wirken. Wir bezeichnen Vorrichtungen dieser Art als **Hebel**.

Ein Hebel ist eine Stange, die um eine Achse drehbar ist.

Liegt die Achse an einem Ende des Hebels, so spricht man von einem *einseitigen Hebel*; bei einem *zweiseitigen Hebel* dagegen befindet sich die Achse zwischen seinen beiden Enden. Den Teil des Hebels zwischen der Drehachse und dem Angriffspunkt der Kraft nennt man den *Kraftarm*, den Teil zwischen der Drehachse und dem Angriffspunkt der Last den *Lastarm*; beide Arme bezeichnen wir gemeinsam als *Hebelarme*. Beim zweiseitigen Hebel liegt der eine Hebelarm auf der einen Seite, der andere auf der anderen Seite der Drehachse. Beim einseitigen Hebel liegen beide Hebelarme auf der gleichen Seite der Achse (Abb. 60/2).

3. Das Hebelgesetz. a) **Der zweiseitige Hebel.** Wir verwenden als Hebel einen Meterstab, den wir auf der halben Länge ein wenig oberhalb der Mitte durchbohrt haben. Als Achse stecken wir einen Metallstift durch die Bohrung und befestigen ihn an einem Stativ. Der Hebel stellt sich nach kurzem Auf- und Abschwingen in die waagerechte Lage ein. Man sagt, er *kommt ins Gleichgewicht*. Wir hängen mittels einer Fadenschlinge an die eine Seite des Hebels, 10 cm von der Drehachse entfernt, als Last ein Gewichtstück von 200 p und

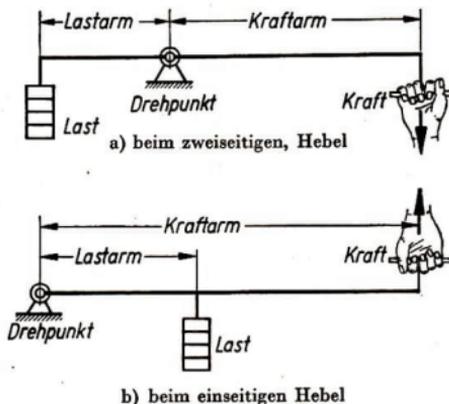


Abb. 60/2. Lage der Hebelarme

lassen es während des ganzen Versuchs unverändert dort hängen. Auf die andere Seite des Hebels lassen wir als Kraft ebenfalls Gewichtsstücke einwirken, und zwar zunächst 200 p, dann 125 p, 100 p und 50 p. Die Fadenschlinge, an der diese Gewichtsstücke hängen, verschieben wir jedesmal nach dem Auswechseln der Gewichtsstücke so weit, daß wieder Gleichgewicht eintritt. Wir messen die Längen der Kraft- und der Lastarme und stellen die Meßergebnisse in einer Tabelle zusammen.

Last (Q)	Lastarm (b)	Last mal Lastarm ($Q \cdot b$)	Kraft (P)	Kraftarm (a)	Kraft mal Kraftarm ($P \cdot a$)
p	cm	pcm	p	cm	pcm
200	10	2000	200	10	2000
200	10	2000	125	16	2000
200	10	2000	100	20	2000
200	10	2000	50	40	2000

Die Abbildung 61/1 gibt das letzte der angeführten Beispiele wieder.

Wir entnehmen aus der Tabelle: Ist die Kraft gleich der Last, so ist der Kraftarm gleich dem Lastarm. Ist die Kraft 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 wie der Lastarm usw. Bilden wir für jedes Meßergebnis das Produkt aus der Kraft und dem zugehörigen Kraftarm, so sehen wir, daß diese Produkte gleich dem Produkt aus Last und Lastarm sind. Diese Tatsache wird durch das Hebelgesetz wiedergegeben:

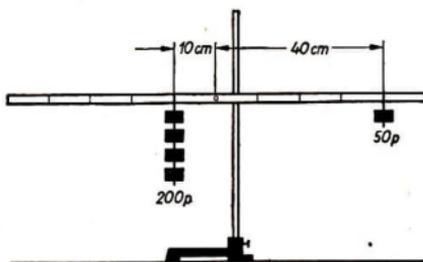


Abb. 61/1. Zweiseitiger Hebel. Last 200 p, Lastarm 10 cm, Kraft 50 p, Kraftarm 40 cm

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

Wir können dafür auch kürzer sagen:

$$\text{Kraft} \times \text{Kraftarm} = \text{Last} \times \text{Lastarm.}$$

Verwenden wir an Stelle des Wortes Kraft den Buchstaben P , für das Wort Kraftarm den Buchstaben a , für Last den Buchstaben Q und für Lastarm den Buchstaben b , so können wir das Hebelgesetz durch eine Gleichung ausdrücken:

$$P \cdot a = Q \cdot b.$$

Aus der ersten Zeile der Tabelle ersehen wir, daß bei einem gleicharmigen Hebel nicht nur die beiden Hebelarme, sondern auch die Kraft und die Last einander gleich sind. Das Hebelgesetz lautet in diesem Falle:

Ein gleicharmiger Hebel ist im Gleichgewicht, wenn die Kraft gleich der Last ist.

b) **Der einseitige Hebel.** Wir können unseren Hebel auch als einseitigen Hebel verwenden. Damit auch beim einseitigen Hebel die Kraft der Last das Gleichgewicht hält, muß die Kraft nach oben wirken. Zu diesem Zweck befestigen wir eine Schnur mittels einer Schlinge am Hebel und führen sie senkrecht nach oben über eine Rolle. Das andere Ende der Schnur belasten wir mit einem Gewichtsstück. Verschieben wir nun bei senkrechter Lage der Schnur die Schlinge allmählich von der Drehachse fort auf das Ende des Hebels zu, so ist zum Herstellen des Gleichgewichts eine immer geringere Gegenkraft erforderlich. Statt der Schnur können wir auch eine Federwaage am Hebel befestigen und ihre Zugkraft senkrecht nach oben wirken lassen (Abb. 62/1).

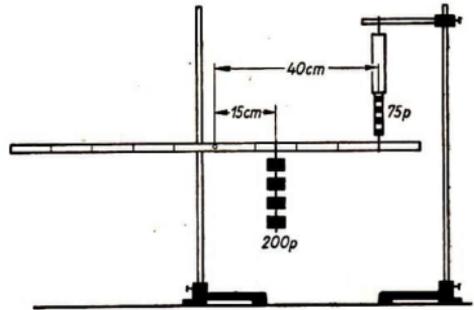


Abb. 62/1. Einseitiger Hebel
Last 200 p, Lastarm 15 cm, Kraft 75 p, Kraftarm 40 cm.
 $200 \cdot 15 \text{ pcm} = 75 \cdot 40 \text{ pcm}$.

Vergleicht man wie beim Versuch mit dem zweiseitigen Hebel die gemessenen Werte von Kraft, Last, Kraftarm und Lastarm, so ergibt sich, daß die Produkte aus der Last und dem Lastarm bzw. aus der Kraft und dem Kraftarm wiederum einander gleich sind. *Das Hebelgesetz gilt demnach in gleicher Weise für den zweiseitigen wie für den einseitigen Hebel.*

4. Technische Anwendung des Hebels. Aus dem Hebelgesetz folgt:

Je länger der Kraftarm ist, um so kleiner ist die Kraft, die den Hebel im Gleichgewicht hält.

Der Hebel ist daher ein ausgezeichnetes Hilfsmittel, wenn man die Wirkung einer Kraft vergrößern will. Außerdem erreicht man dadurch, daß der Angriffspunkt der Kraft von einer Stelle auf eine andere übertragen wird. Der Hebel wird aus diesem Grunde als *kraftübertragende* und gleichzeitig *kraftsparende Vorrichtung* an vielen technischen Einrichtungen, an Werkzeugen und an Maschinen aller Art, verwendet. Von den zahlreichen Anwendungen des Hebels seien im folgenden einige Beispiele genannt:

a) **Zweiseitige Hebel:** Der *Hebebaum*, die *Weichenstellstange* bei der Straßenbahn (Abb. 63/1), die *Beißzange* (Abb. 63/2) und alle anderen Arten von Zangen, die *Handbremse* am Fahrrad, der *Pumpenschwengel*; ferner der *Schraubenschlüssel*, alle *Scheren*, alle *Schlüssel* und *Klinken*, der *Kupplungshebel* am Kraftwagen, der *Griff* am Schraubstock, das *Trittbrett* an der Nähmaschine.



Abb. 63/1. Weichenstellstange bei der Straßenbahn

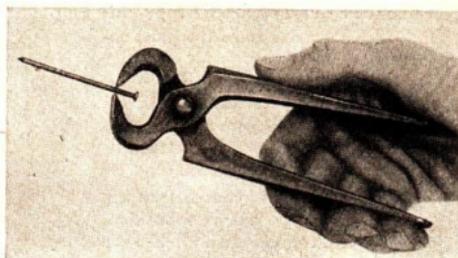


Abb. 63/2. Beißzange



Abb. 63/3. Schubkarre

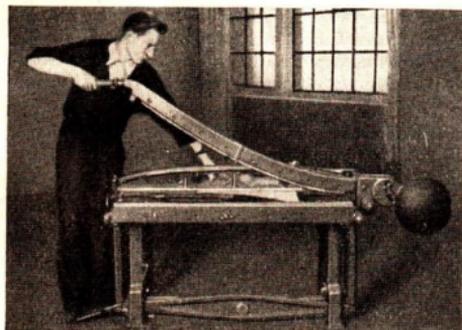


Abb. 63/4
Papierschneidemesser

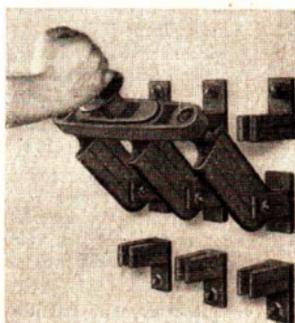


Abb. 63/5. Hebelschalter
an einer Schalttafel

b) Einseitige Hebel: Die *Brechstange*, die *Schubkarre* (Abb. 63/3), alle anderen Arten von Karren, die *Hebelpresse*, der *Nußknacker*; ferner die *Wagenbremse* am Pferdewagen, das *Papierschneidemesser* (Abb. 63/4), der *Blasebalg*, der *Hebelschalter* an der Schalttafel (Abb. 63/5), die *Stange am Sicherheitsventil* (Abb. 64/1), der *Fensterriegel*.

5. Versuche, Fragen und Aufgaben:

1. Erläutere die im 4. Abschnitt angegebenen Beispiele für einseitige und zweiseitige Hebel! Gib bei jedem die Art des Hebels, die Last und die Gegenkraft an, sowie die Lage des Lastarms, des Kraftarms und der Drehachse!
2. 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?
3. Wir wollen aus der Wand einen Haken entfernen und verwenden dazu einen kurzen, nach dem einen Ende zu abgeflachten Eisenstab. Zur Schonung der Wand benutzen wir außerdem eine Holzplatte. Wie verfahren wir dabei?
4. Nenne Werkzeuge, in denen a) ein zweiseitiger, b) ein einseitiger Hebel verwendet wird!
5. Zähle Haushaltgegenstände auf, bei denen die Wirkung eines zweiseitigen bzw. eines einseitigen Hebels ausgenutzt wird!
6. Gib weitere technische Anwendungen des Hebels an!
7. Vergleiche die Papier- und die Heckenschere mit der Bleischere hinsichtlich der Länge ihrer Hebelarme! Bei welcher Schere wird die aufgewandte Kraft stärker vergrößert?
8. Fertige zu den in 1, 4, 5 und 6 genannten Beispielen einfache Zeichnungen an und kennzeichne in ihnen die Hebelarme schematisch durch farbige Striche! Deute die wirkenden Kräfte durch Pfeile senkrecht zu den Linien an, die die Hebelarme darstellen! Gib dabei eine große Kraft durch einen langen Pfeil, eine kleine Kraft durch einen kurzen Pfeil wieder!
9. Auf der einen Seite eines zweiseitigen Hebels greift im Abstand von 10 cm von der Drehachse eine Kraft von a) 200 p, b) 500 p an. Berechne, wie groß beim 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 soll durch ein Gewichtstück von 300 p hergestellt werden. In welcher Entfernung vom Drehpunkt muß man es anhängen?
11. Wie kann man mit Hilfe einer Stange einen schweren Schrank anheben?
12. Nenne und beschreibe Hebel an landwirtschaftlichen Maschinen!

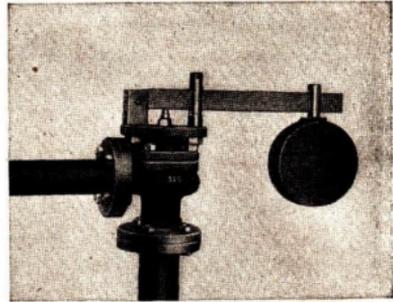


Abb. 64/1. Stange am Sicherheitsventil

§ 13. Die Hebelwaagen

1. Allgemeines über Hebelwaagen. Ein großer Teil unserer Waagen sind *Balkenwaagen*. Der *Waagebalken* ist ein gleicharmiger Hebel. Man nennt daher die Balkenwaagen auch *Hebelwaagen*. Die Gewichte der Körper, die auf den Waagschalen liegen, greifen an den beiden Hebelarmen an. Da Körper mit gleichen Gewichten

am gleichen Ort auch gleiche Massen haben, können wir mit einer Hebelwaage die Massen zweier Körper vergleichen. Wir können feststellen:

Haben zwei Körper am gleichen Ort gleiche Gewichte, so haben sie auch gleiche Massen.

Während aber die Gewichte der Körper veränderlich sind, behalten ihre Massen überall ihren Wert bei. Wenn sich also ein Körper auf einer Balkenwaage mit einem 1-kg-Wägestück im Gleichgewicht befindet, so hat er an allen Orten die Masse von 1 kg.

Wir merken uns:

Mit einer Hebelwaage mißt man die Massen von Körpern.

2. Die einfache Balkenwaage. Eine einfache Balkenwaage haben wir bereits im 6. Schuljahr als *Schalenwaage* kennengelernt. Wir unterscheiden den *Waagebalken*, die *Waagschale* und die *Schere*. Zwischen den Schenkeln der Schere schwingen der Waagebalken und der mit ihm verbundene Zeiger. Liegt der Waagebalken waagrecht, so soll der Zeiger auf die Nullmarke zeigen. Bei größeren Waagen ist der Zeiger nach unten gerichtet und spielt vor einer Skala. Bei besonders empfindlichen Waagen, beispielsweise bei den *Präzisionswaagen*, sind zur Verringerung der Rei-

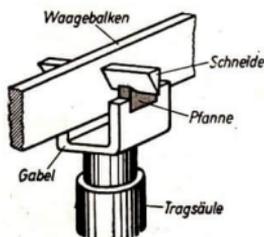


Abb. 65/1. Schneidenaufhängung des Waagebalkens. Durch den Waagebalken ragt eine keilförmige Schneide. Sie ruht auf zwei Pfannen, die mit dem Gestell fest verbunden sind.

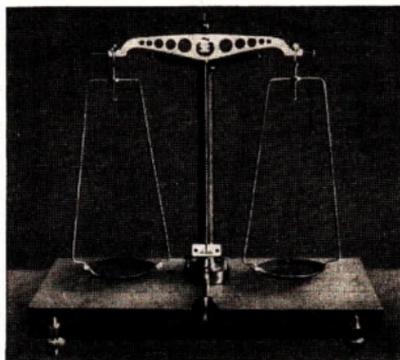


Abb. 65/2. Präzisionswaage

bung der Waagebalken und die Aufhängevorrichtungen der Waagschalen auf *Schneiden* gelagert (Abb. 65/1). Diese Waagen benutzt man besonders in Laboratorien und in Apotheken (Abb. 65/2). Präzisionswaagen haben eine Genauigkeit von 2 mg und weniger. Mit Hilfe dieser Waagen können wir wesentlich genauer arbeiten als mit anderen Waagen. Jede Waage ist so eingerichtet, daß sich der Waagebalken beim Wägen waagrecht einstellt, wenn auf beiden Waagschalen die gleichen Massen liegen.

Zu jeder Waage gehört ein *Wägesatz* genormter Wägestücke. Über seine Gliederung haben wir im 6. Schuljahr Näheres erfahren.

3. Die *oberschalige Tafelwaage*. An Stelle der Waagschalen hat die *oberschalige Tafelwaage* zwei Tafeln. Diese sind oberhalb des Gehäuses angeordnet, in dem die Hebel-einrichtung der Waage untergebracht ist (Abb. 66/1). Beim Wägen schwingen die Tafeln auf und nieder und behalten dabei stets ihre waagerechte Lage. Die Lage der Körper und der Wägestücke auf den Tafeln hat auf das Ergebnis der Wägung keinen Einfluß.

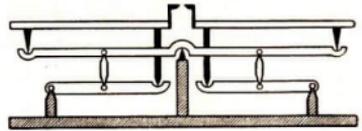


Abb. 66/1

Die Hebelvorrichtung einer oberschalen Tafelwaage (stark schematisiert). Das Gehäuse ist fortgelassen.

4. Die *Briefwaage* (Abb. 66/2). Bei der *Briefwaage* wird ein ungleicharmiger *Winkelhebel* verwendet. Das ist ein Hebel, dessen Arme nicht in einer Richtung liegen, sondern einen Winkel miteinander bilden. Die Wirkungsweise der Briefwaage beruht auf folgendem: Der auf die Waagschale gelegte Körper hebt ein Wägestück an, das an dem langen Hebelarm befestigt ist. Dieses weicht dabei etwas zur Seite aus. Es setzt der Drehung des Hebels einen immer größer werdenden Widerstand entgegen, je höher es gehoben wird. Der Widerstand wird schließlich so groß, daß das Wägestück dem zu wägenden Körper das Gleichgewicht hält. In der Gleichgewichtslage wird die Masse des Körpers auf einer Grammskala abgelesen. Weil bei der Briefwaage die Messung auf Grund der Neigungsänderung eines belasteten Hebels erfolgt, bezeichnet man die Briefwaage auch als *Neigungswaage*. Den gleichen Namen tragen alle Waagen, die auf einer ähnlichen Wirkungsweise beruhen.

Die heute im Handel benutzten *Zeiger-Schnellwaagen* sind ihrer Bauart nach ebenfalls Neigungswaagen (Abb. 66/3). Sie haben wegen ihrer einfachen Handhabung die früher für diese Zwecke üblichen Balkenwaagen fast ganz verdrängt.

