

zu sein? — 5. Warum braucht man sich beim Sprechen im geschlossenen Raume nicht so anzustrengen wie im Freien? — 6. In leeren Sälen hallen alle Worte und Tritte stärker als in gefüllten. Erkl.! — 7. In gebirgigen Gegenden rollt der Donner bedeutend stärker als in Ebenen; w.? — 8. An einem Orte werde ein 3silbiges Echo gehört. Welchen Einfluß würde es auf dasselbe ausüben, wenn man sich der Wand, welche den Schall zurückwirft, immer mehr näherte? — 9. Eine Wand sei von einer Schallquelle 50 m entfernt. Nach wv. Sek. wird man am Orte der Entstehung des Schalles das Echo hören? — 10. Angenommen, man hörte vom Eisenbahnzuge aus demselben Pfiff der Lokomotive zweimal und zwar das Echo 5 Sek. später: wie weit müßte dann die reflektierende Wand vom Zuge entfernt sein, u. w.? — 11. Vgl. die Einrichtung und Benutzung eines Schallrohres mit derjenigen eines Sprachrohres. — 12. Desgl. ein Sprachrohr mit einem Hörrohre.

IV. Abschnitt.

Vom Lichte.

§ 25. Selbstleuchtende und dunkle Körper. Verbreitung des Lichtes. Die Sonne und die Fixsterne senden Lichtstrahlen aus und werden uns dadurch sichtbar; dagegen besitzen die meisten irdischen Körper, wie die Erfahrung lehrt, die Eigenschaft des Leuchtens nicht. Sie werden vielmehr erst dann sichtbar, wenn sie von dem Licht der Sonne oder eines leuchtenden Körpers getroffen werden.

Körper, welche von selbst sichtbar sind, heißen selbstleuchtend (Lichtquellen); Körper, denen diese Eigenschaft fehlt, werden dunkel genannt. Licht ist die Ursache, durch welche uns die Körper sichtbar werden.

Die Hauptlichtquelle für die Erde ist die Sonne; ihr Licht ist viele Millionen mal stärker als das Licht der meisten Fixsterne. Das Licht des Mondes ist Sonnenlicht, das vom Monde zurückgeworfen wird. — Irdische Körper können durch starke Erhitzung zu Lichtquellen werden (Beispiele!); nur wenige zeigen schon bei gewöhnlicher Temperatur ein schwaches Leuchten, z. B. Phosphor.

Stark leuchtende Körper lassen in ihrer Umgebung häufig Lichtstreifen wahrnehmen, welche sich nach allen Seiten ausbreiten. Diese Erscheinung zeigt sich am schönsten am bewölkten Himmel, wenn das von der Sonne ausgehende Licht durch die Lücken einer vor derselben stehenden Wolke ungehindert hindurchgehen kann (Fig. 87, folg. Seite). Körper, welche weniger stark leuchten, wie glühende Kohlen, Flammen u. s. w., lassen zwar derartige Erscheinungen nicht erkennen, sie sind jedoch von allen Seiten sichtbar, wenn nicht zwischen ihnen und unserem Auge sich ein Körper befindet, durch den wir nicht hindurchsehen können. Hieraus folgt:

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 111 ff.

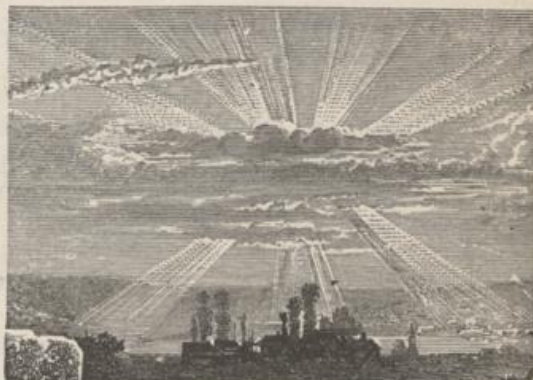
Von einem leuchtenden Körper geht das Licht nach allen Seiten aus.

Die Linien, welche die Fortpflanzungsrichtung des Lichtes angeben, heißen **Lichtstrahlen**. Der Stoff, durch den das Licht hindurchgeht, wird **Mittel** genannt.

Körper, welche nicht selbst leuchten, sind entweder durchsichtig oder durchscheinend oder undurchsichtig. (Beispiele!) Durchsichtige Körper lassen soviel Licht durch, daß man Gegenstände durch sie hindurch deutlich erkennen kann; durchscheinende Körper lassen weniger Licht durch sich hindurch; undurchsichtige Körper sind für Licht undurchdringlich.