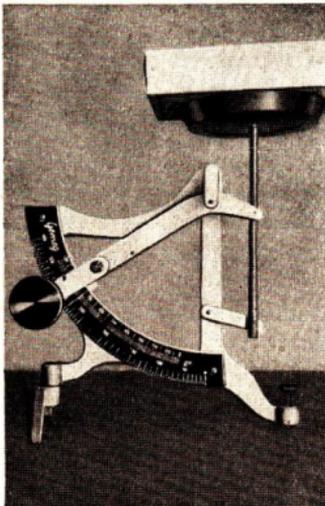


Abb. 66/2. Briefwaage

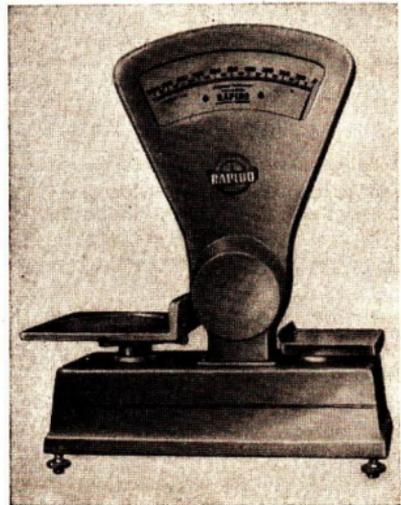


Abb. 66/3. Zeiger-Schnellwaage

5. Die Dezimalwaage. Eine der wichtigsten Waagen in der Landwirtschaft ist die *Dezimalwaage*. Mit ihr werden hauptsächlich Kohlen, Kartoffeln und andere Verbrauchsgüter gewogen, die in Säcken gehandelt werden. Bei der Dezimalwaage betragen die zum Herstellen des Gleichgewichts auf die Waagschale gestellten Gewichtsstücke nur den zehnten Teil der Last. Wird zum Beispiel auf der Dezimalwaage ein Sack mit 50 kg Kartoffeln gewogen, so ist auf die Waagschale nur ein 5-kg-Stück zu legen (Abb. 67/1). Abbildung 67/2 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 ist die

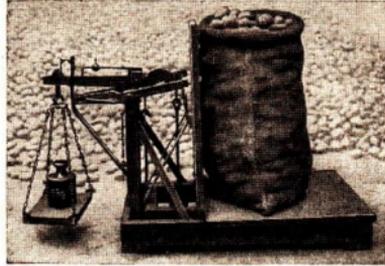


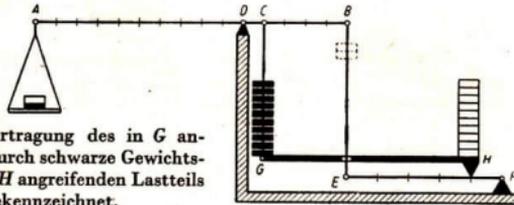
Abb. 67/1. Dezimalwaage im Gebrauch beim Abwiegen eines Kartoffelsackes.

Abb. 67/2

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.



Waagschale befestigt. 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 im Punkt E angebrachten Gelenkes den einseitigen Hebel EF . Dieser 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 , die 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 liegt beispielsweise im Endpunkt G eine Masse von 10 kg (in Abb. 67/2 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) liegt 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.

6. Versuche, Fragen und Aufgaben:

1. Stelle an jeder dir zugänglichen Waage fest, welche Masse einen gerade noch sichtbaren Ausschlag hervorruft!
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 stellst du fest?
3. Wäge ein Stück Pappe von Postkartengröße auf einer Präzisionswaage und auf einer Tafelwaage! Welche Waage ist für die Wägung geeigneter?
4. Ermittle durch Wägen auf einer empfindlichen Waage die Masse von 5 etwa gleichgroßen Marmeln und errechne daraus die Durchschnittsmasse einer Murmel! Prüfe durch Einzelwägungen, um wieviel die Masse jeder Murmel davon nach oben oder unten abweicht! (Erforderliche Genauigkeit 100 mg.)
5. Wäge eine hohle Glaskugel, die einen dichtschießenden Hahn besitzt, auf einer empfindlichen Waage! Statt der Kugel kannst du auch eine Flasche benutzen, durch deren Stopfen ein Glashahn gesteckt ist. Sauge kräftig an dem geöffneten Hahn und verschließe ihn noch während des Saugens! Wäge die Kugel bzw. die Flasche von neuem! Was kannst du feststellen? Wie groß ist die Masse der herausgesaugten Luft? (Erforderliche Genauigkeit 100 mg.)

6. Bei einer römischen Schnellwaage befindet sich die Achse nahe an einem Ende des Waagebalkens und ist in einer nach oben gerichteten Schere befestigt (Abb. 68/1). Diese trägt oben einen Ring, an den die Waage gehängt werden kann. An dem gleichen Ende ist gelenkig ein großer Haken angebracht, an den der zu wägende Körper gehängt wird. Das Gleichgewicht wird durch ein Wägestück von 1 kg, bei größeren Körpern durch ein solches

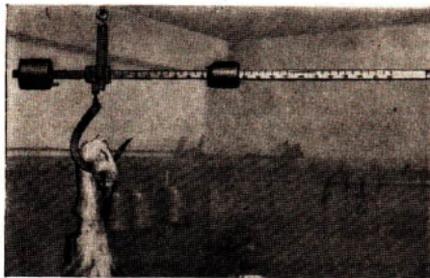


Abb. 68/1. Römische Schnellwaage

von 5 kg bzw. 10 kg hergestellt. Dieses ist auf der anderen Seite des Waagebalkens verschiebbar. Das Ergebnis der Wägung wird an einer Skala abgelesen, die sich am Waagebalken befindet. Erkläre die Wirkungsweise dieser Waage!

7. Erkläre die Hebeleinrichtung einer oberhalbigen Tafelwaage, die in Abbildung 66/1 wiedergegeben wird!

§ 14. Rollen und Flaschenzüge

1. Das Seil als Mittel zur Kraftübertragung. — Die Rolle. Soll eine Kraft auf eine größere Entfernung übertragen werden, so benutzt man dazu *Seile* aus Hanf oder Nylon, *Drachtseile* oder einzelne *Drähte*, *Ketten* oder *Riemen* (Abb. 69/1). Da Seile biegsam sind, kann man mit ihnen nur Zugkräfte übertragen. Zum Übertragen von Druck- oder Schubkräften ist eine starre Verbindung erforderlich.

Ein Seil überträgt ausschließlich Zugkräfte.

Zur Änderung der Zugrichtung eines Seiles benutzen wir **Rollen**. So werden bei der Eisenbahn vielfach Drähte, die über mehrere Rollen geführt sind, zum Stellen von Signalen und Weichen verwendet (Abb. 69/2).

Mittels einer Rolle kann man die Richtung einer Zugkraft ändern.

2. Die feste und die lose Rolle als Hilfsmittel beim Lastenheben. Sollen in einer Scheune Strohhallen emporgezogen werden, so wird man nur selten die Last am Seil unmittelbar emporziehen. Man erleichtert sich diese Arbeit dadurch, daß man an einem Balken eine Rolle befestigt und das Seil über diese Rolle führt. Eine solche Rolle bezeichnet man als *feste Rolle*. Man zieht an dem Seil von unten her die Last empor. Die Rolle dreht sich zwischen den Schenkeln der Schere (Abb. 70/1). Eine Kraftverminderung tritt dabei nicht ein; denn die

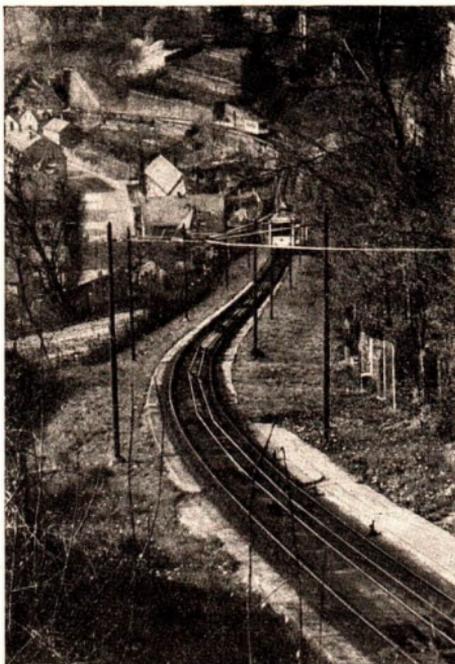
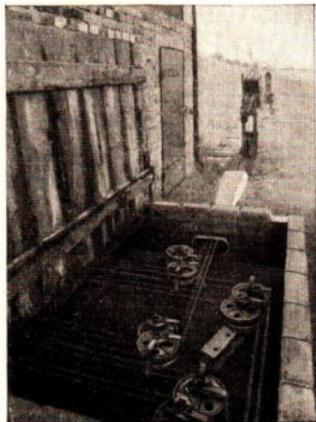


Abb. 69/1. Drahtseilbahn zum Weißen Hirsch in Dresden-Loschwitz. Durch Drahtseile, die zwischen den Schienen über Rollen laufen, werden die Wagen gezogen.



feste Rolle wirkt wie ein gleicharmiger Hebel (vgl. Abb. 70/1).

An einer festen Rolle besteht Gleichgewicht, wenn die Kräfte an den beiden Seilenden gleich groß sind.

In der Abbildung 71/1 ist eine Versuchsanordnung wiedergegeben, durch die dieses Gesetz bestätigt wird. Hängt eine Rolle in einer Seilschlinge, so nennt man sie eine *lose Rolle*. Ihr Drehpunkt kann durch Ziehen am Seil gehoben und gesenkt werden. An der nach

Abb. 69/2. Umlenkrollen im Rollenkasten eines mechanischen Stellwerkes der Eisenbahn.

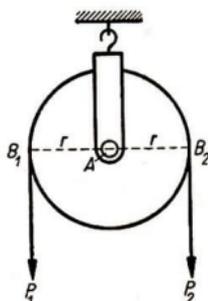


Abb. 70/1. Die feste Rolle als zweiseitiger gleicharmer Hebel. Beide Hebelarme sind als Radien einander gleich. In den Abbildungen 70/1, 71/1, 71/2, 71/3 und 71/5 bedeutet P_1 die zu hebende Last, P_2 die dazu erforderliche Kraft.

unten gerichteten Schere trägt die Rolle die Last. Hängen wir eine lose Rolle in einer Schnurschlinge an zwei Federwaagen, so verteilt sich die Last gleichmäßig auf beide Schnurenden (Abb. 71/2). Jede Federwaage zeigt die Hälfte der Last an, wobei das Gewicht der losen Rolle zur Last hinzuzurechnen ist.

Man kann eine lose und eine feste Rolle miteinander verbinden, wie die Abbildung 71/3 zeigt. Auf jedes Ende der um die lose Rolle geführten Schnur wird die Hälfte der Last übertragen. Am festen Ende wird die Zugkraft von der Tragstange aufgenommen; am freien Ende genügt zum Herstellen des Gleichgewichts eine Gegenkraft, die gleich der Hälfte der Last ist.

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

Durch eine lose Rolle wird demnach Kraft gespart. Da die festen wie die losen Rollen nur zum Umlenken der Kraft dienen, die Kraftübertragung selbst aber durch das Seil erfolgt, bezeichnet man Einrichtungen dieser Art auch als *Seilmaschinen*. Soll bei einer Verbindung einer losen und einer festen Rolle die Last um eine bestimmte Strecke gehoben werden, so muß das freie Seilende um die doppelte Strecke gesenkt werden.

3. Der Flaschenzug. Die in der Abbildung 71/3 dargestellte Vorrichtung ist die einfachste Form eines *Flaschenzuges*. Man kann die Wirkung eines Flaschenzuges dadurch erhöhen, daß man die Anzahl der losen und festen Rollen vergrößert. Die festen und die losen Rollen werden in je einem *Block* vereinigt. In Abbildung 71/4 sehen wir den Block der losen Rollen eines großen Flaschenzuges. Er enthält zwei Rollen, die auf einer gemeinsamen Achse nebeneinanderliegen. Das in Abbildung 71/5 wiedergegebene Flaschenzugmodell ist ebenfalls mit zwei losen und zwei festen Rollen ausgestattet. Zwischen den Rollen spannen sich vier Seilstücke, auf die sich die Kräfte gleichmäßig verteilen. Die Zugkraft am freien Ende beträgt daher nur ein Viertel der Last. Bei einem aus drei losen und drei festen Rollen bestehenden Flaschenzug ist zum Herstellen des Gleichgewichts nur ein Sechstel der Last als Gegenkraft erforderlich.

Bei einem Flaschenzug herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft gleich dem Quotienten aus der Last und der Anzahl der Seilstücke zwischen den Rollen ist.

Flaschenzüge dienen nicht nur zum Heben einer Last. Man verwendet sie häufig auch, wenn man mit geringen Kräften große Zugkräfte, auch in waagerechter Richtung, ausüben will. Die Abbildungen 72/1 und 72/2 zeigen als Beispiele zwei technische Anwendungen des Flaschenzuges zum Spannen des Fahrdrabtes einer Straßenbahn.

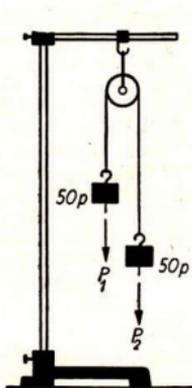


Abb. 71/1
Gleich große Gewichtsstücke im Gleichgewicht an einer festen Rolle.
 $P_2 = P_1$.

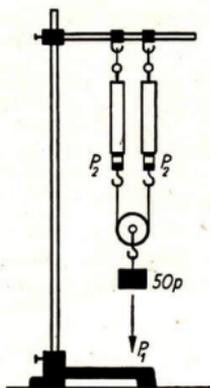


Abb. 71/2
Zwischen zwei Federwaagen hängende lose Rolle. Jede Federwaage nimmt die Hälfte der Last auf.
 $P_2 = \frac{P_1}{2}$.

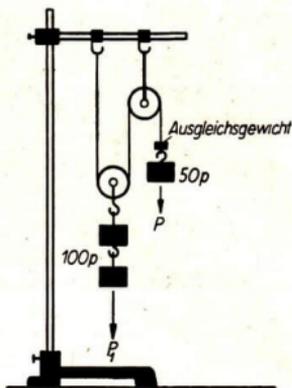


Abb. 71/3
Verbindung einer losen und einer festen Rolle. Die Gegenkraft ist halb so groß wie die an der losen Rolle angreifende Last.
 $P_2 = \frac{P_1}{2}$.
Das Gewicht der losen Rolle wird durch ein kleines Gegengewicht ausgeglichen.

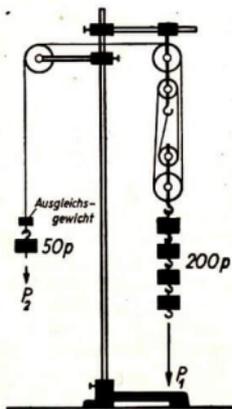


Abb. 71/5
Modell eines aus zwei losen und zwei festen Rollen bestehenden Flaschenzuges. Die Rollen sind am Modell der besseren Erkennbarkeit halber übereinander angeordnet. Bei der technischen Ausführung liegen sie stets nebeneinander.
 $P_2 = \frac{P_1}{4}$.

Abb. 71/4. Unterer Block eines großen Flaschenzuges mit Traghaken und angehängter Last



Abb. 72/1. Spannen des Fahrdrabtes einer 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.

4. Versuche, Fragen und Aufgaben:

1. Stelle aus den Rollen und anderen Teilen eines Metallbaukastens Modelle von Flaschenzügen zusammen!
2. Benutze zwei starke Vorhangringe als Schnurführung an Stelle einer losen und einer festen Rolle! Fertige daraus das Modell einer Seilmaschine nach Art eines einfachen Flaschenzuges an! Welcher Unterschied besteht gegenüber der Verwendung von Rollen?
3. Stelle an einem Flaschenzugmodell, das aus zwei losen und zwei festen Rollen besteht, Gleichgewicht her! Bestätige damit das im Abschnitt 3 angegebene Gesetz! 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 einfache Zeichnungen von Flaschenzügen mit vier, mit sechs Rollen an!
6. Stelle aus zwei festen und zwei losen Rollen ein Flaschenzugmodell her! Knüpfe die Schere der losen Rolle an eine unten festgeklemmte Federwaage und binde das freie Seilende ebenfalls an eine Federwaage! Ziehe an dieser Federwaage und vergleiche die Anzeige mit der der anderen Federwaage! Was findest du?
7. In Abbildung 72/2 wird ein Betonklotz zum Spannen eines Fahrdrabtes verwendet. Welche Zugkraft wird auf den Fahrdrabt übertragen, wenn der Betonklotz ein Gewicht von 250 kp hat?
8. Zum Hochziehen von Mörtelheimern an einem Neubau wird ein Flaschenzug ver-



Abb. 72/2. Einfacher Flaschenzug als Halte- und Spannvorrichtung für den Fahrdrabt einer Straßenbahn. Verwendet wird eine lose, eine feste Rolle und an Stelle des Seiles eine Kette. Sie wird durch schwere Betonscheiben gespannt. Die auf den Fahrdrabt ausgeübte Zugkraft ist doppelt so groß wie das Gewicht der Betonscheiben.

wendet, der aus einer losen und einer festen Rolle besteht. Der volle Eimer hat ein Gewicht von 25 kp. Welche Kraft ist zum Hochziehen erforderlich?

9. Zum Hochziehen von Lasten an einem 23 m hohen Gerüst wird ein Flaschenzug verwendet, der aus drei losen und drei festen Rollen besteht. Wie lang muß das Seil mindestens sein?
10. Laß dir in der Werkstatt einer MTS oder in einer anderen Werkstatt einen Flaschenzug zeigen und beschreibe seine Wirkungsweise!

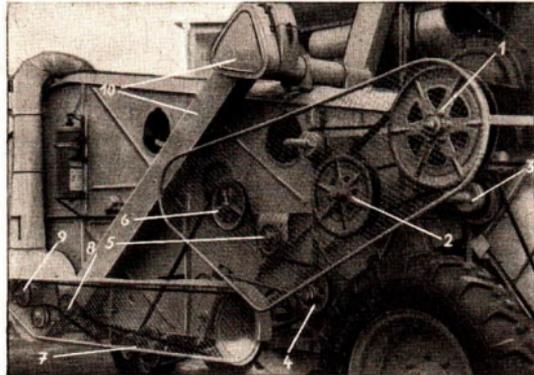
§ 15. Das Wellrad

1. Das Wellrad. Viele Maschinen werden vom Motor aus über einen Riemen angetrieben. Diese Art der Kraftübertragung finden wir besonders bei landwirtschaftlichen Maschinen. So hat die Hauptantriebswelle jeder Dreschmaschine an ihren Enden Riemenscheiben. Um eine dieser Riemenscheiben läuft der Treibriemen. Auch andere Teile der Dreschmaschine, wie die Trommelwelle und das Förderband, werden durch Riemen angetrieben (Abb. 73/1).

Abb. 73/1

Kraftübertragung beim
Mähdrescher

- 1 Riemenscheibe des Motors
- 2 Riemenscheibe der Trommelwelle
- 3 Antrieb zum zentralen Förderband
- 4 Ventilator
- 5 Zwischenrolle
- 6 Schüttler
- 7 Kornschnecke
- 8 Elevatorantrieb
- 9 Ährenschnacke
- 10 Körnerelevator

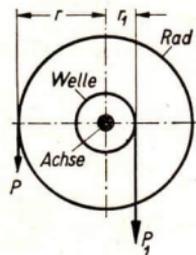


Eine feste Verbindung eines Rades, zum Beispiel der Riemenscheibe, mit einer Welle nennt man ein **Wellrad**. Die Abbildung 73/2 läßt erkennen, daß das Wellrad in seiner Wirkung auf den Hebel zurückzuführen ist. Der Angriffspunkt der Last P_1 liegt auf der Oberfläche der Welle, während der Angriffspunkt der Kraft P auf dem Rande des Rades liegt. Der Radius der Welle (r_1) ist der Lastarm, der Radius des Rades (r) ist der Kraftarm. Wie beim Hebel sind die Produkte aus den Kräften und den zugehörigen Kraftarmen gleich. Es gilt wieder die uns von § 12,3 her bekannte Gleichung

$$P \cdot a = Q \cdot b.$$

Abb. 73/2. Das Wellrad als ungleicharmiger Hebel

- P = Kraft P_1 = Last
 r = Radius des Rades, gleichzeitig Kraftarm
 r_1 = Radius der Welle, gleichzeitig Lastarm



Dabei sind die Buchstaben a und b durch r und r_1 und der Buchstabe Q durch P_1 zu ersetzen. Es ist

$$P \cdot r = P_1 \cdot r_1.$$

Dividieren wir beide Produkte durch r , so erhalten wir:

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

Da der Radius r_1 der Welle stets kleiner ist als der Radius r des Rades, ist $\frac{r_1}{r}$ ein echter Bruch und demnach kleiner als 1. Die Kraft P ist daher kleiner als die Last P_1 . Ein Wellrad wirkt somit kraftsparend.

Ein Wellrad ist eine kraftübertragende und kraftsparende Vorrichtung.

2. Die Kurbel. Zum Antreiben einer Welle mit der Hand, beispielsweise bei der Kaffeemühle, benutzt man eine *Kurbel*. Sie wirkt wie ein Wellrad (Abb. 74/1). Ebenso wie eine Kurbel wirkt ein *Stellhebel*, wie er bei mechanischen Stellwerkenlagen der Eisenbahn verwendet wird (Abb. 75/1).

Auch die *Seilwinde* ist ein Wellrad (Abb. 75/2). Das Seil ist in mehreren Windungen um die Welle gelegt und mit dem Ende an ihr befestigt. Das frei herabhängende Ende trägt die Last. Die Welle wird mittels einer Kurbel gedreht.

3. Der Zahntrieb. — Das **Übersetzungsverhältnis.** Wir können die Kraftersparnis noch steigern, indem wir die Kurbelwelle mit Hilfe von *Zahnradern* auf eine zweite Welle wirken lassen (Abb. 75/3). Man spricht dann von einem *Zahntrieb*. Das treibende Rad mit dem Durchmesser d_1 sitzt auf der ersten Welle, das getriebene Rad mit dem Durchmesser d_2 auf der zweiten. Ist der Durchmesser des getriebenen Rades größer als der des treibenden Rades, so ist mit der Übertragung der Kraft eine Kraftverstärkung verbunden. Damit man diese Kraftverstärkung genau angeben kann, muß man das Verhältnis der Zähnezahlen beziehungsweise der Durchmesser der beiden Zahnräder kennen.

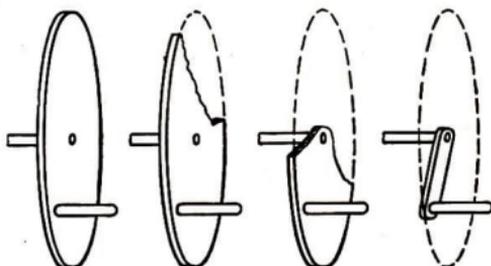


Abb. 74/1. Entwicklung einer Kurbel aus einem Wellrad.

Unter dem Übersetzungsverhältnis zweier Zahnräder versteht man den Quotienten aus der Zähnezahl des getriebenen Rades (Z_2) und der des treibenden Rades (Z_1).

$$i = \frac{Z_2}{Z_1}.$$

Ist P die treibende Kraft und Q die übertragene Kraft, so ist

$$P \cdot i = Q.$$

Der Quotient der beiden Zähnezahlen stimmt mit dem Quotienten der beiden Durchmesser überein. Es ist demnach auch

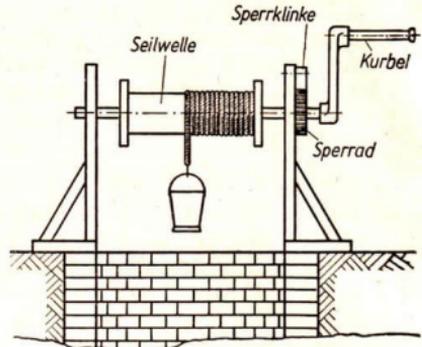
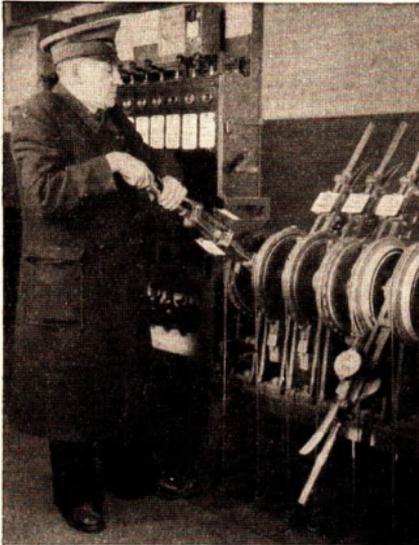


Abb. 75/2. Einfache Seilwinde als Hebevorrichtung über einem offenen Brunnen.

Abb. 75/1. Eisenbahnstellwerk
Die Seilscheiben werden durch Griffstangen gedreht. Die um diese gelegten Drahtseile verstellen die Weichen und Streckensignale.

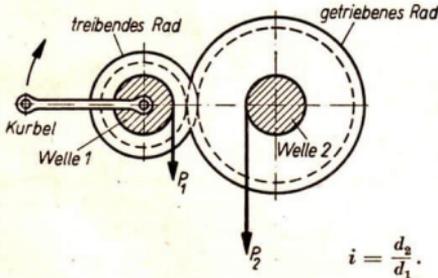


Abb. 75/3. Schema einer Zahnradübertragung. In schematischen Zeichnungen werden Zahnräder durch einen Vollkreis mit eingezeichnetem gestricheltem Kreis wiedergegeben. Das auf der Kurbelwelle (Welle 1) sitzende Zahnrad (treibendes Rad) greift in ein größeres Zahnrad (getriebenes Rad) ein, das mit der Welle 2 verbunden ist.

Beispiel:

Bei einem Zahntrieb habe das treibende Rad einen Durchmesser $d_1 = 6,5$ cm und 54 Zähne, das getriebene Rad 162 Zähne. Das Übersetzungsverhältnis ist

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{162}{54} = 3.$$

Ist die treibende Kraft $P = 105$ kp, so wird sie mit

$$Q = P \cdot i = 105 \text{ kp} \cdot 3 = 315 \text{ kp}$$

auf die getriebene Welle übertragen.

Die Abbildung 76/1 zeigt als Anwendung eines Zahntriebes eine Seilwinde, wie sie vielfach auf Baustellen verwendet wird.

Eine andere, dem Zahntrieb ähnliche Form der Kraftübertragung ist der *Riemetrieb*. Bei ihm sind zwei kreisförmige Riemenscheiben durch einen Treibriemen miteinander verbunden (Abb. 76/2).

Beim Übergang vom kleineren zum größeren Zahnrad dreht sich die getriebene Welle langsamer als die treibende Welle. Mit der Kraftzunahme ist daher eine Verminderung der **Drehzahl** verbunden. Unter der Drehzahl versteht man die **Anzahl der Umdrehungen in einer Minute** (U/min).

Soll die Drehzahl einer Welle erhöht werden, so muß das getriebene Rad einen kleineren Umfang und somit eine kleinere Zähnezahzahl haben als das treibende.

Bei einem Zahntrieb erfolgt die Änderung der Drehzahlen (n) umgekehrt wie die Änderung der Zähnezahlen (Z).

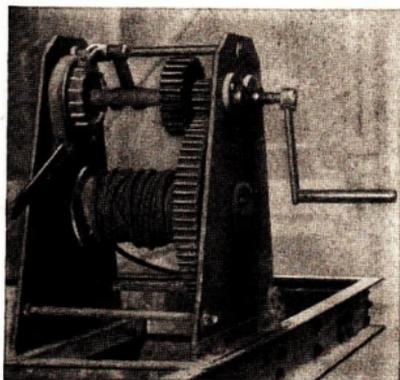


Abb. 76/1. Seilwinde mit Zahntrieb

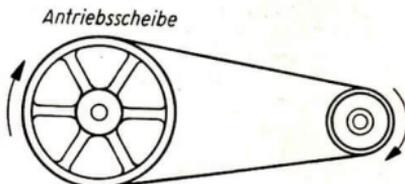


Abb. 76/2. Riemetrieb

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1} = i.$$

Man findet somit die Drehzahl der getriebenen Welle, indem man die Drehzahl der treibenden Welle durch das Übersetzungsverhältnis dividiert:

$$n_2 = \frac{n_1}{i}.$$

Beispiel:

Hat das treibende Rad 84 Zähne, das getriebene Rad 336 Zähne, so ist das Übersetzungsverhältnis $i = \frac{336}{84} = 4$. Beim Übergang von der treibenden zur getriebenen Welle wird die Drehzahl herabgesetzt. Ist die Drehzahl der treibenden Welle $n_1 = 3000$, so hat die getriebene Welle die Drehzahl

$$n_2 = \frac{n_1}{i} = \frac{3000 \text{ U/min}}{4} = 750 \text{ U/min.}$$

4. Das Getriebe. Häufig ist es zweckmäßig, mehrere Zahnradwellen hintereinanderschalten. Man erhält dann ein *Zahnradgetriebe*. Mit Getrieben sind alle Maschinen ausgerüstet, bei denen die Drehzahl der Antriebswelle herauf- oder herabgesetzt werden muß. Die meisten Getriebe sind so eingerichtet, daß sich das Übersetzungsverhältnis während des Betriebes ändern läßt. Jede Drehmaschine, jede Fräs-

Abb. 77/1. Getriebe eines Kraftwagens. Die umhüllende Kapsel ist abgenommen.

maschine, jede moderne Bohrmaschine, jeder Kraftwagen und jeder Traktor sind mit einem solchen Getriebe ausgerüstet (Abb. 77/1).

Auch die Seilwinden werden meist mit einem Getriebe verbunden. Solche Seilwinden findet man in den ortsfesten oder fahrbaren *Kränen*. Ein um die Seiltrommel gewundenes Seil wird mittels einer Rolle über eine Stütze geführt und endet in einem Flaschenzug. Als Beispiel für einen Kran von hoher Tragkraft zeigt die Abbildung 77/2 einen der bekannten *Turmdrehkräne*, die auf den vielen Großbaustellen in der Deutschen Demokratischen Republik eingesetzt werden.

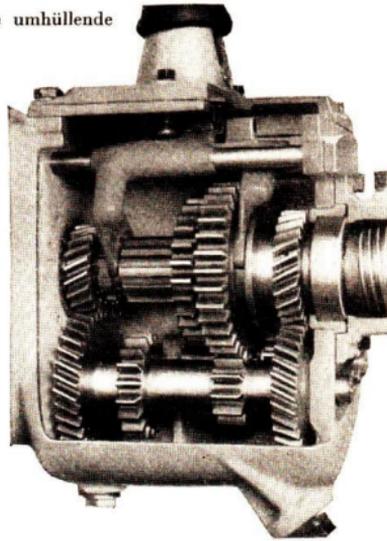
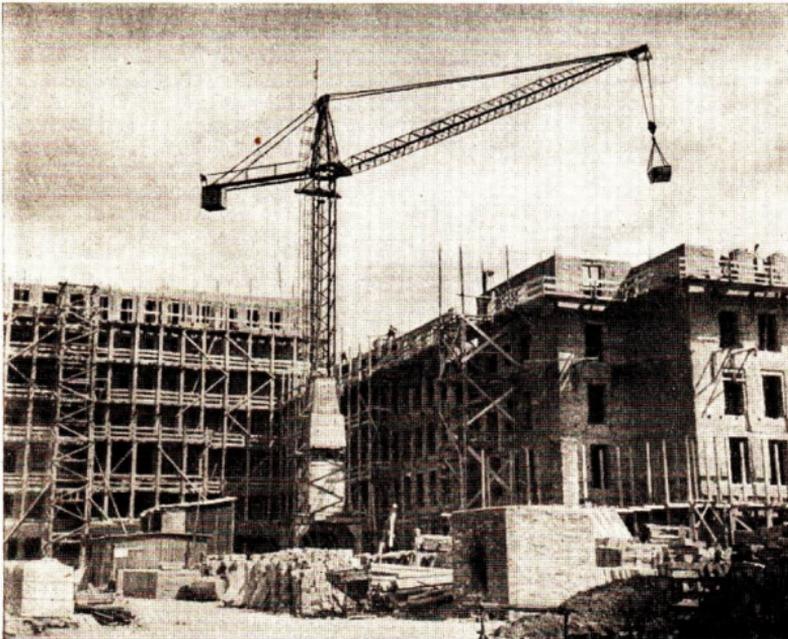


Abb. 77/2. Turmdrehkran



Sehr leistungsfähig sind auch die großen *Eisenbahndrehkräne*. Sie sind auf einem Eisenbahnfahrgestell montiert und können daher leicht zu allen Einsatzstellen transportiert werden.

5. Fragen und Aufgaben:

1. Gib Beispiele für Wellräder und Kurbeln an Haushaltgeräten, landwirtschaftlichen und anderen Maschinen an! Erkläre in jedem Falle die Wirkungsweise!
2. Begründe die Wirkungsweise einer Kurbel mit Hilfe des Hebelgesetzes!
3. Welche Übersetzung hat ein Zahntrieb, dessen treibendes Rad 28 und dessen getriebenes Rad 70 Zähne hat? In welchem Verhältnis ändert sich die Drehzahl?
4. Wie groß ist in Aufgabe 3 die auf die getriebene Welle übertragene Kraft, wenn zum Drehen der Antriebswelle eine Kraft von 106 kp aufgewendet wird? Die Radien der Wellen sind gleich groß.
5. Eine Treibwelle macht in der Minute 900 Umdrehungen. Die Drehzahl wird mit Hilfe zweier Zahnräder übersetzt, deren erstes 32 und deren zweites 80 Zähne hat. Wie groß ist die Drehzahl der getriebenen Welle?
6. Vor einem Baugerüst steht eine einfache Seilwinde zum Hochwinden der Mörtelbehälter. Die Welle hat einen Durchmesser von 12 cm, die Kurbel eine von der Achse bis zum Handgriff gemessene Länge von 40 cm. Das Seil läuft oben über eine feste Rolle. Ein gefüllter Behälter hat ein Gewicht von 80 kp. Welche Kraft ist zum Hochwinden erforderlich, wenn von dem Reibungswiderstand abgesehen wird?
7. Die Kurbel einer Seilwinde ist 30 cm lang; sie wirkt mittels eines Zahntriebes auf eine Seiltrommel ein. Der Radius des treibenden Rades ist 5 cm, der Radius des getriebenen Rades 25 cm, der Radius der Seilwelle 10 cm lang. Fertige eine maßgetreue Zeichnung des Querschnittes im Maßstab 1 : 10 an!
8. Die Umdrehung einer Welle soll unter Vervierfachung der Drehzahl auf eine andere Welle übertragen werden. Zu diesem Zweck wird ein Zahntrieb eingebaut, dessen treibendes Rad einen Durchmesser von $d_1 = 24$ cm hat und 160 Zähne enthält. Welchen Durchmesser muß das getriebene Rad haben, und mit wieviel Zähnen ist es auszustatten?

§ 16. Die schiefe Ebene

1. Die schiefe Ebene als kraftsparende Einrichtung. Wenn Transportarbeiter ein Faß oder einen anderen schweren Körper, der sich leicht wälzen läßt, auf eine Rampe emporheben wollen, so legen sie eine *Schrotleiter* an und rollen den Körper über die Schrotleiter empor (Abb. 79/1). Die Holme der Leiter bilden eine *schiefe Ebene*.

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 schiefe Ebene ist ein besonders einfaches Hilfsmittel zum Befördern von Lasten an einen höher gelegenen Ort. Sie eignet sich vor allem für Lasten, die sich rollen lassen.

Die Wirkungsweise der schiefen Ebene ist in folgender Weise zu erklären. Jeder Körper hat ein Gewicht, das ihn senkrecht nach unten zieht. Wenn der Körper sich selbst überlassen ist, fällt er senkrecht nach unten. Liegt er dagegen auf einer schiefen Ebene, so wirkt nur ein Teil seines Gewichtes in Richtung der schiefen Ebene. Diesen Teil nennt man die *Hangabtriebskraft*. Sie muß beim Hinaufrollen

des Fasses über die Schrotleiter überwunden werden. Den anderen Teil des Gewichts nimmt die schiefe Ebene, in unserem Beispiel die Schrotleiter, auf.

2. Das Gesetz der schiefen Ebene. Wir bilden mit Hilfe eines glatten Brettes eine schiefe Ebene, so wie es die Abbildung 79/2 zeigt. Über das Brett ziehen wir einen 250 p schweren kleinen Wagen an einem Faden empor, der zum Brett parallel läuft. Schon durch Probieren mit der Hand können wir feststellen, daß wir zum Ziehen des Wagens eine um so größere Kraft aufwenden müssen, je steiler die Ebene ist. Wir führen den Faden über eine Rolle und belasten ihn zum Herstellen des Gleichgewichts mit Hakengewichtsstücken. Vor jedem Versuch messen wir die Höhe des oberen Brettendes über der Tischfläche. Wir vergrößern dabei die Höhe jedesmal um 20 cm. Die Ergebnisse der Versuchsreihe sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.



Abb. 79/1. Die Schrotleiter als Beispiel einer schiefen Ebene.

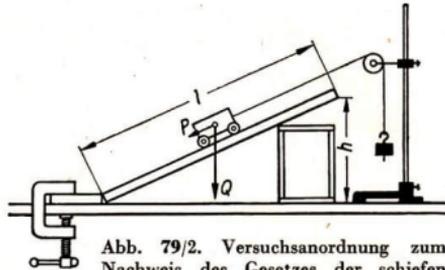


Abb. 79/2. Versuchsanordnung zum Nachweis des Gesetzes der schiefen Ebene. Als schiefe Ebene dient ein glattes Brett, das mit einem Ende auf einem Unterstellkasten aufliegt.