Es giebt weder vollkommen durchsichtige, noch vollkommen undurchsichtige Stoffe. Das reinste Glas erscheint farbig, wenn mehrere Scheiben aufeinander liegen und ein weißer Körper dahinter gehalten wird. In sehr tiefen Gewässern kann man den Grund nicht sehen, wenn das Wasser auch noch so klar ist. Wäre die Luft vollkommen durchsichtig, so könnte der Himmel nicht blau erscheinen. Undurchsichtige Körper, z. B. die Metalle, werden durchscheinend, wenn man sie zu sehr dünnen Blättchen auswalzt.

Fig. 87.



Übungsstoff. 1. Nenne selbstleuchtende und dunkle K. — 2. Desgl. einen K., welcher sich durch Reiben sehr leicht leuchtend machen läßt. (Wichtige Anwendung im täglichen Leben!) — 3. Andere Beispiele von K., welche zu Lichtquellen werden können! — 4. Welche Veränderung findet im Zustande solcher K. statt, ehe das Leuchten beginnt? — 5. In welchen Fällen ist bei der Beurteilung, ob ein irdischer K. selbstleuchtend ist, ein möglichst dunkler Raum erforderlich, und wann ist dies weniger nötig? Beispiele! — 6. Welche Täuschung kann daher hierbei leicht vorkommen? — 7. Wenn man ein Stück Blech oder dergl. in eine leuchtende Flamme hält, so lagern sich auf demselben da, wo es von der Flamme berührt wird, schwarze Kohleteilchen (Rufs) ab. Dies findet nicht mehr statt, wenn das Blech schon stark erhitzt ist. Worin mag es hiernach seinen Grund haben, daß die Flamme leuchtet? — 8. Wie erklärt es sich, daß ein Raum von einem Punkte aus erleuchtet werden kann? — 9. Nenne durchsichtige und durchscheinende K.! — 10. Wie verhält sich a. gewöhnliches, b. mattgeschliffenes, c. gepulvertes Glas gegen Licht; desgl. Eis, Schnee, Wasser, Wasserdampf und Wolken? — 11. Wenn auf lange Dürre ein Regen folgt, so ändert sich der Grad der Durchsichtigkeit der Luft, wie sich an weit entfernten Gegenständen deutlich erkennen läßt; inwiefern?

§ 26. Geradlinige Fortpflanzung des Lichtes. Schatten. Fällt Sonnenlicht durch einen schmalen Spalt in ein dunkles Zimmer, so sieht man die in der Luft schwebenden Staubteilchen in geraden Linien erleuchtet; ferner sind die von hellen Gasflammen oder elektrischen Lampen ausgehenden und durch starken Nebel dringenden Lichtstrahlen ein Beweis für die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes, ebenso die bisweilen am Himmel hinter Wolken hervortretenden

Lichtstreifen (Fig. 87). Blickt man durch kleine Öffnungen beliebig weit voneinander entfernter, undurchsichtiger Körper nach irgend einer Lichtquelle, so ist diese nur dann sichtbar, wenn die Öffnungen in gerader Linie liegen, vorausgesetzt, daß die Luft zwischen Auge und Lichtquelle überall die gleiche Beschaffenheit hat, oder der Lichtstrahl nicht noch durch einen anderen durchsichtigen Körper hindurchgeht. Es gilt demnach der Satz:

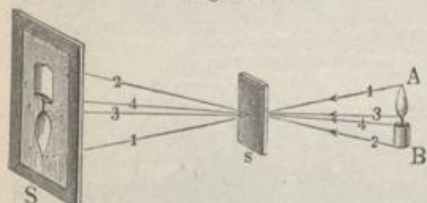
In einem durchaus gleichartigen Mittel pflanzt sich das Licht in geraden Linien fort.

Erscheinungen,

welche sich aus der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes erklären:

* **Versuch a.** Stellt man im verdunkelten Zimmer einem weißen oder durchscheinenden Schirme (S, Fig. 88) eine Flamme gegenüber und zwischen beide einen undurchsichtigen Schirm (s), welcher in der Mitte eine kleine Öffnung hat, so entsteht auf ersterem ein umgekehrtes Bild der Flamme, dessen Gröfse sich mit der Entfernung der Schirme von der Flamme ändert.

Fig. 88.

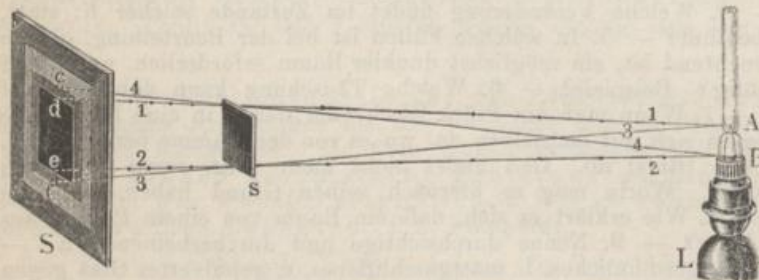


ändert.