Länge der schiefen Ebene (l) cm	Höhe der schiefen Ebene (h) cm	Höhe (h) Länge (l)	Last (Q) p	Kraft (P) p	Kraft (P) Last (Q)
100	20	0,2	250	50	0,2
100	40	0,4	250	100	0,4
100	60	0,6	250	150	0,6
100	80	0,8	250	200	0,8

Wir bilden in jeder Zeile die Quotienten aus der Höhe und der Länge der schiefen Ebene sowie aus der Kraft und der Last und finden, daß diese Quotienten bei jedem Versuch den gleichen Wert haben. Diese Versuchsreihe bestätigt das Gesetz der schiefen Ebene:

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.

Bezeichnen wir, wie in der Tabelle, das Körpergewicht mit Q , die Hangabtriebskraft mit P , die Höhe der schiefen Ebene mit h und ihre Länge mit l , so können wir dieses Gesetz durch die folgende Gleichung wiedergeben:

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

Den Quotienten $\frac{h}{l}$ bezeichnet man als die *Steigung* der schiefen Ebene, er ist ein Maß für ihre *Steilheit*.

Beispiele:

- a) Auf einer Schrotleiter ($l = 2,40$ m, $h = 80$ cm) soll ein Ölfäß ($Q = 210$ kp) emporgerollt werden. Die Steigung der schiefen Ebene ist

$$\frac{h}{l} = \frac{0,80 \text{ m}}{2,40 \text{ m}} = \frac{1}{3}.$$

Wir berechnen die Größe der zum Emporrollen notwendigen Kraft P , indem wir das Produkt aus der Last Q und der Steigung bilden:

$$P = 210 \text{ kp} \cdot \frac{1}{3} = 70 \text{ kp}.$$

- b) Eine Rampe von der Länge $l = 18$ m überwindet einen Höhenunterschied von $h = 4,5$ m. Ihre Steigung beträgt somit $\frac{h}{l} = \frac{4,5 \text{ m}}{18 \text{ m}} = \frac{1}{4}$.

Am oberen Ende der Rampe steht eine Seilwinde, die eine Zugkraft von 2400 kp aufbringt. Sie vermag damit eine Höchstlast Q über die schiefe Ebene emporzuziehen, die sich aus der Gleichung

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

ergibt. Es ist $\frac{2400 \text{ kp}}{Q} = 0,25$, mithin $Q = \frac{2400 \text{ kp}}{0,25} = 9600 \text{ kp}$.

Aus unseren Untersuchungen haben wir erkannt, daß beim Heben von Lasten über eine schiefe Ebene Kraft gespart wird. Diese Kraftersparnis ist um so größer, je kleiner die Steigung der schiefen Ebene ist.

3. Schiefe Ebenen in der Technik. Schiefe Ebenen werden bei der Anlage von *Förderbahnen* und *Schrägaufzügen* in Tongruben, Braunkohlengruben und Steinbrüchen zum Überwinden von Höhenunterschieden eingebaut (Abb. 81/1). Auch die bekannten, von Motoren getriebenen *Transportbänder*, wie man sie beim Umlagern von Sand, Kohle, Steinen, Heu und Stroh benutzt, sind schiefe Ebenen (Abb. 81/2).

Jede berganführende Straße, jeder ansteigende Fußweg, jede Bergbahn ist eine schiefe Ebene. Je geringer die Steigung einer Straße ist, desto geringer ist der Kraftaufwand, der zum Überwinden des Höhenunterschiedes erforderlich ist. Die zurückgelegten Wege sind zwar bei kleinerem Neigungswinkel länger, dafür braucht

man aber bei schwach ansteigenden Wegstrecken eine geringere Kraft als bei steilen Wegen.

4. Fragen und Aufgaben:

1. Begründe, warum das Steigen auf einer in Windungen, in Serpentin, geführten Bergstraße weniger anstrengt als auf einem steil emporführenden Fußweg?
2. Leite das Gesetz der schiefen Ebene ab!
3. Eine schiefe Ebene überwindet bei einer Länge von 64 m einen Höhenunterschied von 20 m. Wie groß ist ihre Steigung? Wie groß ist die Hangabtriebskraft, die auf einen 720 kp schweren Körper einwirkt?
4. Eine Straße hat die durchschnittliche Steigung 0,052. Um wieviel Meter stoß sie bei einer Gesamtlänge von 450 m?
5. Der Ablaufberg eines Verschiebebahnhofs hat einen Neigungswinkel von 5° . Dem entspricht eine Steigung von 0,087. Welche Zugkraft muß eine Lokomotive aufbringen, wenn sie einen 18 Mp schweren Güterwagen emporzieht? Das Eigengewicht der Lokomotive und die Reibung bleiben unberücksichtigt.
6. 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 2580 kp erforderlich?

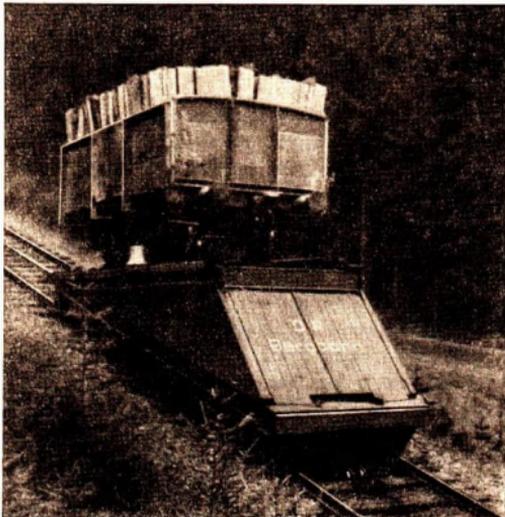


Abb. 81/1. Schrägaufzug der Deutschen Reichsbahn bei Obstfelderschmiede (Thüringen)

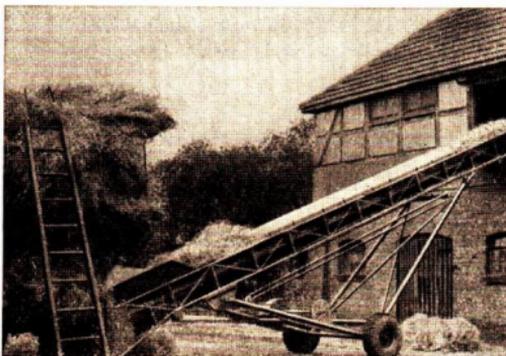


Abb. 81/2. Transportband zum Befördern von Stroh in einen Speicher

7. Ein Benzinaß wird über eine Schrotleiter auf eine Ladebühne gerollt. Ein obenstehender Arbeiter wirkt dabei mit, indem er auf der Ladebühne ein Seil verankert, das er über die Leiter hinab und von unten um das Faß herumführt. An dem freien Seilende zieht er. 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?

§ 17. Die Schraube

1. Die Schraube als Verbindungsmittel. Wollen Maschinenschlosser zwei Maschinenteile fest und doch lösbar miteinander verbinden, so verwenden sie dazu eine Schraube. Große *Maschinenschrauben* sind meist *Mutterschrauben*. Sie bestehen aus einem zylindrischen Bolzen, der an dem einen Ende einen sechskantigen Schraubenkopf trägt. Am andern Ende ist ein Gewinde eingeschnitten, auf das eine mit einem Innengewinde versehene *Schraubenmutter* paßt (Abb. 82/1). Die Arbeiter stecken den Bolzen durch zwei genau aufeinander passende Bohrlöcher der Maschinenteile und setzen die Schraubenmutter auf das Gewinde des Bolzens. Mit zwei Schraubenschlüsseln drehen sie den Schraubenbolzen und die Schraubenmutter in entgegengesetzter Richtung. Dadurch werden die Maschinenteile mit großer Kraft gegeneinander gepreßt.

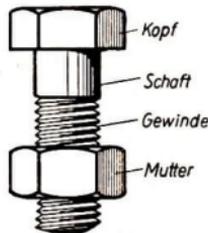


Abb. 82/1. Schraube und Mutter

2. Die Wirkungsweise der Schraube. Wir schneiden aus Papier ein rechtwinkliges Dreieck und kennzeichnen die dem rechten Winkel gegenüberliegende Seite durch einen dicken schwarzen Strich. Das Dreieck stellt einen senkrechten Schnitt durch eine schiefe Ebene dar. Dann legen wir die kürzeste Dreiecksseite an einen runden Stab und wickeln das Papier so darauf, daß der Strich außen liegt. Es entsteht eine *Schraubenlinie* (Abb. 82/2). Wählen wir statt des Papierdreiecks eine dreieckige Scheibe aus einem biegsamen dicken Stoff, etwa eine Gummischeibe, so entsteht beim Umwickeln des Holzstabes ein Modell, das mit einer aufgewickelten schiefen Ebene vergleichbar ist (Abb. 82/3).



Abb. 82/2
Papiermodell
einer
Schraubenlinie



Abb. 82/3
Modell einer
aufgewickelten
schiefen Ebene

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

An jeder Schraube unterscheiden wir den *Schraubenkopf* und den *Schraubenbolzen* mit dem *Gewinde*. Die einzelnen Windungen heißen die *Gänge* der Schraube. Den Abstand je zweier aufeinanderfolgender Gänge in Richtung der Schraubenachse nennt man die *Ganghöhe* (vgl. Abb. 82/2). Die am häufigsten verwendeten Gewindeformen sind das *scharfgängige* oder das *Spitzgewinde* und das *flachgängige* oder das *Trapezgewinde* (Abb. 83/1).

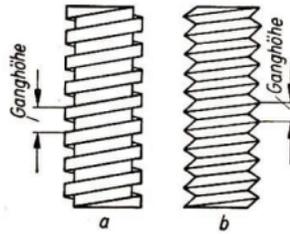


Abb. 83/1

Die häufigsten Gewindeformen

- a) Trapezgewinde
- b) Spitzgewinde

3. Die verschiedenen Schraubenarten und ihre Verwendung. Die Abbildung 83/2 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Schraubenformen. Nach ihrem Verwendungszweck unterscheiden wir folgende Schraubenarten:

a) **Befestigungsschrauben.** Durch *Befestigungsschrauben* kann man zwei Werkstücke fest, aber lösbar miteinander verbinden. Bestehen die Werkstücke aus Metall, so wird das obere mit einer glatten zylindrischen Bohrung versehen. Das untere da-

Die wichtigsten Schraubenformen

	Kopfschrauben		Senkschrauben		Mutterschrauben		Klemmschrauben	
	1	2	3	4	5	6	7	8
Kopf- form	Halbrund	Zylinder	Kegel	Linse	Sechskant	Vierkant	Rändel	Flügel
a								
Metallschrauben								
b							Beispiele für die Bezeichnung von Schrauben: 1 a — Halbrundmetallschraube, 4 b — Linsensenkholzschraube, 5 a — Sechskantmutter-schraube, 7 a — Rändelklemmschraube.	
Holzschrauben								

Abb. 83/2. Die wichtigsten Schraubenformen (Auswahl)

gegen hat eine Bohrung mit einem Innengewinde, so daß man die Schrauben anziehen kann (Abb. 84/1). Befestigungsschrauben haben meist ein Spitzgewinde.

Zum Verbinden von Holzteilen verwendet man *Holzschrauben*. Bei ihnen ist keine Gewindebohrung erforderlich; denn die Gewindegänge dringen beim Einschrauben in das Holz ein. Zu diesem Zweck sind die Schrauben vorn zugespitzt und haben scharfe Windungen. Bei den Holzschrauben sind die Gänge steiler als bei den Metallschrauben.

b) **Druck- und Zugschrauben.** *Druckschrauben* größeren Durchmessers haben meist ein Trapezgewinde. Bei der Drehung der Schraube wird das Ende des Schaftes mit großer Kraft gegen ein Widerlager gepreßt. Infolge der starken Reibung klemmen sich die Schraubengänge des Bolzens fest gegen die Schraubengänge der Bohrung, so daß sich die Schrauben nicht von selbst lockern können. Ein Beispiel für die Anwendung einer Druckschraube ist die *Obstpresse* (Abb. 84/2). Auch die *Backenschrauben* an Schlittschuhen und Rollschuhen sind Druckschrauben.

c) **Bewegungsschrauben.** Bei den *Bewegungsschrauben* werden infolge der Drehung der Schraubenspinde Maschinenteile bewegt. So wird durch die *Leitspinde* an einer Drehmaschine der Drehstuhl langsam an dem Drahtstück entlanggeführt (Abb. 85/1). Eine Bewegungsschraube ist auch die *Schraubenspinde am Schraubstock*.

d) **Stellschrauben.** Zum genauen Einstellen von Meßgeräten, von Mikroskopen und von Fernrohren werden Einstellschrauben verwendet. Man kann dadurch bewegliche Geräteteile feiner einstellen, als dies durch Verschieben möglich ist.

4. Versuche, Fragen und 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

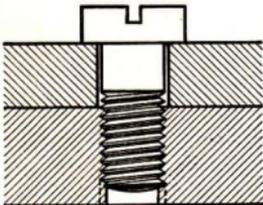


Abb. 84/1. Verbindung zweier Metallstücke durch eine Schraube

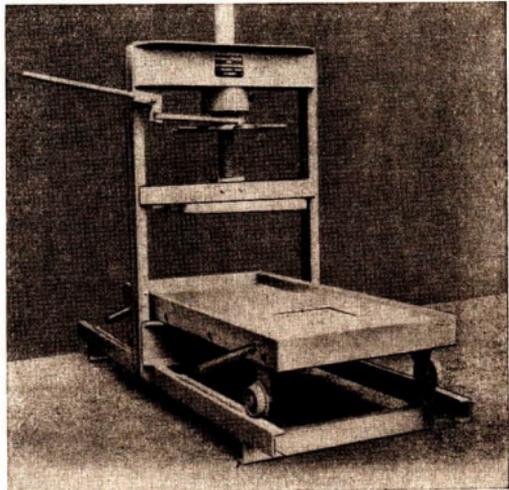


Abb. 84/2. Obstpresse
Der Obstbehälter ist fortgelassen.

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 1,5 cm liegen. Umfasse das entstehende 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?

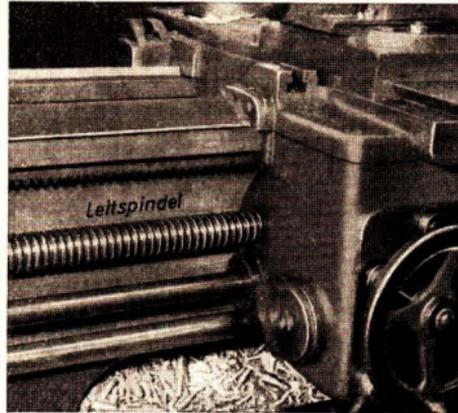
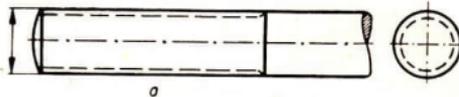


Abb. 85/1. Leitspindel einer Drehmaschine

2. Welche Hilfsmittel benutzt man zum Festziehen von a) geschlitzten Kopfschrauben, b) Sechskantbeziehungweise Vierkant-schrauben? Worauf beruht die Wirkungsweise dieser Hilfsmittel? Erläutere sie an Hand einer einfachen Zeichnung!



3. Fertige die technische Zeichnung der Seitenansicht einer Schraube mit Trapezgewinde nach Art der Abbildung 83/1 an! Der Spindeldurchmesser betrage 3 cm, der äußere Gewindedurchmesser 4 cm, die Ganghöhe 1 cm und die Zahnbreite 0,4 cm. Zeichne daneben den Längsschnitt und den Querschnitt durch dieselbe Schraube und verwende dazu die in der Abbildung 85/2 dargestellten Sinnbilder!

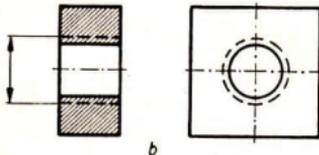


Abb. 85/2. Schraubensinnbild in einer technischen Zeichnung a) Schraube b) Mutter

4. Sammle möglichst viele Schraubenarten und stelle sie nach Art der Abbildung 83/2 zu einer Schautafel zusammen!
5. Welche Arten von Schrauben unterscheiden wir hinsichtlich a) ihres Gewindes, b) des Schraubenkopfes?
6. Erkläre, wie die kraftsparende Wirkung einer Schraube beim Drehen der Spindel zustande kommt?

§ 18. Der Keil

1. Der Keil als kraftübertragendes Werkzeug. Will ein Waldarbeiter einen Baumstumpf zerspalten, so setzt er einen Keil an und treibt ihn durch kräftige Hammerschläge in den Stumpf hinein. Dabei spaltet der Keil den Baumstumpf auseinander.

Zeichnen wir einen Keil im Querschnitt, so erkennen wir aus der Seitenansicht, daß der Keil einer schiefen Ebene gleicht (Abb. 86/1). Infolgedessen wirkt er beim Eindringen in das Holz ähnlich wie diese. Beim Verwenden eines Keils kann man daher mit verhältnismäßig geringen Kräften große Wirkungen auslösen.

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

Die beiden schrägen Seitenwände des Keils heißen die *Wangen*. Sie bilden miteinander die *Schneide*. Zwischen ihnen liegt der *Keilwinkel* β . Die der Schneide gegenüberliegende Fläche nennt man den *Rücken* des Keils. Auf diesen läßt man die treibende Kraft, die *Rückenkraft*, einwirken. Sie erfährt durch den Keil eine Richtungsänderung und wandelt sich in die *Wangenkräfte* um. Diese stehen senkrecht zu den beiden Wangen und sind bei einem flachen Keil erheblich größer als die Rückenkraft.

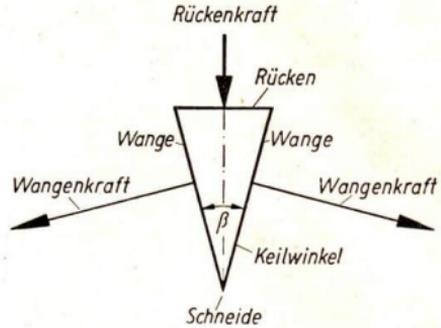


Abb. 86/1
Querschnitt durch einen Keil (schematisch)

2. Der Keil als Trenn- oder Spaltkeil. Wirkt die Rückenkraft senkrecht zur Oberfläche des Werkstückes, so dringt der Keil in das Werkstück ein. Der Keil ist ein

Trennwerkzeug, er zerlegt das Werkstück in zwei Teile. Längs der Schneide bildet sich ein Spalt. Auf Grund dieser Wirkungsweise bezeichnet man den Keil in diesem Falle auch als *Spaltkeil*. Spaltkeile sind:

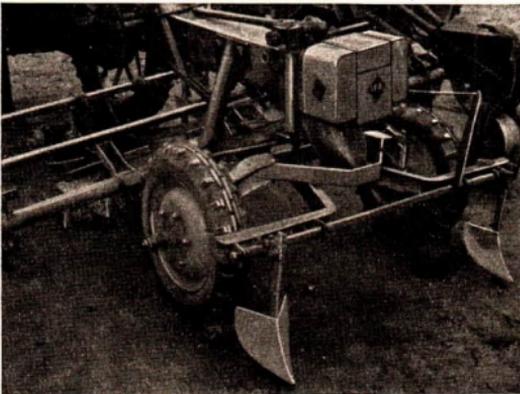


Abb. 86/2. Häufelkörper vor den Vorderrädern eines Traktors

Die Axt, das Beil, der Holzspaltkeil, der Meißel, das Stemmeisen, der Stechbeitel, das Messer, die Hacke, der Spaten, das Schar beim Pflug (Abb. 86/2), die Scheiben an der Scheibenegge und an Kartoffellegemaschinen (Abb. 87/1), die Messer am Messerbalken des Grasmähers (Abb. 87/2).