Bilder, welche auf einem Schirme aufgefangen werden können, heißen wirkliche oder objektive Bilder.

Versuch b. Verfährt man ebenso unter Anwendung eines kleinen, undurchsichtigen Schirmes ohne Öffnung (Fig. 89), so erhält man einen

Fig. 89.



scharf abgegrenzten Schatten, wenn beide Schirme einander möglichst nahe stehen. Entfernt man darauf die Schirme mehr und mehr von-

einander, so fangen die Ränder des Schattens an undeutlich zu werden, indem sich ein zweiter Schatten bildet, welcher den ursprünglichen als matt beleuchteter Rahmen umgiebt. Mit zunehmender Entfernung ändert sich die Gröfse der beiden Schatten.

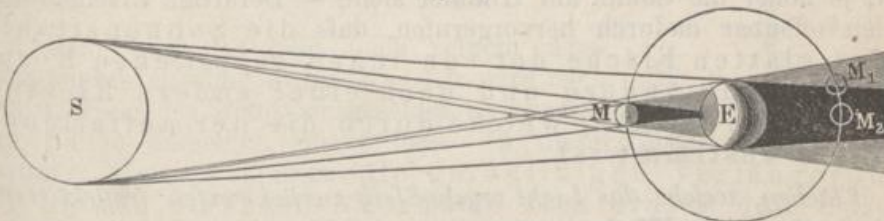
*Derjenige Teil eines beschatteten Raumes, welcher gar kein Licht erhält, wird **Kernschatten** genannt; der Raum, welcher nur von einem Teile der Lichtquelle beleuchtet wird, heißt **Halbschatten**.*

Die Entstehung der beiden Schatten erklärt sich in folgender Weise. *a. Kernschatten:* Denkt man sich von den äußersten Punkten der Lichtquelle (A und B, Fig. 89), gerade Linien (1 und 2) gezogen, welche die gegen-

überliegenden Ränder des undurchsichtigen Schirmes (s) berühren, so wird dadurch derjenige Raum zwischen den beiden Schirmen begrenzt, in welcher gar kein Licht eindringen kann. *b. Halbschatten:* Stellt man sich ferner vor, eine jener beiden Grenzlinien des Kernschattens (etwa Ad) werde um den Punkt, in welchem sie den undurchsichtigen Schirm berührt, so gedreht, daß sie dabei durch die ganze Lichtquelle hindurchgeht (von A nach B), so giebt sie in ihrer neuen Lage (Bc) die äußere Grenze des Halbschattens an. Auf diesem Wege durchschreitet die Linie in der Umgebung des Kernschattens einen Raum, dessen Helligkeit offenbar nach außen hin zunehmen muß, denn je weiter die Linie sich bei ihrer Drehung vom Kernschatten entfernt hat, desto größer ist auch der durchschrittene Teil der Lichtquelle, von welchem Licht in die Umgebung des Kernschattens gelangen kann. — Wäre die Lichtquelle nur ein leuchtender Punkt, so könnte kein Halbschatten entstehen.

Sonnen- und Mondfinsternis. Wie dunkle Wolken den unter ihnen befindlichen Luftraum beschatten, so entsteht im Weltraume ein Schatten von jedem Himmelskörper, welcher sein Licht von der Sonne erhält. Tritt ein anderer Himmelskörper, welcher kein eigenes Licht hat, bei seiner Bewegung im Weltraume in einen solchen beschatteten Raum, so wird er verdunkelt, wie der Erdboden durch die Wolke verdunkelt wird. Erkläre hiernach Fig. 90. (In der Figur bedeutet S die Sonne, M den Mond, E die Erde.)

Fig. 90.



Die Verfinsternung, welche auf der Erde dadurch entsteht, daß die Erde in den Schatten des Mondes tritt, wird **Sonnenfinsternis** genannt. Je nachdem die Erde dabei in den Kern- oder in den Halbschatten des Mondes (M) gelangt, ist die Verfinsternung stärker oder schwächer. Im ersteren Falle bezeichnet man die Verfinsternung als totale, im letzteren als partielle Sonnenfinsternis.

Gelangt der Mond bei seiner Umdrehung um die Erde in den Kernschatten der Erde, so entsteht eine **Mondfinsternis**, und zwar eine totale, wenn der Mond ganz (M_2), eine partielle, wenn er nur teilweise (M_1) verfinstert erscheint.

Übungsstoff. 1. Bei der Vermessung eines Feldes soll zwischen zwei Stangen ein Punkt gesucht werden, welcher in derselben Geraden liegt. Wie ist dies auszuführen, und worauf beruht die Richtigkeit des Verfahrens? — 2. Von 2 ineinander verschiebbaren Röhren (Fig. 91) habe die engere einen durchscheinenden, die weitere einen undurchsichtigen Boden mit kleiner Öffnung in der Mitte. Was wird man in der Röhre wahrnehmen, wenn man sie hell beleuchteten Gegenständen zukehrt und hierbei die weite Öffnung vors Auge hält? Einfluß der Verschiebung! Erkl.! — 3. Wie muß sich der Schatten (Fig. 89) ändern, wenn der Schirm s verschoben wird? — 4. Zu welcher Tageszeit sind die Schatten der Gegenstände im Freien am kürzesten und wann am längsten? Grund! — 5. Richtung derselben morgens, mittags und gegen Abend? — 6. Bei recht hellem Sonnenschein ist der Schatten eines Gebäudes an den von letzterem auslaufenden Rändern nahe am Gebäude scharf begrenzt, in weiterer Entfernung aber mit einem immer breiter werdenden verschwommenen Rande versehen; letzterer ist an den mit dem Gebäude parallel laufenden Schattenrändern überall von gleicher Breite, aber um so breiter, je höher das Gebäude ist und je tiefer die Sonne steht. Erkl.! — 7. Schärfe

Fig. 91.



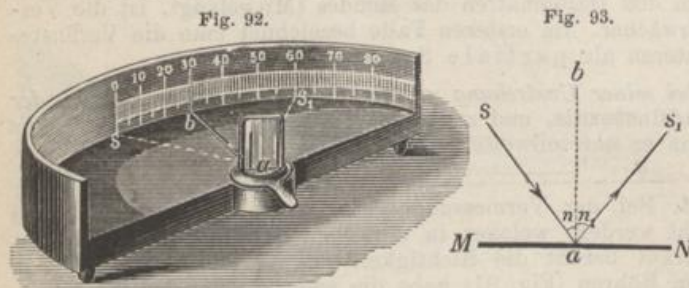
des Schattens von den Teilen eines Stakets oder dergl.? — 8. Bei hohem Sonnenstande und sehr heller Beleuchtung läuft der Kernschatten eines Baumstammes deutlich von den Baumrändern ab in eine Spitze aus. Grund! — 9. Welche Gestalt hat der Schatten einer Kugel im Sonnenlichte auf einem hellen Schirme, wenn die Strahlen senkrecht gegen den Schirm fallen? — 10. Vgl. damit den Schatten, welcher durch das Licht eines sehr hell leuchtenden Punktes entstehen würde. — 11. Unter welcher Bedingung ist der Schatten einer kreisförmigen Scheibe ebenso beschaffen? Grund! — 12. Suche hiernach die Bedingungen auf, unter denen aus der Kreisform des Schattens auf die Kugelgestalt des schattenwerfenden Gegenstandes geschlossen werden kann? — 13. Der Schatten, welcher bei Mondfinsternissen von der Erde auf dem Monde entsteht, ist immer kreisförmig begrenzt. Welchen Schluss zieht man hieraus?

§ 27. Zurückwerfung des Lichtes. Ebene Spiegel.*)

Beim Auf- und Untergange der Sonne sieht man oft weit entfernte Fensterscheiben sehr hell glänzen. Läßt man Sonnenstrahlen gegen einen Spiegel fallen, dessen glänzende Fläche einer Wand zugekehrt ist, so erblickt man auf letzterer einen hellen Schein, welcher mit der Drehung des Spiegels seine Lage ändert. Bei klarem Himmel sieht man das Bild der Sonne in jedem ruhigen Gewässer, und zwar erscheint es um so tiefer, je höher die Sonne am Himmel steht. — Derartige Erscheinungen werden offenbar dadurch hervorgerufen, daß die Sonnenstrahlen an der glatten Fläche der von ihnen getroffenen Körper ihre Richtung ändern und nach einer andern Richtung hingeworfen werden, welche durch die der auffallenden Strahlen bestimmt ist.

Flächen, welche das Licht regelmäßig zurückwerfen (reflektieren¹⁾, werden spiegelnde Flächen genannt.

Versuch. Hält man im verdunkelten Zimmer etwa eine Kerzen-



flamme hinter den senkrechten Spalt (0, Fig. 92) in einem halbkreisförmigen Gradbogen, in dessen Mittelpunkte ein kleiner, drehbarer Spiegel angebracht ist, so zeigt sich auf dem Gradbogen ein Lichtstreifen. Bei der Drehung des Spiegels verschiebt sich derselbe so, daß die Lichtstreifen vor und nach ihrer Zurückwerfung mit dem das Einfallslot darstellenden Zeiger (b) stets gleiche Winkel einschließen ($\sphericalangle sab = \sphericalangle bas_1$; vgl. Fig. 93).