Ist die Rückenkraft schräg gegen die Oberfläche des Werkstückes gerichtet, so dringt der Keil in das Werkstück ein und hebt einen Span ab (Abb. 88/1). An der vorderen Wange gleiten die Späne empor. Sie heißt deswegen auch *Spanfläche*. Die hintere Wange des Keils darf beim Gebrauch des Keils nicht auf der Oberfläche des Werkstückes entlanggleiten. Es würde sonst unnötigerweise Wärme entstehen und dadurch ein Teil der aufgewendeten Arbeit für die Nutzung verlorengehen.

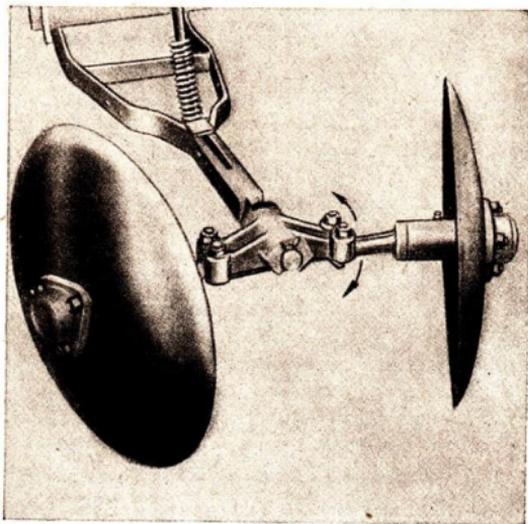


Abb. 87/1. Zudeck-Scheiben an der Kartoffellegemaschine

Die Wirkung des Keils ist um so größer, je kleiner der Keilwinkel ist. Die Größe des Keilwinkels ist aber auch vom Stoff des Werkstückes abhängig. So darf bei einem harten Werkstück der Keilwinkel nicht zu klein sein, da sonst die Schneide zu schnell abgenutzt wird. Ein Drehmeißel mit einem zu kleinen Keilwinkel müßte sehr oft zum Nachschleifen ausgewechselt werden. Das würde in der Produktion einen erheblichen Zeitverlust verursachen. Ein Messer dagegen hat einen sehr kleinen Keilwinkel, da es für verhältnismäßig weiche Werkstoffe verwendet wird.

Bei einem Grasmäher wird die Messerstange mit den Messerklingen hin und her bewegt (vgl. Abb. 87/2). Die Grashalme geraten zwischen die vorstehenden Finger und werden abgeschert. Ähnlich wirkt auch die Haarschneidemaschine.

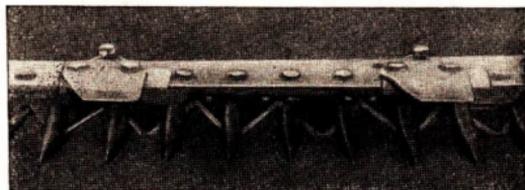


Abb. 87/2. Messerbalken eines Grasmähers (Ausschnitt)

3. Die spanabhebende Formgebung. Eines der wichtigsten Verfahren der Metall- und der Holzbearbeitung ist die *spanabhebende Formgebung*. Zu ihr gehören unter anderem

das Meißeln, das Feilen, das Schleifen, das Sägen, das Drehen, das Hobeln, das Fräsen, das Bohren, das Gewindeschneiden.

Zum Spanabheben verwendet man *Meißel*. Sie sind je nach der Art des Werkstoffes und des Arbeitsverfahrens sehr verschieden geformt. Vergleichen wir ein Stemmeisen und ein Sägeblatt, so sehen wir, daß das Stemmeisen nur eine Schneide hat, während beim Sägeblatt viele Meißel hintereinander angeordnet sind (Abb. 88/2). Auch bei anderen Werkzeugen und Maschinen für die Metall- und Holzbearbeitung finden wir den gleichen Unterschied. Es gibt Werkzeuge mit einem spanabhebenden Keil und solche mit einer Vielzahl von Keilen. Diesen Unterschied können wir am *Drehmeißel* (vgl. Abb. 95/2) und *Hobelmeißel* einerseits, am *Fräskopf* und *Walzenfräser* andererseits feststellen (Abb. 89/1 und 89/2). Die Keile sind entweder in einer Geraden hintereinander oder kreisförmig angeordnet. Wir merken uns:

Der Keil ist die Grundform aller spanabhebenden Werkzeuge.

Bei der spanabhebenden Formgebung wird ein Teil des Werkstoffes zerstört. Der dadurch bedingte Verlust an Werkstoff ist wirtschaftlich sehr ungünstig. Man bereitet deshalb nach Möglichkeit die Werkstücke durch eine *spanlose Formgebung*, zum Beispiel durch das *Gießen*, so vor, daß die Spanmenge beim Spanabheben möglichst gering ist.

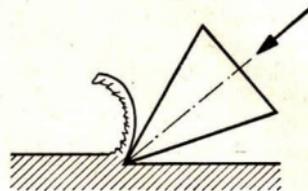
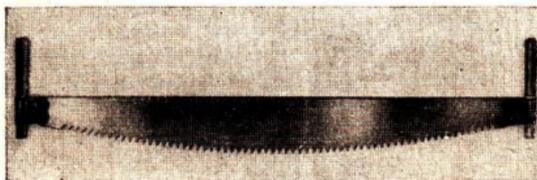
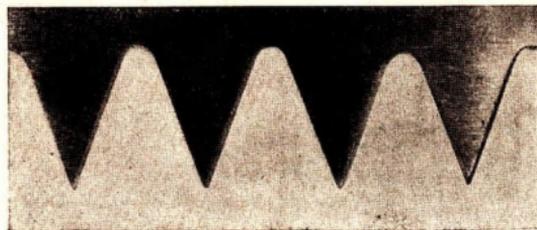


Abb. 88/1. Abheben eines Spans durch einen gegen die Oberfläche des Werkstückes geneigten Keil



a) Schrotsäge



b) vergrößerte Wiedergabe der Zähne

Abb. 88/2. Sägeblatt

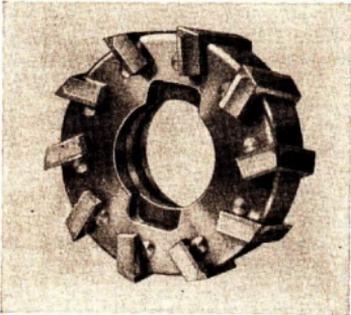


Abb. 89/1. Fräskopf

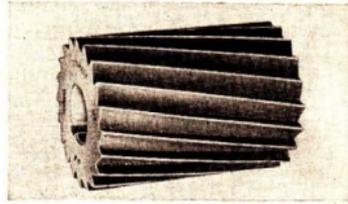


Abb. 89/2. Walzenfräser

4. Die weitere Verwendung des Keils. Der Keil wird nicht nur zum Trennen und zum Spanabheben bei Werkzeugen und Maschinen verwendet. Infolge seiner leichten Handhabung wird er noch für viele andere Zwecke benutzt. Außer den Spaltkeilen gibt es *Haltekeile*, *Befestigungskeile* und *Verbindungskeile*.

Mit Haltekeilen befestigt man Hammer- und Hackenstiele.

Befestigungskeile werden besonders zum Festklemmen von Stützen, Maschinenteilen und Schienen verwendet (Abb. 89/3).

Als Verbindungskeile verwenden die Maschinenbauer flache Treibkeile, mit denen sie Schwungräder bzw. Riemen- oder Seilscheiben oder Zahnräder fest mit der umlaufenden Welle verbinden (Abb. 89/4).



Abb. 89/3. Bergmann beim Festkeilen einer Deckenstütze in einer Kupferschiefgrube des volkseigenen Mansfelder Bergbaus.

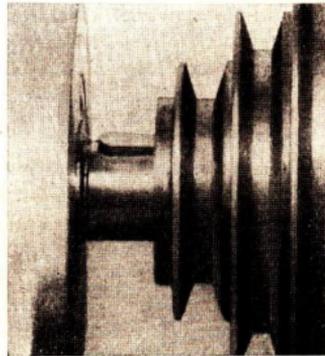


Abb. 89/4
Verbindungskeil

5. Versuche, Fragen und Aufgaben:

1. Schnitze einen Keil aus Holz und treibe ihn durch Hammerschläge unter die Seite eines eintürigen Schrankes, an der sich die Schranktür an ihrem oberen Ende klemmt! Wie kommt es, daß sich dann die Tür meist mühelos öffnen läßt? Was geschieht, wenn man den Keil zu weit heruntertreibt?
Wo muß man den Keil ansetzen, wenn sich die Tür an ihrem unteren Ende klemmt?
2. Lege auf einen etwas schrägstehenden Tisch mit glatter Oberfläche eine Stahlkugel aus einem Kugellager und treibe unter die Seite des Tisches, nach der die Kugel rollt, Keile aus Holz, bis die Kugel nicht mehr abrollt! Prüfe die waagerechte Lage der Tischplatte mit einer Wasserwaage nach!
3. Aus welchem Grunde wirkt ein Keil kraftsparend? Gib Verwendungen des Keils in der Technik an, bei denen seine kraftsparende Wirkung ausgenutzt wird!
4. Welche Kräfte unterscheidet man beim Keil? Welche Bedeutung hat der Keilwinkel?
5. Gib Beispiele für eine spanabhebende Formgebung an! Wo kannst du Vorrichtungen für die spanabhebende Formgebung in der Nähe deiner Schule beobachten?
6. Wo steht in einer Werkstatt in der Nähe deiner Schule eine Drehmaschine? Bitte den Meister, daß du ihm bei seiner Arbeit zusehen darfst, und beschreibe seine Tätigkeit!
7. Nenne außer der Drehmaschine noch weitere maschinelle Einrichtungen, bei denen die spanabhebende Wirkung des Keils ausgenutzt wird!

§ 19. Das Fahrrad

1. Einfache und zusammengesetzte Maschinen. Wir haben bisher an kraftumformenden Vorrichtungen kennengelernt:

den Hebel, die lose und die feste Rolle in Verbindung mit einem Seil, das Wellrad bzw. die Kurbel, die schiefe Ebene, den Keil und die Schraube.

Alle diese Vorrichtungen bezeichnen wir als *Maschinen*, und zwar als *kraftumformende Maschinen*. Unter einer Maschine versteht man eine Einrichtung, mit deren Hilfe man Kräfte oder Bewegungen umformen kann. Da sich die obengenannten Vorrichtungen als Konstruktionsteile an allen anderen Maschinen finden, bezeichnen wir sie auch als *einfache Maschinen*.

Die einfachen Maschinen sind kraftumformende und kraftsparende Vorrichtungen.

Alle aus den einfachen Maschinen aufgebauten Vorrichtungen bezeichnet man als zusammengesetzte Maschinen. Eine solche *zusammengesetzte Maschine* ist auch das *Fahrrad*.

2. Die Antriebsvorrichtung des Rades. Aus der Abbildung 91/1 erkennen wir die *Antriebsmaschine* eines Fahrrades. Sie besteht aus der *Tretkurbel* und dem damit fest verbundenen *Kettenrad*. Beide Teile bilden ein Wellrad. Durch die Tretkurbel wird die auf die Pedale ausgeübte Kraft verstärkt auf das Kettenrad übertragen. Es ist durch eine *Kette ohne Ende* mit einem *Zahnkranz* verbunden, der auf der Achse des Hinterrades sitzt. Die Zusammenstellung von Kettenrad, Kette, Zahnkranz bezeichnet man als *Kettentrieb*. Seine Wirkung ist ähnlich wie beim Zahntrieb



Abb. 91/1. Fahrrad aus dem volkseigenen Fahrradwerk Elite-Diamant, Karl-Marx-Stadt.

(vgl. § 15,3). Da der Durchmesser des Kettenrades größer ist als der des Zahnkranzes, so ist das Übersetzungsverhältnis kleiner als 1. Die auf das Hinterrad ausgeübte Kraft wird dadurch zwar vermindert, man erreicht aber eine höhere Drehzahl.

Wir stellen das Fahrrad auf Sattel und Lenkstange. Dann zählen wir die Zähne des Kettenrades (Z_1) und die des Zahnkranzes (Z_2). Es ergeben sich beispielsweise die Werte $Z_1 = 36$ und $Z_2 = 18$. Wir bilden daraus das Übersetzungsverhältnis i . Dieses ist bekanntlich gleich dem Quotienten aus der Zähnezahl des getriebenen Rades und der Zähnezahl des treibenden Rades. In unserem Beispiel ist

$$i = \frac{18}{36} = \frac{1}{2}.$$

Sodann drehen wir die Tretkurbel sehr langsam einmal herum ($n_1 = 1$), während sich dabei das Hinterrad zweimal herumdreht ($n_2 = 2$). Wie beim Zahntrieb ist:

$$\frac{n_1}{n_2} = i = \frac{1}{2}.$$

Führen wir die oben beschriebenen Messungen an Fahrrädern mit verschiedenen Zahnkränzen aus, so stellen wir fest, daß die Umdrehungszahl des Hinterrades um so größer ist, je kleiner der Durchmesser des Zahnkranzes im Verhältnis zum Kettenrad ist, das heißt je kleiner das Übersetzungsverhältnis ist.

Bei einer kleinen Übersetzung sind auf ebener Straße zum Erreichen einer bestimmten Geschwindigkeit weniger Tritte nötig, als bei einem Rade mit großer Übersetzung. Andererseits erfordert eine kleinere Übersetzung einen entsprechend größeren Kraftaufwand als eine größere. Während beim Fahren auf ebener Straße eine kleine Übersetzung günstiger ist als eine große, ist es beim Berganfahren umgekehrt. Damit man sowohl den Vorteil der kleinen Übersetzung in der Ebene als

auch den Vorteil der großen Übersetzung im Gebirge ausnutzen kann, sind moderne Fahrräder und besonders die Rennräder mit einer *Gangschaltung* ausgestattet (Abb. 92/1). Durch diese Vorrichtung ist es möglich, wahlweise 3 verschiedene Übersetzungsverhältnisse einzuschalten. Rennräder haben bis zu 4 Zahnkränze und 2 Kettenräder. Dadurch ist es möglich, bis zu 8 verschiedene Übersetzungsverhältnisse einzuschalten.

3. Der Freilauf und die Rücktrittbremse. Die meisten Fahrräder haben eine *Freilaufnabe*. Durch sie wird die starre Verbindung zwischen dem Hinterrad und dem Zahnkranz gelöst, sobald sich der Zahnkranz langsamer dreht als das Hinterrad oder stillsteht. Auf Grund der Trägheit bleiben wir auf unserem Rade noch eine weite Strecke in Fahrt, auch wenn wir nicht mehr treten.

In der Freilaufnabe ist auch die *Rücktrittbremse* untergebracht. Sie wird wirksam, wenn wir rückwärts auf die Pedale treten. Dadurch wird ein zylindrischer, seitlich aufgeschlitzter *Bremsmantel* im Innern des Nabengehäuses mit großer Kraft auseinandergepreßt. Es kommt infolgedessen zwischen dem Bremsmantel und der Gehäusewand zu einer starken *Reibung*. Hierdurch entsteht eine große Bremswirkung.

Neben der Rücktrittbremse besitzt jedes Fahrrad noch eine *Handbremse*. Diese ist heute meist eine *Felgenbremse*. Sie wird durch einen einseitigen Hebel betätigt, der einen sehr großen Kraftarm hat. Wird der Handgriff des Bremshebels gegen die Lenkstange gedrückt, so übt der Handgriff dadurch auf ein Drahtseil, den *Bowdenzug*, eine starke Zugwirkung aus. Die Kraft wird auf zwei *Bremsbacken* übertragen, die von beiden Seiten gegen die *Felge* des Vorderrades oder des Hinterrades gepreßt werden.

4. Die Reibung. Trotz des Freilaufes wird die Geschwindigkeit unseres Fahrrades auch auf ebener Straße geringer, wenn wir zu treten aufhören. Dies hat seine Ursache in dem Luftwiderstand und besonders in der *Reibung*. Die Reibung wirkt nicht nur zwischen der Reifendecke und der Straße, sondern auch an den Achsen der Räder. Alle Körper haben an ihrer Oberfläche größere oder kleinere Unebenheiten. Durch diese Unebenheiten wird die Bewegung gehemmt. Eine Reibung tritt immer dann auf, wenn zwei Körper unter Druck aneinander entlanggleiten. Diese Art der Reibung bezeichnet man als *Gleitreibung*. Weit geringer als die Gleitreibung ist die *Rollreibung*, da die Unebenheiten leichter überwunden werden, wenn ein Körper am anderen entlangrollt. Zum Überwinden der Reibung ist eine zusätzliche Kraft erforderlich, die für die Fortbewegung des Rades nicht ausgenutzt wird. Wie wir wissen, entsteht durch die Reibung Wärme. Diese Wärme stellt einen Arbeitsverlust dar.

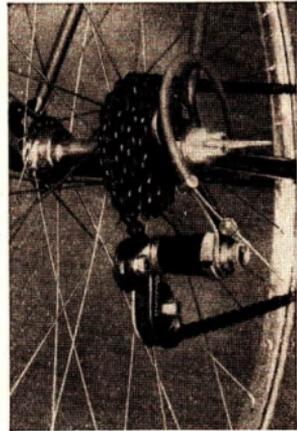


Abb. 92/1. Gangschaltung
(Vier Zahnkränze)

Zum Verringern der Reibung verwendet man *Schmiermittel*; als solche dienen 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 aneinandergleiten. Auch bei unserem Fahrrad ölen wir von Zeit zu Zeit die Achsenlager und die Kette.



Abb. 93/1. Kugellager aus der Thüringer Kugellagerfabrik Zella-Mehlis.

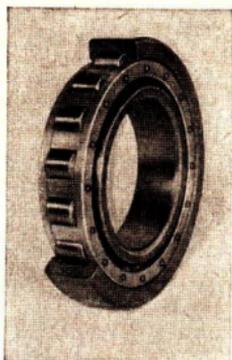


Abb. 93/2. Rollenlager aus der Leipziger Kugellagerfabrik.

Zum Herabsetzen der Reibung an Maschinenteilen hat man *Kugel-* oder *Rollenlager* geschaffen (Abb. 93/1 und 93/2). Sie werden in die Achsenlager eingebaut und verwandeln die in den Achsenlagern auftretende Gleitreibung in eine Rollreibung. Kugellager werden heute in vielen Größen hergestellt und an vielen Maschinen verwendet. Auch die beiden Räder, die Tretkurbel und die Lenkstange des Fahrrades sind mit Kugellagern ausgestattet.