Der vom Einfallstrahle und dem Einfallslot gebildete Winkel ($\sphericalangle sab$) wird Einfallswinkel, der zwischen dem Einfallslot und dem zurückgeworfenen Strahle liegende Winkel ($\sphericalangle bas_1$) Ausfallswinkel oder Reflexionswinkel genannt.

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 98.

1) reflectère, zurückwenden.

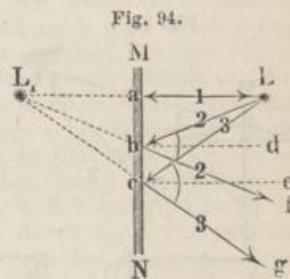
Über die Zurückwerfung des Lichtes gilt folgendes Gesetz, dessen Richtigkeit durch alle Erscheinungen der Spiegelung bestätigt wird:

1. Der zurückgeworfene Strahl liegt in derselben Ebene, in welcher der einfallende Strahl und das Einfallslot liegen.
2. Der Ausfallswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.

Aus dem Versuche folgt ferner: Wird ein Spiegel um einen Winkel gedreht, so dreht sich das Bild um den doppelten Winkel.

Anwendung des Reflexionsgesetzes zur Bestimmung der Lage der Bilder.

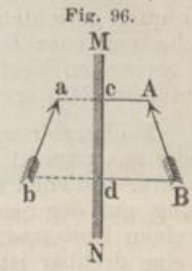
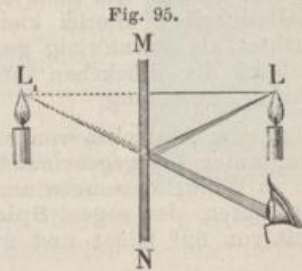
L (Fig. 94) stelle einen leuchtenden Punkt und MN einen Spiegel dar, welcher von den drei Strahlen La, Lb und Lc getroffen werde; La treffe den Spiegel rechtwinklig, Lb und Lc in schräger Richtung. Die Geraden bd und ce seien die zu den beiden letzteren Strahlen gehörigen Einfallslote, bf und cg die dazu gehörigen zurückgeworfenen Strahlen.



Der Strahl La geht nach seinem Ausgangspunkte zurück; warum? — Lb wird nach dem 1. Teile des Reflexionsgesetzes so zurückgeworfen, dass bf mit Lb und bd in derselben Ebene liegt. In dieser Ebene liegt auch Le; warum? Folglich müssen die geradlinigen Verlängerungen der beiden Strahlen La und fb sich hinter dem Spiegel schneiden. Dieser Schnitt sei L₁. — Nach dem 2. Teile des Reflexionsgesetzes ist $\sphericalangle dbf = \sphericalangle Lbd$. Hieraus lässt sich schließen, dass $\sphericalangle abL_1 = \sphericalangle abL$; warum? Da nun auch $\sphericalangle baL_1 = \sphericalangle baL$ (als Rechte) und $ab = ab$, so ist $\triangle L_1ab \cong \triangle Lab$; folglich $L_1a = La$. — Beweis für Lc!

Da nun ein leuchtender Punkt von unserem Auge immer in derjenigen Richtung wahrgenommen wird, in welcher die von ihm ausgehenden Strahlen ins Auge gelangen, so muss uns der Punkt L in L₁ erscheinen, wenn das Auge von den zurückgeworfenen Strahlen bf, cg u. s. w. getroffen wird, d. h. alle von dem leuchtenden Punkte L ausgehenden Strahlen werden von dem Spiegel so zurückgeworfen, dass sie von einem ebensoweit hinter demselben liegenden Punkte L₁ (dem Bildpunkte) herzukommen scheinen.

Die Verbindungslinie beider Punkte steht senkrecht zur Ebene des Spiegels. Befände sich statt des Punktes ein Gegenstand vor dem Spiegel (Fig. 95 und 96), so würde sich nach derselben Konstruktion für jeden einzelnen Punkt des Gegenstandes die Lage des Bildpunktes finden lassen. Die Vergleichung von Bild und Gegenstand zeigt,



dafs die rechte und die linke, die vordere und die hintere Seite vertauscht sind. (Bestätigung durch die Erfahrung!)

Bei einem **ebenen** oder **Planspiegel** erscheint das Bild eines Gegenstandes ebenso weit hinter der spiegelnden Fläche, als der Gegenstand vor derselben sich befindet. Bild und Gegenstand haben gleiche Gröfse und Gestalt, ihre Seiten sind vertauscht (symmetrisch).

Die durch ebene Spiegel entstehenden Bilder sind in Wirklichkeit nicht vorhanden und werden daher scheinbare oder subjektive Bilder genannt.

Erkläre die Entstehung der drei Bilder L_1 , L_2 und L_3 des leuchtenden Punktes L (Fig. 97). Bestätigung durch den Versuch (Fig. 98).

Fig. 97.

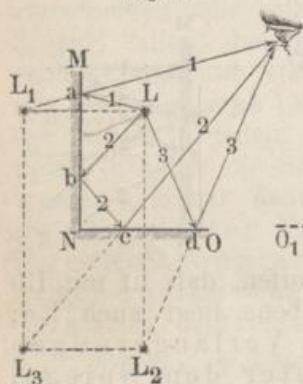


Fig. 98.

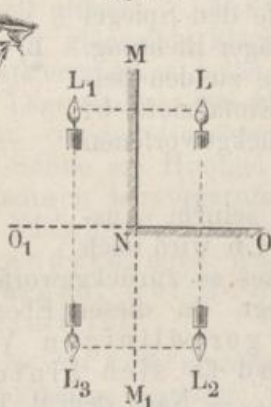
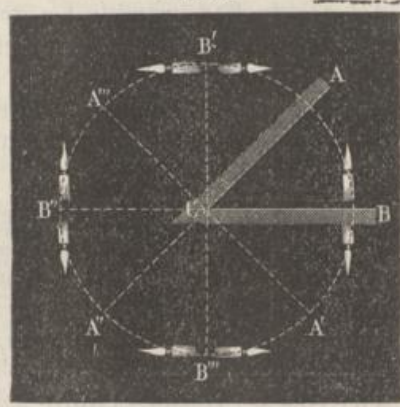


Fig. 99.



Durch zwei ebene Spiegel, welche einen Winkel einschließen, entstehen von einem zwischen ihnen befindlichen Gegenstande so viele Bilder, als der Winkel in 360° enthalten ist, weniger 1 (siehe Fig. 98 und 99). — Parallele Spiegel erzeugen unendlich viele Bilder, deren Sichtbarkeit wegen der wiederholten Reflexion immer geringer wird (vgl. Fig. 100, folg. Seite).

Die Entstehung regelmäfsig gruppierter Bilder durch Winkelspiegel hat zur Erfindung des **Kaleidoskops**¹⁾ oder Schönguckers geführt (1817). Dasselbe besteht aus einer Röhre, in welcher gewöhnlich zwei schmale Spiegel einen Winkel von 45° , 40° , 36° u. s. w. miteinander bilden. Am Ende dieser Spiegel befinden sich zwischen zwei quer gerichteten Glasscheiben allerlei kleine, gefärbte Glasstückchen u. dgl., welche von vorn betrachtet als sternförmig geordnete Figuren erscheinen, die bei der geringsten Verschiebung der Stückchen ihre Form ändern. Das Kaleidoskop findet beim Musterzeichnen Anwendung.

Feldmesser wenden zum Abstecken von rechten Winkeln **Winkelspiegel** an, welche aus zwei kleinen, unter 45° gegeneinander geneigten Spiegeln bestehen. — Seefahrer bedienen sich zu Winkelmessungen am Himmel, welche sie zu ihrer Orientierung auf der See ausführen, des sogen. **Spiegelsextanten**, eines Instrumentes, das einen Kreisabschnitt von 60° bildet und 2 kleine Spiegel enthält, von denen der eine drehbar ist.

Die allgemeinste Anwendung findet die Reflexion des Lichtes im täglichen Leben durch die gewöhnlichen Glasspiegel. Bei denselben spiegelt sowohl die vordere, als auch die hintere Seite des Glases. Letz-

¹⁾ $\kappa\alpha\lambda\acute{o}\varsigma$ (kalós), schön, $\epsilon\acute{\iota}\delta\omicron\varsigma$ (eidos), Gestalt, und $\sigma\kappa\omicron\pi\acute{\epsilon}\omega$ (skopeo), schaue.

tere ist mit Zinnamalgam (Zinn und Quecksilber) belegt und ruft das eigentliche Bild hervor. Geht von einem Gegenstande viel Licht aus (Flamme, glühende Kohle u. dgl.) und ist die Spiegelplatte hinreichend dick, so sind mehrere Bilder sichtbar, da jedes Bild für die andere spiegelnde Fläche wieder zum Gegenstande wird (Fig. 100). — Metallspiegel (polierte Metallplatten) erzeugen nur ein Bild.