Bei Straßenglätte und bei regennassen Schienen besteht für Fahrzeuge beim Bremsen und beim Anfahren die Gefahr des Rutschens. Man ist daher bemüht, die Reibung zeitweilig zu vergrößern. So haben die Straßenbahntriebwagen Sandstreuer, aus denen der Fahrer bei Bedarf Sand auf die Schienen streuen kann, damit die Reibung vergrößert wird.

5. Versuche, Fragen und Aufgaben:

1. Zähle sämtliche einfachen Maschinen auf, die am Fahrrad Verwendung finden, und gib ihre Wirkungsweise an!
2. Welche Bremsvorrichtungen befinden sich am Fahrrad? Wie wird die Handbremse betätigt?
3. Gib an, wo am Fahrrad Ölstellen liegen?
4. Erläutere die Wirkungsweise des Freilaufes und der Rücktrittbremse eines Fahrrades!
5. Wie kann man mit Hilfe einiger runder Eisenstangen, die man parallel zueinander auf den Boden legt, den Transport eines schweren Werkstückes auf ebenem Boden erleichtern? Begründe das Verfahren!
6. 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 mit einer Schrittlänge von je 60 cm müßte ein Fußgänger auf der gleichen Strecke ausführen?

§ 20. Einige Maschinen aus der industriellen und der landwirtschaftlichen Produktion

1. Die Werkzeugmaschinen. Als *Werkzeugmaschinen* bezeichnen wir Maschinen, bei denen die Bearbeitung eines Werkstoffes mit Hilfe eines Werkzeuges maschinell erfolgt. Insbesondere sind alle die Maschinen Werkzeugmaschinen, die der spanabhebenden oder spanlosen Formgebung von Werkstücken aller Stoffarten dienen. Zu ihnen gehören die Drehmaschinen, die Fräsmaschinen, die Kurzhobelmaschinen, die Bohrmaschinen, die Sägemaschinen und viele andere mehr.

2. Die Drehmaschine. Die *Drehmaschine* ist eines der wichtigsten maschinellen Hilfsmittel der spanabhebenden Formgebung (Abb. 94/1). Sie eignet sich vorzüglich zum Bearbeiten von runden Werkstücken, die eine zylindrische Gestalt haben. Das Charakteristische an der Drehmaschine ist, daß der spanabhebende Meißel feststeht, während sich das Werkstück dreht. Damit dies geschieht, wird das Werkstück mit der von einem Elektromotor angetriebenen horizontalen Hauptwelle, der *Hauptspindel*, fest

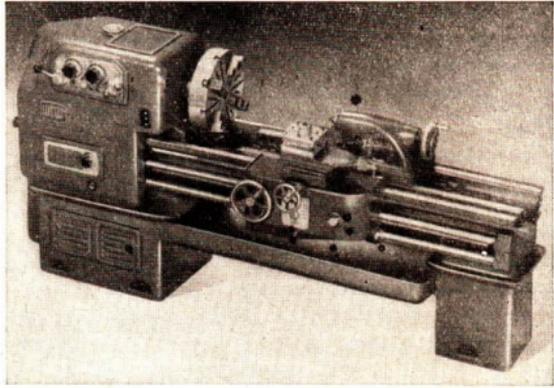


Abb. 94/1. Drehmaschine



Abb. 94/2. Dreibackenfutter

verbunden. Man verwendet dazu im allgemeinen ein *Dreibackenfutter* (Abb. 94/2). Dieses läßt sich mit Hilfe von drei Schneckengängen, die mit flachgängigen Schrauben vergleichbar sind, eng und weit stellen. Durch dieses Spannfutter wird die Drehbewegung der Hauptspindel auf das Werkstück übertragen. Lange Werkstücke unterstützt man durch den *Reitstock*, dessen Spitze fest gegen das Werkstück gepreßt wird (Abb. 95/1).

Von der Seite her wird an das rotierende Werkstück der Drehmeißel herangeführt. Dieser ist am Werkzeugschlitten festgespannt und kann mit Hilfe einer Schraube

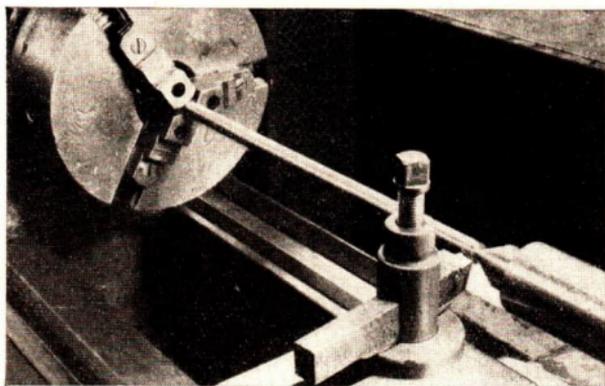


Abb. 95/1. Einspannen eines langen Werkstücks. Links ist das Spannfutter, rechts der Reitstock zu sehen.

und einer Kurbel dem Werkstück so weit genähert werden, daß er in das Werkstück einschneidet und einen Span abhebt. Im Gegensatz zur üblichen Keilform muß der Drehmeißel einen großen Keilwinkel besitzen. Es besteht sonst die Gefahr, daß die Schneide ausbricht und der Meißel unbrauchbar wird. Man fertigt deswegen den Drehmeißel aus hochwertigem Stahl an und erhöht seine Haltbarkeit noch dadurch, daß man ihm an der Schneide ein Plättchen aus *Hartmetall*, einer Legierung aus Wolfram*, Kohlenstoff und Kobalt*, auflötet (Abb. 95/2). Die Form des Drehmeißels kann sehr verschieden sein: sie richtet sich ganz nach der Art der Arbeit, die damit ausgeführt werden soll (Abb. 95/3).

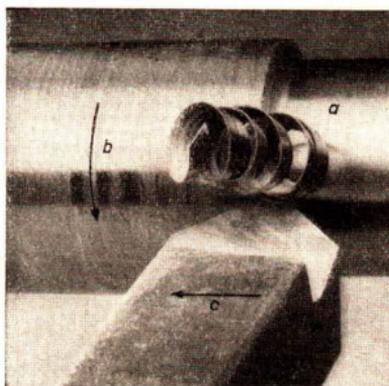
Da man mit Drehmaschinen die verschiedenartigsten Werkstoffe bearbeitet, muß ihre *Drehgeschwindigkeit* in weiten Grenzen verändert werden können. Harte Werkstoffe beispielsweise können nicht so schnell abgedreht werden wie weiche. Ebenso



Abb. 95/2. Drehmeißel mit aufgelötetem Hartmetallplättchen.

Abb. 95/3. Langdrehen mit geradem Drehmeißel.

- a Arbeitsfläche
- b Schnittbewegung
- c Vorschubrichtung



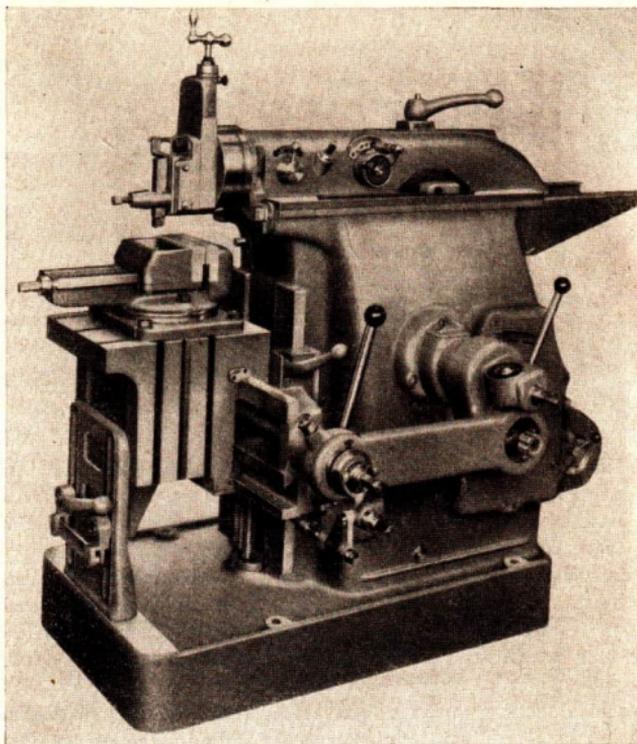
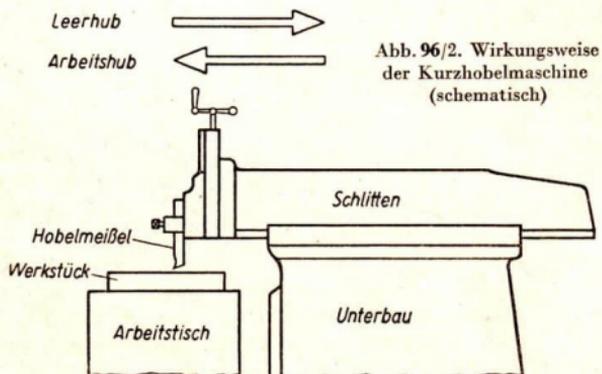


Abb. 96/1. Kurzholbelmaschine



ist die Drehgeschwindigkeit bei Werkstücken mit großen Durchmessern geringer zu wählen als bei Werkstücken mit kleinen Durchmessern. Zum Regeln der Geschwindigkeit ist deshalb zwischen dem Antriebsmotor und der Spindel ein verstellbares Zahnradgetriebe eingebaut, das meist im Spindelstock untergebracht ist. Das Schalten des Getriebes erfolgt durch Hebel, die man am oberen Teil des Getriebekastens erkennt (vgl. Abb. 94/1).

Ein zweites Getriebe dient zum Regeln des *Vorschubs*. Man versteht darunter die Bewegung des Werkzeugschlittens längs des rotierenden Werkstückes. Der Drehmeißel muß nämlich langsam parallel zum Werkstück verschoben werden, damit ständig neue Stellen des Werkstückes zur Bearbeitung kommen. Der Vorschub wird bewerkstelligt durch eine *Zugspindel*, deren Drehung am Werkzeugschlitten durch einen Mechanismus in eine Längsbewegung des Schlittens umgewandelt wird. Mit demselben Getriebe ist die *Leitspindel* verbunden. Dies ist eine mit einem starken Schraubengewinde versehene Welle, die man einschaltet, wenn man die Drehmaschine zum *Gewindeschneiden* verwendet (vgl. Abb. 95/3).

3. Die Kurzhobelmaschine oder Stoßmaschine. Die *Kurzhobelmaschine*, vielfach auch *Stoßmaschine* oder *Shapingmaschine* genannt, dient ebenfalls zur spanabhebenden Metallbearbeitung (Abb. 96/1). Sie wird vor allem für die Bearbeitung kürzerer, ebenflächiger Werkstücke verwendet. Im Gegensatz zur Drehmaschine wird das Werkstück auf einem waagerechten Tisch festgespannt. Darüber wird der *Hobelmeißel* hin- und herbewegt. Er ist mit der Schneide nach unten an einem Schlitten festgeklemmt, der, von einem Elektromotor angetrieben, auf einem Unterbau hin- und hergleitet. Der Hobelmeißel kann in seiner Höhe in gewissen Grenzen verstellt werden. Bei jedem Vorlauf des Schlittens schneidet der Hobelmeißel in das Werkstück ein und hebt einen Span ab; beim Rücklauf gleitet der Hobelmeißel frei über das Werkstück hinweg. Man unterscheidet somit den *Arbeitshub* von dem *Leerhub* (Abb. 96/2). Da nach jedem Hinundhergang des Meißels ein anderes Stück der Fläche bearbeitet werden muß, wird der Arbeitstisch mit dem Werkstück nach jedem Arbeitsgang um eine kleine Strecke zur Seite gerückt. Diese Bewegung, die man auch bei der Kurzhobelmaschine Vorschub nennt, erfolgt bei dieser ebenfalls automatisch.

Da der Schlitten eine hin- und hergleitende Bewegung vollführt, der Motor aber eine Drehbewegung erzeugt, muß diese in eine geradlinige, hin- und hergleitende Bewegung umgewandelt werden. Dies geschieht durch eine Antriebsvorrichtung, die im Unterbau des Schlittens untergebracht ist. Der Motor versetzt eine große *Kurbelscheibe* in Umdrehung. Der *Kurbelzapfen* greift in den Schlitz eines länglichen Maschinenteils ein, der sich um eine unterhalb der Kurbelscheibe befindliche Achse drehen kann. Dadurch bringt der Kurbelzapfen diesen Maschinenteil zum Hinundherschwingen. Man nennt ihn deshalb die *Schwinge*. Die Schwinge überträgt ihrerseits ihre Schwingbewegung auf den Schlitten, der dadurch eine hin- und hergleitende Bewegung ausführt (Abb. 98/1). Zum Regeln der Geschwindigkeit des Schlittens und damit des Drehmeißels ist auch die Kurzhobelmaschine mit einem verstellbaren Getriebe ausgestattet.

4. Die Drillmaschine. Die *Drillmaschine* ist eine der wichtigsten landwirtschaftlichen Maschinen. Sie dient zum Einbringen des Saatgutes in den Boden (Abb. 98/2). Dieses wird vom *Saatkasten* aufgenommen, der sich über die ganze Breite der Maschine erstreckt. Sein Querschnitt ist V-förmig gestaltet, so daß das Saatgut leicht nachrutschen kann. Eine im unteren Teil des Kastens befindliche *Rührwelle* verhindert das Festsetzen des Saatgutes. Sie wird durch einen einfachen Zahntrieb von dem Hinterrad der Maschine angetrieben.

Vom Saatgutkasten gelangt das Saatgut in einzelne Gehäuse, die die *Säräder* enthalten (Abb. 99/1). Diese sind als der wichtigste Bestandteil der Drillmaschine anzusehen; denn die Säräder regeln die Menge des zur Aussaat gelangenden Saatgutes. Dies wird durch zellenartige Vertiefungen bewirkt, die sich auf der Außenfläche des Randes der einzelnen Säräder befinden. Die Vertiefungen können immer nur eine bestimmte Menge des Saatgutes aufnehmen, die beim Drehen an die Saatleiter weitergegeben wird (Abb. 99/2).

Dadurch wird eine gleichmäßige Aussaat bei sparsamem Verbrauch des Saatgutes erreicht. Die Säräder werden über die Säuwelle vom Hinterrad der Maschine angetrieben. Im Gegensatz zur Rührwelle muß ihre Drehgeschwindigkeit regelbar sein, da die zur Aussaat gelangenden Saatgutmengen sehr verschieden sein können. So sät man beispielsweise auf 1 ha nur 1 kg Mohn, aber 250 kg Lupine.

Das Regeln der Drehzahl wird durch ein *Vielstufengetriebe* (Abb. 100/1) erreicht, das zwischen dem Antriebsrad und der Säuwelle eingebaut ist. Durch die Saatleitung gelangt das Saatgut in den *Drillscharrumpf* (Abb. 100/2). Das *Drillschar* zieht die *Saatrinne*; die Körner fallen hinein. Danach wird die Rinne durch den *Zustreicher* wieder eingeebnet.

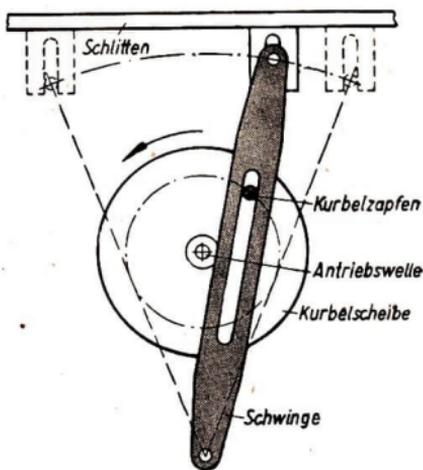


Abb. 98/1
Stark vereinfachte Wiedergabe der Bewegungsvorrichtung einer Kurzhobelmaschine.

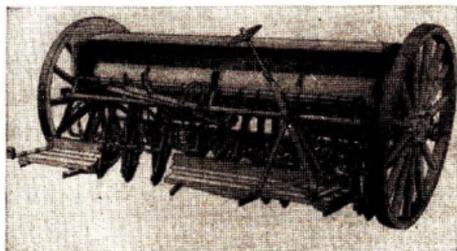


Abb. 98/2. Die Drillmaschine

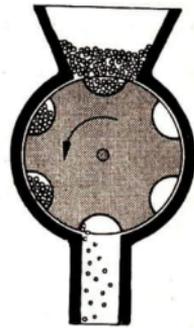
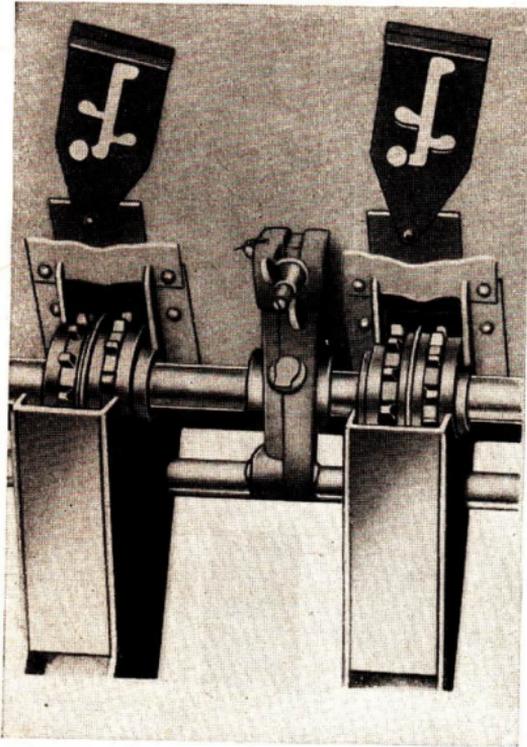


Abb. 99/2
Die Wirkungsweise der
Särräder (schematisch)

Abb. 99/1. Die Särräder
einer Drillmaschine

Von Zeit zu Zeit muß durch unmittelbares Messen kontrolliert werden, ob die Drillmaschine die richtige Körnermenge abgibt. Diese Kontrolle erfolgt durch das „Abdrehen“. Die Maschine wird aufgebockt; mit den Hinterrädern wird eine vorher festgesetzte Anzahl von Umdrehungen ausgeführt. Man mißt die dabei abgegebene Körnermenge. Hat beispielsweise eine Drillmaschine eine Arbeitsbreite von 2,5 m und einen Hinterradumfang von 4,4 m, so wird bei einer Raddrehung eine Fläche von

$$F = 2,5 \text{ m} \cdot 4,4 \text{ m} = 11 \text{ m}^2$$

gedrillt. Da ein Hektar $10\,000 \text{ m}^2$ umfaßt, führen die Hinterräder beim Drillen eines Hektars $10\,000 : 11 \approx 909$ Umdrehungen aus. Dreht man die Hinterräder der aufgebockten Maschine 45 mal, so entspricht dies etwa dem 20. Teil von 909. Die Maschine muß dabei den 20. Teil der für 1 ha vorgesehenen Körnermenge abgeben. Damit hat man eine Kontrolle, ob die Maschine richtig eingestellt ist und die festgesetzte Körnermenge aussät. Die Geschwindigkeit, mit der die Maschine beim Drillen fährt, ist auf die Körnermenge ohne Einfluß.