Die Benutzung des Amalgams als Spiegelbelag stammt aus dem 14. Jahrhundert.



Fig. 100.

Übungsstoff. 1. Warum zeigen Fensterscheiben nur bei tiefem Sonnenstande einen starken (feurigen) Glanz? — 2. Welche Stellung muß der Beobachter zur Sonne und Fensterscheibe einnehmen, damit jene Ersch. eintritt? — 3. Durch welche Änderungen der Stellung a. des Beobachters, b. der Scheibe kann die Ersch. verschwinden? — 4. Angenommen, der Spiegel, Fig. 92, sei zunächst um 5° und darauf um 15° gedreht. Um wv. würde sich dann der Lichtstreifen jedesmal gedreht haben? — 5. Um wv. Grad muß man einen Spiegel aus seiner senkrechten Lage drehen, damit das Bild des eigenen Körpers aus der senkrechten in die wagerechte Lage übergeht; um wv. Grad ferner, damit der Kopf des Bildes nach unten gerichtet ist? — 6. Wie erklärt es sich, daß die Gegenstände am Ufer eines Gewässers im W. umgekehrt erscheinen? — 7. Wie mag es sich erklären, daß diese Bilder bei gleicher Beleuchtung nicht so hell sind als die durch Glasspiegel erzeugten Bilder? — 8. Woran ist es ohne Lot leicht zu erkennen, ob ein sehr nahe am W. stehendes Gebäude schief steht? — 9. Erkläre die Ersch., daß man das Bild einer brennenden Lampe vom Zimmer aus durch die Fensterscheiben hindurch außerhalb des Zimmers sehen kann. — 10. Worin hat es seinen Grund, daß derartige Bilder bedeutend matter erscheinen als gewöhnliche Spiegelbilder? — 11. Welcher Täuschung ist man ausgesetzt, wenn hinter Schaufenstern im Hintergrunde Spiegelglas und seitlich 2 parallele Spiegel angebracht sind? — 12. Wie ist es zu bewirken, daß die hinter Schaufenstern wagerecht liegenden Gegenstände senkrecht erscheinen? — 13. Wie läßt sich die Dicke von Spiegelglas mit Hilfe einer gegen den Spiegel gehaltenen Messerspitze oder dergl. bestimmen? — 14. Wie läßt sich die Entstehung der Bilder durch Planspiegel aus den beiden Reflexionsgesetzen ableiten?

§ 28. Zerstreuung des Lichtes. Morgen- und Abenddämmerung.

Wenngleich wir bei Körpern mit unebenen Flächen diejenigen Lichterscheinungen, welche glatte Flächen hervorrufen, niemals wahrnehmen, so müssen wir doch schliessen, daß auch sie Lichtstrahlen zurückzuwerfen vermögen (warum?). Da die zahlreichen kleinen Oberflächen der Unebenheiten solcher Körper die verschiedensten Richtungen haben, so kann dabei die Zurückwerfung nicht mit der Regelmäßigkeit erfolgen, mit welcher die Strahlen durch glatte Flächen reflektiert werden (Fig. 101). Welche Richtung würden die in der Figur dargestellten Strahlen nach ihrer Reflexion gegeneinander einnehmen, wenn die Fläche glatt und eben wäre?

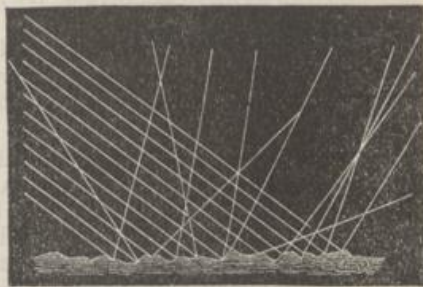


Fig. 101.

Unebene Flächen werfen das Licht nach allen Seiten zurück und zerstreuen es also: Unregelmäßige Zurückwerfung oder Zerstreuung des Lichtes.

Durch die unregelmäßige Zurückwerfung des Lichtes werden uns Körper mit unebenen Flächen von allen Seiten sichtbar, während spiegelnde Flächen um so weniger gesehen werden können, je glatter sie sind, und dann nur durch starke Spiegelung oder durch ihre Umrahmung erkannt werden.