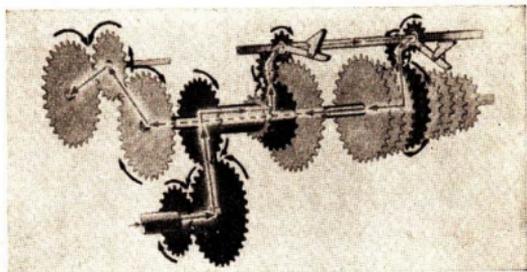
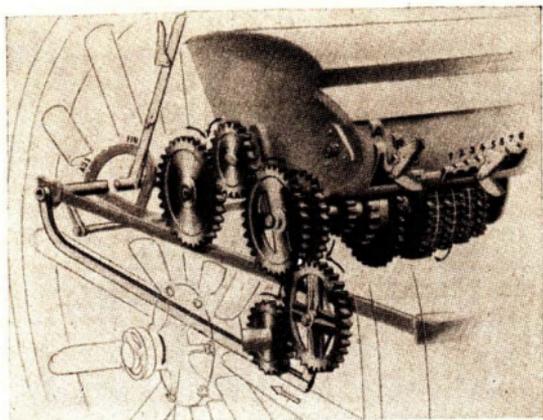


Abb. 100/1. Vielstufengetriebe einer Drillmaschine

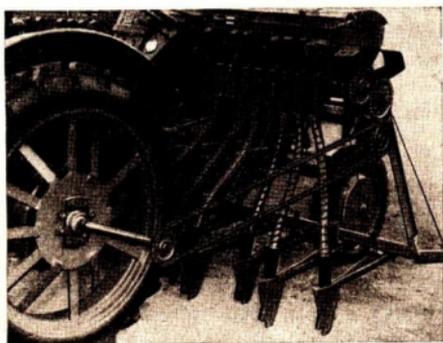


Abb. 100/2. Die Saatleiter einer Drillmaschine, darunter die Drillschare

5. Die Maschine in der industriellen und in der landwirtschaftlichen Produktion.

Wir kennen nun die beiden Fertigungsverfahren zur Bearbeitung eines Werkstückes, die spanlose und die spanabhebende Formgebung. Zur spanlosen Formgebung gehört vor allem das Gießen, das Biegen und das Pressen. Durch diese Art der Formgebung entsteht fast überhaupt kein Abfall. Die spanlose Formgebung wird daher in immer stärkerem Maße in der industriellen Produktion angewandt. Dort, wo es jedoch auf genaue Maße bestimmter Flächen ankommt oder wo die Oberfläche besonders bearbeitet werden muß, ist eine zusätzliche spanabhebende Formgebung notwendig. Wichtige Werkzeuge dieser Bearbeitungsart, wie Meißel, Säge, Feile, kennen wir bereits. Wir haben auch schon zwei wichtige Maschinen der spanabhebenden Formgebung kennengelernt, die Drehmaschine und die Kurzhobelmachine. Obwohl bei beiden Maschinen durch besonders geformte Meißel Späne abgehoben werden, unterscheiden sie sich doch grundsätzlich in ihrer Arbeitsweise. Während bei der Kurzhobelmachine der Stößel nur bei der Vorwärtsbewegung Arbeit verrichtet, bei der Rückwärtsbewegung dagegen leer läuft, werden bei der Drehmaschine infolge der rotierenden Bewegung des Werkstücks ständig Späne abgenommen. Infolgedessen entstehen bei der Drehmaschine sehr geringe Leerlaufzeiten. Bei der Kurzhobelmachine werden die Leerlaufzeiten weitgehend dadurch herabgesetzt, daß die Rückwärtsbewegung schneller als die Vorwärtsbewegung erfolgt.

Eine andere wichtige Bearbeitungsmaschine, bei der ebenfalls die Leerlaufzeiten weitgehend vermieden werden, ist die Fräsmaschine. Bei ihr rotiert jedoch nicht das Werkstück, sondern das Werkzeug. Zwei wichtige Arten von Fräswerkzeugen haben wir bereits kennengelernt, den Walzenfräser und den Fräskopf (vergleiche die Abbildungen 89/1 und 89/2). Infolge der Rotation der Werkzeuge werden ständig Späne abgehoben.

Obwohl während der Bearbeitung eines Werkstückes mit Hilfe der Drehmaschine sehr geringe Leerlaufzeiten auftreten, kommt es darauf an, die Bearbeitungszeiten herabzusetzen. Den richtungweisenden Weg hierfür beschritt der sowjetische Dreher *Pawel Bykow*. Er bewies, daß es möglich ist, durch Erhöhen der Drehzahl und durch Vergrößern des Vorschubs die Bearbeitungszeiten herabzusetzen. *Pawel Bykow* wurde durch seine Initiative zum Begründer des Schnelldrehverfahrens. Inzwischen wurde das Schnelldrehverfahren durch wissenschaftliche Untersuchungen weiterentwickelt (wirtschaftliches Zerspanen). Ständig waren unsere Arbeiter und Wissenschaftler bemüht, die Arbeitsmethoden zu verbessern, um noch größere Erfolge zu erringen. Die Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit bringt eine wesentlich stärkere Erwärmung des Drehmeißels mit sich. Die bisher verwendeten Drehmeißel hielten dieser starken Erwärmung aber nur kurze Zeit stand und mußten daher gegen neue ausgetauscht werden. Aus diesem Grunde wurde nicht nur die Form der Meißelschneiden verbessert, sondern auch für die Anfertigung von Drehmeißeln neue Metallzusammensetzungen erprobt. Es wurden sogar Stoffe untersucht, die bisher für solche Werkzeuge überhaupt nicht verwendet worden waren. So wurden sehr gute Erfolge mit Drehmeißeln erzielt, bei denen als Schneiden ein

Plättchen aus einem keramischen Werkstoff verwendet wird. Die Widerstandsfähigkeit dieses keramischen Werkstoffes ist größer als die der bisher für Drehmeißel verwendeten Stoffe. Außerdem sind die Rohstoffe für die keramischen Stoffe in genügender Menge in unserer Deutschen Demokratischen Republik vorhanden.

Unsere Arbeiter verdanken ihre Erfolge bei der Weiterentwicklung der Schnelldrehmethoden sowjetischen Fachleuten. Eine solche enge Zusammenarbeit ist nur zwischen sozialistischen Ländern, die ihre Erfahrungen einander uneigennützig zur Verfügung stellen, möglich. Das ständige Bemühen unserer Werkstätten, die Maschinen weiterzuentwickeln und die Produktion zu erhöhen, hat dazu geführt, daß in unserer Deutschen Demokratischen Republik der Schwermaschinenbau große Leistungen erzielt hat. Die Produkte unserer Betriebe sind begehrte Exportgüter, die in vielen Ländern von den Leistungen unserer werktätigen Menschen Zeugnis ablegen.

Unsere Industrie hat aber auch die Aufgabe, moderne landwirtschaftliche Maschinen zu entwickeln. Durch den Einsatz dieser Maschinen können die Erträge unserer volkseigenen Güter und unserer landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften wesentlich gesteigert werden.

Eine wichtige landwirtschaftliche Maschine haben wir bereits in der Drillmaschine kennengelernt. Mit Hilfe dieser Maschinen kann das Saatgut viel gleichmäßiger in den Boden gebracht werden, als durch das Säen mit der Hand. Infolgedessen gehen die Saaten auch gleichmäßiger auf. An einen Traktor können mehrere Drillmaschinen angehängt werden; dadurch wird die Arbeit wesentlich beschleunigt.

Die Anzahl der Maschinen, die unsere Maschinen-Traktoren-Stationen auf den Feldern der landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften und der Einzelbauern einsetzen, erhöht sich ständig. So ist zum Beispiel die Anzahl der Drillmaschinen von 820 im Jahre 1950 auf 8476 im Jahre 1956, also um mehr als das Zehnfache gestiegen. Da aber Drillmaschinen und andere moderne landwirtschaftliche Maschinen nur auf großen Feldern rationell eingesetzt werden können, schließen sich immer mehr Bauern zu landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften zusammen. Sie erleichtern sich dadurch die Arbeit und steigern die Erträge des Bodens.

6. Fragen und Aufgaben:

1. Was versteht man unter einer Werkzeugmaschine? Gib Beispiele dafür an, und nenne die bei ihnen verwendeten eigentlichen Werkzeuge!
2. Welches ist bei der Drehmaschine der bewegte und welches der feststehende Teil bei der Spannbildung?
3. Beantworte die gleiche Frage für eine Kurzhobelmaschine!

4. Wodurch werden bei der Drehmaschine lange Drehstücke so gelagert, daß sie sich nicht durchbiegen können?
5. Wie erfolgt bei der Kurzhobelmachine die Umwandlung der Drehbewegung in eine hin- und hergleitende Bewegung?
6. Wodurch erreicht man es bei einem Drehmeißel und bei einem Hobelmeißel, daß sie der außerordentlichen Beanspruchung widerstehen?
7. Wodurch trägt die Drillmaschine zur Erhöhung der Ernteerträge bei?
8. Durch welchen Maschinenteil wird bei der Drillmaschine die Einteilung des Saatgutes vorgenommen?

§ 21. Arbeit und Leistung

1. Der Arbeitsbegriff in der Physik. Wir haben in den Maschinen Vorrichtungen kennengelernt, durch die man mit Hilfe verhältnismäßig geringer Kräfte große Wirkungen hervorrufen kann. Wir fragen uns nun: Wird durch eine Maschine die zu verrichtende Arbeit verringert? Wollen wir diese Frage beantworten, so müssen wir uns zuvor darüber klar sein, was wir in der Physik unter Arbeit verstehen. Wir gebrauchen sehr häufig das Wort Arbeit und sprechen von der Art der Arbeit, von ihrer Schwere, vom Arbeitstempo, vom Arbeitserfolg, von der Freude an der Arbeit und von der Arbeitsproduktivität. Dieses Wort Arbeit hat aber einen anderen Inhalt als der *physikalische Begriff Arbeit*.

Die Bedeutung des Wortes Arbeit in der Physik machen wir uns an einem einfachen Beispiel klar. Wollen wir eine Last von 40 kp mit Hilfe einer festen Rolle und eines Seiles 3 m hochheben, so müssen wir das freie Seilende mit einer Kraft von 40 kp ebenfalls 3 m nach unten ziehen (Abb. 104/1a). Verwenden wir eine lose und eine feste Rolle, so brauchen wir am freien Seilende nur 20 kp wirken zu lassen, wir müssen es aber 6 m nach unten ziehen (Abb. 104/1b). Bei einem Flaschenzug mit zwei losen und zwei festen Rollen sind als Gegenkraft nur 10 kp aufzuwenden, das freie Seilende muß aber um 12 m gesenkt werden (Abb. 104/1c). Das Ergebnis ist in allen Fällen das gleiche; jedesmal wird eine 40 kp schwere Last um 3 m gehoben. Multiplizieren wir bei jedem Arbeitsvorgang die Maßzahl der aufgewendeten Kraft mit der Maßzahl des vom freien Seilende zurückgelegten Weges, so erhalten wir

bei der festen Rolle	$40 \cdot 3 = 120,$
beim Rollenpaar	$20 \cdot 6 = 120,$
beim Flaschenzug	$10 \cdot 12 = 120.$

Die Produkte sind in allen Fällen gleich groß. Sie sind ebenso groß wie das Produkt aus den Maßzahlen des Gewichts der gehobenen Last und der Maßzahl der Förderhöhe. In der Physik wird das Produkt aus Kraft (P) und Weg (s) als Maß für die Arbeit (A) verwendet.

Arbeit ist das Produkt aus Kraft und Weg:

$$A = P \cdot s.$$

2. Die Arbeitseinheit. Nach dieser Festlegung des Arbeitsbegriffes hängt die Arbeit nicht nur von der Kraft, sondern auch vom Wege ab.

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)** und das **Pondzentimeter (pcm)**.

$$1 \text{ kpm} = 1000 \text{ p} \cdot 100 \text{ cm} \\ = 100000 \text{ pcm.}$$

An einem Beispiel berechnen wir die Arbeit als Produkt aus Kraft und Weg. Bei größeren Neubauten wird meist zum Fördern von Baustoffen ein Lastenaufzug verwendet, der von einem Motor angetrieben wird (Abb. 105/1). Der Aufzug möge in drei hintereinanderfolgenden Arbeitsgängen verschiedene Lasten emporheben, und zwar

- zum 1. Stockwerk 4 m hoch einen Sandsteinquader mit einem Gewicht von 300 kp,
- zum 2. Stockwerk 7 m hoch eine Karre mit Ziegelsteinen mit einem Gewicht von 130 kp,
- zum 3. Stockwerk 10 m hoch einen Kasten mit Mörtel mit einem Gewicht von 80 kp.

Aus der Kraft und dem Weg ergibt sich in jedem Falle die Arbeit:

- $300 \text{ kp} \cdot 4 \text{ m} = 1200 \text{ kpm}$,
- $130 \text{ kp} \cdot 7 \text{ m} = 910 \text{ kpm}$,
- $80 \text{ kp} \cdot 10 \text{ m} = 800 \text{ kpm}$.

Wir ließen bei unserer Rechnung allerdings die zum Heben des Fahrstuhlgewichts und zur Überwindung der Reibung erforderliche Arbeit außer acht, das heißt, wir haben nur die sogenannte *Nutzarbeit* berechnet.

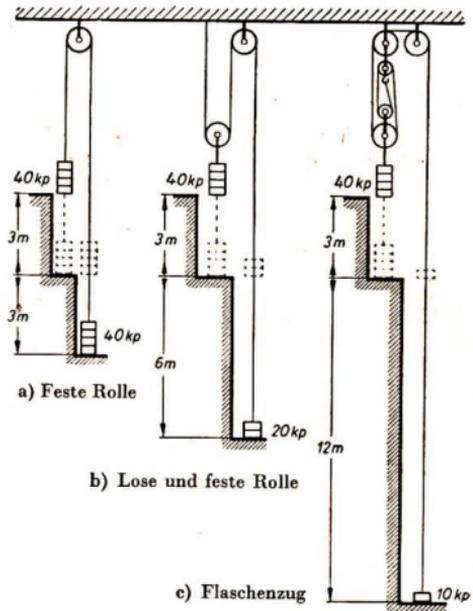


Abb. 104/1

Vergleich der Arbeitsverrichtungen beim Heben einer Last mit Hilfe verschiedener Seilmaschinen

Für die Größe einer Arbeit ist nicht nur das Gewicht des Körpers, der gehoben werden soll, maßgebend, sondern auch der Höhenunterschied. Unter Umständen kann zum Emporheben eines leichten Gegenstandes ein großer *Arbeitsaufwand* erforderlich sein, wenn der Höhenunterschied sehr groß ist. Bei einem Hochhaus ($s = 30 \text{ m}$) beträgt die Arbeit für jeden Ziegelstein ($P = 3,5 \text{ kp}$) beim Heben bis zum obersten Stockwerk

$$A = 3,5 \text{ kp} \cdot 30 \text{ m} = 105 \text{ kpm.}$$

3. Die „Goldene Regel“ der Mechanik. Wie wir im ersten Abschnitt ausführten, wurden in einem Versuch mit verschiedenen Seilmaschinen gleiche Lasten um den gleichen Höhenunterschied gehoben (vgl. Abb. 104/1). Dabei waren die angewendeten Kräfte und die vom freien Seilende zurückgelegten Wege verschieden groß. Die Produkte aus Kraft und Weg aber stimmten bei den einzelnen Seilmaschinen überein und waren gleich dem Produkt aus dem Gewicht der Last und dem von ihr zurückgelegten Weg. Es handelte sich um die Produkte

$$\begin{aligned} 40 \text{ kp} \cdot 3 \text{ m} &= 20 \text{ kp} \cdot 6 \text{ m} \\ &= 10 \text{ kp} \cdot 12 \text{ m} = 120 \text{ kpm.} \end{aligned}$$

Das gleiche gilt, wie wir uns leicht überzeugen können, auch für die anderen einfachen Maschinen. Wir betrachten zunächst den Hebel. Will ein Kanalarbeiter beim Öffnen des Kanalschachtes den schweren Verschlußdeckel emporheben, so benutzt er dazu einen einseitigen Hebel (Abb. 106/1). Das Gewicht des Deckels betrage 54 kp . Ist der Kraftarm des Hebels sechsmal so lang wie der Lastarm, so braucht der Arbeiter zum Heben des Deckels nur eine Kraft von 9 kp aufzuwenden. Sein Kraftaufwand ist daher wesentlich geringer. Dadurch ist aber die Arbeit nicht verringert worden; denn mit der Länge des Kraftarmes nimmt auch der Weg zu, den die Hände des Arbeiters beschreiben.

Wenn zum Beispiel der Deckel um $0,1 \text{ m}$ angehoben werden soll, so muß der Arbeiter das Ende des Kraftarmes um $0,6 \text{ m}$ emporheben. Das Produkt aus Last und Lastweg ist wieder gleich dem Produkt aus Kraft und Kraftweg (vgl. § 11,3) und somit gleich der Arbeit:

$$54 \text{ kp} \cdot 0,1 \text{ m} = 9 \text{ kp} \cdot 0,6 \text{ m} = 5,4 \text{ kpm.}$$

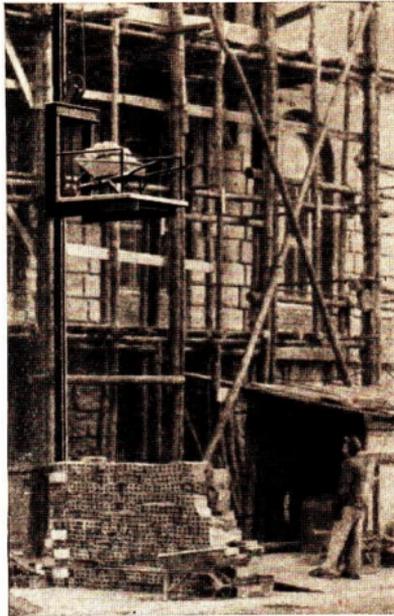


Abb. 105/1. Lastenaufzug. An einer senkrechten Führungsschiene gleitet eine nach außen geschwenkte Plattform, die die Last trägt. Hat die Plattform die gewünschte Höhe erreicht, so wird sie auf das Gerüst zum Haus hin eingeschwenkt und entladen.

Noch unmittelbarer sind diese Zusammenhänge an der schiefen Ebene zu erkennen. Wollen wir zum Beispiel einen Wagen mit der Last $Q = 250 \text{ p}$ über eine schiefe Ebene mit der Höhe $h = 40 \text{ cm}$ und der Länge $l = 100 \text{ cm}$ emporziehen, so ist die Hangabtriebskraft $P = 100 \text{ p}$ (Abb. 106/2). Vergleiche Zeile 2 der Tabelle in § 16,2. Der Quotient aus P und Q ist gleich dem Quotienten aus h und l :

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

Die von uns auf den Wagen ausgeübte Zugkraft P' wirkt der Hangabtriebskraft P entgegen. Sie muß ebenfalls gleich 100 p sein, damit sie der Hangabtriebskraft das Gleichgewicht hält. Multiplizieren wir die Gleichung mit Q und mit l , so erhalten wir:

$$P \cdot l = Q \cdot h.$$

Hierin ist h die Höhe, um die die Last Q emporgehoben wird; sie ist demnach der Lastweg. l ist die Wegstrecke, längs der die Zugkraft wirkt. Wieder ist das Produkt aus Last und Lastweg gleich dem Produkt aus Kraft und Kraftweg. Verwenden wir die Zahlenwerte unseres Beispiels, so ist

$$250 \text{ p} \cdot 40 \text{ cm} = 100 \text{ p} \cdot 100 \text{ cm} = 10000 \text{ pcm}.$$

Wir sehen, daß wir durch den Gebrauch einer schiefen Ebene zwar an Kraft sparen, daß aber die Arbeit dadurch nicht verkleinert wird.

Ganz allgemein gilt, daß *eine Arbeit nicht durch einfache Maschinen verringert werden kann*. Trotzdem ist der Gebrauch solcher Vorrichtungen vorteilhaft, da man beim Verwenden einfacher Maschinen nur eine geringere Kraft aufzuwenden braucht als ohne sie.

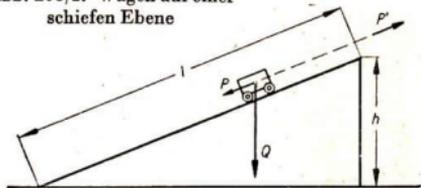
Bei einer Arbeitsverrichtung ist jede Kraftersparnis mit einer Vergrößerung des Weges verbunden. Umgekehrt braucht man bei einer Verkürzung des Weges zum Verrichten der Arbeit eine größere Kraft.

Eine Arbeit bleibt ihrem Werte nach immer erhalten.



Abb. 106/1. Anheben eines Kanaldeckels

Abb. 106/2. Wagen auf einer schiefen Ebene



Dieser Satz heißt die **Goldene Regel der Mechanik**. Sie läßt sich auch in der anschaulichen Form wiedergeben:

Was an Kraft gewonnen wird, geht am Weg verloren.

4. Die Leistung. Die beiden Worte *Arbeit* und *Leistung* werden oft nebeneinander gebraucht, obgleich Leistung und Arbeit physikalisch keineswegs dasselbe sind. In der Physik müssen wir zwischen der Arbeit und der Leistung streng unterscheiden. Ein Beispiel mag uns das erläutern.

Nach einem Einkauf tragen zwei Jungen zwei Körbe mit Kartoffeln mit einem Gewicht von je 10 kp zur elterlichen Wohnung im 3. Stockwerk (12 m) empor. Beide verrichten die gleiche Nutzarbeit, nämlich 120 kpm. Aber der eine braucht dazu 1 Minute, der andere $1\frac{1}{4}$ Minuten. Trotz gleicher Arbeit haben beide Jungen nicht dasselbe geleistet. Der erste Junge leistet mehr als der zweite, da er die gleiche Arbeit in kürzerer Zeit verrichtet.

Wollen wir die körperliche Leistung eines Menschen bestimmen, so müssen wir seine Arbeit auf die dabei verflossene Zeit beziehen. Wir berechnen die in einer Sekunde verrichtete Arbeit und bilden zu diesem Zweck den Quotienten aus der Gesamtarbeit und der dabei verflossenen Zeit.

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

$$N = \frac{A}{t}.$$

In unserem Beispiel ist demnach die Leistung des ersten Jungen 120 kpm : 60 s = 2,0 kpm/s, die des zweiten 120 kpm : 75 s = 1,6 kpm/s. Die beim Emporheben des eigenen Körpergewichtes vollbrachte Leistung wurde hierbei nicht berücksichtigt.

Die gebräuchlichste Einheit der Leistung in der Technik ist nicht 1 kpm/s, sondern das **Watt (W)**, beziehungsweise das **Kilowatt (kW)**. Zwischen den Einheiten W, kW und kpm/s gelten die folgenden Beziehungen:

$$\begin{aligned} 1 \text{ kW} &= 1000 \text{ W}, \\ 1 \text{ kW} &= 102 \text{ kpm/s}, \\ 1 \text{ W} &= 0,102 \text{ kpm/s}. \end{aligned}$$

Früher benutzte man als Leistungseinheit auch die **Pferdestärke (PS)**, da man die Leistung der ersten Maschinen mit der Leistung der Pferde verglich.

$$1 \text{ PS} = 75 \text{ kpm/s}.$$

Heute ist die Einheit Pferdestärke nur noch bei Motoren für Kraftfahrzeuge und bei Dampfmaschinen gebräuchlich. Die Menschen haben Maschinen mit sehr großen Leistungen entwickelt. Unsere modernen Elektrizitätswerke leisten 200 000 Kilowatt und mehr. Die Dauerleistung eines Menschen beträgt etwa 75 Watt. Kurzfristig kann sie bis zu 150 Watt, ja bis 190 Watt gesteigert werden.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über einige Leistungen.

Leistungsträger	Leistung	
	kpm/s	Watt
Fahrraddynamo	0,2	2
Mensch (Dauerleistung)	7,5	75
Pferd	50	490
Personenkraftwagen (P70)	1 500	14 700
Straßenbahnwagen	10 200	100 000
Dampflokomotive BR 01	150 000	1 470 000
Elektrische Lokomotive (6 achsig)	324 000	3 180 000
Dampfturbine	8 160 000	80 000 000
Kraftwerk Klingenberg	27 500 000	270 000 000
Wasserkraftwerk Kuibyschew	204 000 000	2 000 000 000

5. Fragen und Aufgaben:

- Überlege, aus welchen Gründen an einem Hebel eine Kraftersparnis, aber keine Verminderung der zu verrichtenden Arbeit eintritt!
- Führe dieselbe Überlegung wie in Frage 1 an einem Wellrad durch!
- 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 gleichschweres Faß über eine 3 m lange Schrotleiter hoch. Vergleiche in beiden Fällen die erforderlichen Kräfte und die vollbrachten Arbeiten! Welchen Vorteil bietet die Schrotleiter?
- Wir tragen einen Eimer Kohle mit einem Gewicht von 12 kp aus dem Keller in das 3. Stockwerk (13 m über der Kellersohle) und brauchen zum Emporsteigen $1\frac{1}{2}$ Minuten. Wie groß ist die Arbeit? Wie groß ist die Nutzleistung?
- Eine Pumpe fördert in einer Stunde 2400 m³ Wasser 18 m hoch. Wie groß ist die Leistung des Motors?
- Der Motor des Personenkraftwagens Wartburg hat eine Leistung von 37 PS. Rechne diese Leistungsangabe in kpm/s und in kW um!
- Eine Talsperre hat einen Wasserstand von 28 m über der Sohle. Es fließen stündlich 10000 m³ ab. Welche Leistung kann eine angeschlossene Turbine abgeben, wenn sie verlustlos arbeitet? Wie groß ist die in einer Stunde gewonnene Arbeit?
- Bei einer Dampfzange wird der Rammbar, 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 Zange?

Namen- und Sachverzeichnis

- Abbe** 43, 45
Arbeit 103 u. ff.
Auge 33 u. ff.
Augenlinse 33 u. f.
- Balkenwaage** 65
Befestigungskeil 89
Befestigungsschraube 83
Beleuchtung, indirekte 16
Bewegungsschraube 84
Bild, reelles 22
 —, virtuelles 40
Bildweite 28
Bildwerfer 35 u. f.
Blende 30 u. f.
Boxkamera 31 u. f.
Brechstange 59
Brechung des Lichts 18
 u. ff., 25, 47 u. ff.
Brechungsgesetz 19 u. ff.
Brechungswinkel 20 u. f.
Brennglas 25
Brennpunkt 24
Brennweite 24
Briefwaage 66
- Dezimalwaage** 67
Diapositiv 35 u. f.
Dichte 58
Drehgeschwindigkeit 95
Drehmaschine 94 u. ff.
Drehmeißel 88
Drehzahl 76
Dreibackenfutter 94
Drillmaschine 98 u. ff.
Druckschraube 84
- Einfallslot** 12 u. ff., 20 u. f.
Einfallswinkel 12 u. ff.,
 20 u. f.
Episkop 37
- Fadenzählrupe** 39
Fahrrad 90 u. ff.
Federwaage 54
Feldstecher 45
Fernrohr 43 u. ff.
Filmvorführgerät 37 u. f.
Flaschenzug 70 u. ff.
Formgebung, spanabhebende
 88
 —, spanlose 88
Fräskopf 88
Freilauf 92
- Ganghöhe** 83
Gangschaltung 92
Gegenstandsweite 28
Getriebe 76 u. f.
Gewicht 54
Gewichteinheit 54
Gewinde 83
Gleitreibung 92
Goldene Regel der Mechanik
 107
Gramm (g) 53
Gramm je Kubikzentimeter
 (g/cm³) 58
Grundfarben 48
- Halbschatten** 9 u. f.
Haltekeil 89
Handbremse 92
Hangabtriebskraft 78
Hebebaum 59
Hebel 59 u. ff.
Hebelarme 60
Hebelgesetz 60
Hebelwaage 64 u. ff.
Hobelmeißel 88
Höhensonne 49
Holzschraube 84
- Infrarot-Bestrahlungslampe**
 49
Infrarote Strahlen 49
- Iris** 30, 34
Irisblende 30 u. f.
- Kamera, photographische**
 29 u. ff.
Keil 86 u. ff.
Keilwinkel 86 u. ff.
Kepler 43
Kernschatten 9 u. f.
Kettenrad 90
Kettentrieb 90
Kilogramm (kg) 53
Kilopond (kp) 54
Kilopondmeter (kpm) 104
Kilopondmeter je Sekunde
 (kpm/s) 107
Kilowatt (kW) 107
Kistenöffner 60
Kleinbildkamera 33
Komplementärfarben 49 u. f.
Kondensator 36
Kopflupe 39
Körperfarben 50
Kraft 51 u. ff.
Kraftarm 60 u. ff.
Krafteinheit 54
Kugellager 93
Kurbel 74
Kurzholbelmaschine 96 u. f.
- Lastarm** 60 u. ff.
Leistung 105 u. f.
Leitspindel 84 u. f.
Lese-glas 39
Lichtausbreitung 8
Lichtgeschwindigkeit 6 u. f.
Lichtquelle 1 u. f.
Lichtstrahl 12
Linsen, optische 24 u. ff.
 —, Herstellen von 26
Lumpenwaage 54
Lupe 39 u. ff.

- Maschine 90 u. ff.
 Maschinenschraube 82
 Masse 52 u. ff.
 Masseneinheit 53
 Megapond (Mp) 55
 Meißel 88
 Millipond (mp) 55
 Mikroskop 41 u. ff.
 Mischfarbe 49
 Mondfinsternis 10 u. f.
 Mutterschraube 82
- Neigungswaage 66
Newton 52
- Objektiv 29 u. ff.
 Okular 42 u. ff.
 Optische Scheibe 13
- Pferdestärke (PS) 107
 Pond (p) 54
 Pond je Kubikzentimeter
 (p/cm^3) 57
 Pondzentimeter 104
 Präzisionswaage 65
 Prisma 47 u. ff.
 Prismenglas 45
 Projektor 35 u. ff.
 Pupille 33 u. f.
- Reflexion 11 u. ff.
 —, diffuse 15 u. ff.
 Reflexionsgesetz 13
 Reflexionswinkel 12 u. ff.
 Regenbogen 48
 Reibung 92
- Riementrieb 76
 Rolle 69 u. ff.
 Rollenlager 93
 Rollfilm-Boxkamera 31 u. f.
 Rollfilm-Klappkamera
 32 u. ff.
 Rollreibung 92
 Rücken beim Keil 86
 Rückenkraft 86
 Rücktrittbremse 92
- Sammellinse 24 u. ff.
 Säräder 98
 Schalenwaage 65
 Schatten 8 u. ff.
 Schiefe Ebene 78 u. ff.
 Schmiermittel 93
 Schneide beim Keil 86
 Schnellwaage, römische 68
 Schraube 82 u. ff.
 Schraubenbolzen 83
 Schraubengang 83
 Schraubenkopf 83
 Schraubenlinie 82
 Schraubenmutter 82
 Schrotleiter 78
 Schwerkraft 54 u. f.
 Seilmaschine 70
 Shapingmaschine 96 u. f.
 Sonnenfinsternis 10 u. f.
 Spaltkeil 86
 Spektralfarben 48 u. f.
 Spektrum 48 u. f.
 Spiegel 12 u. ff.
 Spiegelbild 14 u. f., 40
 Spiegelreflexkamera 33
 Spitzgewinde 83
- Steigung 80
 Steilheit 80
 Stellschraube 84
 Stoßmaschine 96 u. f.
- Tafelwaage, oberhalbige 66
 Trägheit 52 u. f., 55
 Trägheitsgesetz 52
 Trapezgewinde 83
 Trennwerkzeug 86
 Tretkurbel 90
- Übersetzungsverhältnis
 74 u. f., 91
 Ultraviolette Strahlen 49
- Verbindungskeil 89
 Vielstufenge triebe 98, 100
- Waagebalken 64 u. f.
 Walzenfräser 88
 Wange 86
 Wangenkraft 86
 Watt (W) 107
 Wellrad 73 u. ff.
 Werkzeugmaschine 94
 Wichte 57
 Winkelhebel 66
- Zahnkranz 90
 Zahnrad 74
 Zahnradgetriebe 76 u. f.
 Zahntrieb 74 u. f.
 Zeiger-Schnellwaage 66
 Zeiss-Tessar 30
 Zerstreuungslinse 25 u. f.

Fremd- und Fachworterklärung

Die Zahlen in eckigen Klammern geben die Seite an, auf der das Stichwort zum ersten Mal im Buch auftritt.

Abbe [43]

Ernst Abbe (1840 bis 1905) war Professor in Jena und war einer der bedeutendsten Physiker auf dem Gebiete der Optik. Er stellte den Bau der Mikroskope auf eine wissenschaftliche Grundlage und legte dadurch den Grund zu dem Weltruhm des Carl-Zeiss-Werkes in Jena.

binokular [40]

bis (lat.) = zweimal, oculus (lat.) = das Auge,
binokular = für zwei Augen.

Boxkamera [31]

aus dem Englischen, soviel wie Büchse, Schachtel; einfache, kastenförmige Rollfilmkamera.

Diapositiv [35]

durchsichtiges Glasbild zum Projizieren. Gibt die Helligkeitswerte in der wirklichen Verteilung wieder.

diffus [15]

aus dem Lateinischen, bedeutet soviel wie ausgebreitet, zerstreut.

Episkop [15]

epi (griech.) = auf, skopein (griech.) = sehen; ein für Projektion im auffallenden Licht geeignetes Gerät.

Iris [30]

iris (griech.) = Regenbogen; Regenbogenhaut im Auge.

Kamera [29]

aus dem Griechischen und Lateinischen; kastenförmiges Gerät für photographische Aufnahmen.

Kepler [43]

Johannes Kepler (1571 bis 1630), deutscher Astronom, fand die Gesetze der Planetenbewegung.

Kilopond [54]

Kraft- und Gewichtseinheit; pondus, ein lateinisches Wort, bedeutet soviel wie Last.

Kobalt [95]

ein dem Eisen nahe verwandtes grauglänzendes, sehr hartes Metall.

Komplementärfarben [50]

von dem lateinischen Wort complere = ergänzen, Ergänzungsfarben.

Kondensor [35]

aus dem Lateinischen, heißt soviel wie Verdichter, Sammler. Ein Linsensystem, das beim Projektionsapparat zum Beleuchten der Diapositive dient.

- Mechanik** [51]
aus dem Griechischen, bedeutet die Lehre von den Kräften und von der Bewegung der Körper.
- Mikroskop** [41]
ein aus dem Griechischen stammendes Wort, das soviel wie Kleinsehen bedeutet. Ein Gerät zum Betrachten sehr kleiner Gegenstände.
- Negativ** [30]
aus dem Lateinischen; soviel wie verneinend. Bezeichnung für das Bild, das auf einer photographischen Platte oder auf einem Film nach der Entwicklung entsteht.
- Newton** [52]
Isaac Newton (1643 bis 1727), Professor der Physik in Cambridge (England) war einer der bedeutendsten englischen Physiker, erforschte vor allem die Bewegungsgesetze und die Zerlegbarkeit des weißen Lichts in Spektralfarben.
- Objektiv** [29]
die dem betrachteten Gegenstand zugewandte Linse eines Fernrohrs oder eines Mikroskops.
- Okular** [42]
die dem Auge zugewandte Linse eines Fernrohrs oder eines Mikroskops.
- Optik** [5]
aus dem Griechischen, bedeutet die Lehre vom Licht.
- Positiv** [30]
aus dem Lateinischen, soviel wie Gesetz, feststehend, vorhanden; Bezeichnung für das fertige Bild.
- Projektor** [35]
ein Gerät zum Entwerfen von Lichtbildern, vom lateinischen Wort *projicere* (werfen) herstammend.
- Pupille** [33]
aus dem Lateinischen, Öffnung in der Mitte der Regenbogenhaut, Schloch.
- reell** [27]
wirklich, ein Wort lateinisch-französischen Ursprungs. Ein reelles Bild ist ein wirklich vorhandenes Bild, das man auf einem Schirm auffangen kann.
- Reflexion, reflektieren** [11]
aus dem Lateinischen, soviel wie zurückbiegen; gemeint ist zurückwerfen, spiegeln.
- Spektrum** [48]
bedeutet im Lateinischen die Erscheinung, das Bild. Bezeichnung für das farbige Lichtband, in das das weiße Licht beim Durchgang durch ein Prisma zerlegt wird.
- Tabus** [42]
lateinisch die Röhre, Bezeichnung für das Rohr eines Mikroskops oder Fernrohrs.
- virtuell** [40]
ein Wort lateinisch-französischen Ursprungs, soviel wie unwirklich, scheinbar. Ein virtuelles Bild läßt sich nicht auf einem Schirm auffangen.
- Wolfram** [95]
silberglänzendes, sprödes Metall. Man verwendet es zum Veredeln anderer Metalle und zum Herstellen sehr harter Legierungen.
- Ziliarmuskel** [34]
aus dem Lateinischen; glatter Muskel im Auge, der die Gestaltsveränderung der Augenlinse bewirkt.

02702-1