Auch in der Luft findet eine Zerstreuung des Lichtes statt. Hierauf beruht die Entstehung der **Morgen- und Abenddämmerung**, d. h. *derjenigen Erscheinung, daß die Helligkeit vor dem Aufgange der Sonne allmählich zu-, nach dem Untergange der Sonne allmählich wieder abnimmt*. Wenn nämlich die Sonne so tief unter dem Horizonte steht, daß ihre Strahlen unser Auge nicht mehr direkt treffen können, so gelangt das Licht derselben dadurch zu uns, daß die höheren Luftschichten davon getroffen werden und die darin schwebenden Staub- und Wassertheilchen (Nebel, Wolken), sowie die Lufttheilchen selbst das Licht nach verschiedenen Seiten hin zurückwerfen. Dies ist jedoch nur solange möglich, als die Sonne sich nicht über 18° unter dem Horizonte befindet. Bis zu dieser Grenze ist die Beleuchtung offenbar um so schwächer, je tiefer die Sonne unter dem Horizonte eines Ortes steht, denn um so mehr gehen die Strahlen über die am besten reflektierenden dichteren Luftschichten des Ortes hinweg. Ohne diese Wirkung der Atmosphäre würde der helle Tag sich plötzlich in finstere Nacht verwandeln und umgekehrt.

Die Dauer der Dämmerung ist nicht überall auf der Erde gleich. Am Äquator, wo die Sonne zweimal im Jahre senkrecht, sonst nahezu in senkrechter Richtung über den Horizont hinaufsteigt und unter denselben hinabsinkt, währt die Dämmerung bei der dortigen nächtlichen Klarheit des Himmels nur sehr kurze Zeit. Die kürzeste Dämmerung fällt hier mit den Tag- und Nachtgleichen zusammen. Nach den Polen hin dauern die Dämmerungen immer länger, namentlich weil der Winkel, welchen der tägliche Lauf der Sonne beim Auf- und Untergange mit dem Horizonte bildet, polwärts immer kleiner wird und die Sonne also länger in der Nähe des Horizontes verweilt. Die Zeiten der kürzesten Dämmerung entfernen sich hier immer weiter von der Tag- und Nachtgleiche. Während ferner am Äquator das ganze Jahr hindurch Tag und Nacht schnell ineinander übergehen, dauert in unseren Gegenden die Dämmerung zur Zeit der längsten Sommertage die ganze Nacht hindurch und am Pole solange, daß die Polarnacht dadurch fast um 100 Tage abgekürzt wird.

Die unregelmäßige Reflexion des Sonnenlichtes befördert am Tage eine gleichmäßige Verbreitung der Helligkeit. Dadurch werden namentlich bei direkter Beleuchtung die Gegensätze zwischen Licht und Schatten gemildert. Auf sehr hohen Bergen treten diese Gegensätze wegen der größeren Reinheit der Luft weit mehr hervor als in tiefer gelegenen Gegenden.

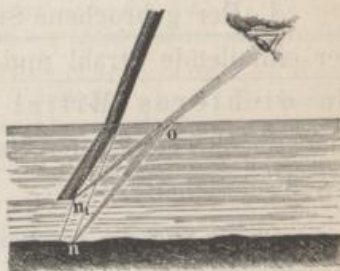
Übungsstoff. 1. Wann ist eine Eisfläche kaum, und wann sehr deutlich sichtbar? Erkläre beides? — 2. Warum werden in Neubauten die Fensterscheiben mit Kalk bespritzt? — 3. Warum kann ein Gemälde bei derselben Beleuchtung nicht von allen Seiten gleichdeutlich gesehen werden? — 4. Inwiefern kann die Himmelsgegend, nach welcher ein Zimmer liegt, einen Einfluß auf die Sichtbarkeit der an den Wänden aufgehängten Bilder ausüben? Beispiele! — 5. Wie läßt sich durch ein Blatt weißen Papiers beim Lesen während der Dämmerung die Deutlichkeit der Schrift erhöhen? — 6. Man stelle sich vor, alle Gegenstände in einem Zimmer reflektierten das Licht regelmäßig. Welche Erschn. würden dadurch bei direktem Sonnenlichte und bei Lampenbeleuchtung entstehen, und wie würde dies dauernd auf unsere Augen wirken? — 7. Welchen Vorteil gewährt hiernach die unregelmäßige Reflexion des Lichtes in der Natur? — 8. In welcher Weise müßte morgens und abends Hell und Dunkel wechseln, wenn in den höheren Luftschichten keine Zerstreuung des Lichtes stattfände? — 9. Inwiefern kann man sagen, daß durch die Atmosphäre die Tage verlängert werden? — 10. Welchen Einfluß übt die

geogr. Lage eines Ortes hierauf aus? Grund! — 11. Welche Unterschiede zeigen Licht und Schatten bei klarem und bei bewölktem Himmel? — 12. In unseren Wohnzimmern ist bisweilen eine Ersch. wahrzunehmen, aus welcher man schliessen kann, daß Sonnenstrahlen durch Staubteilchen zurückgeworfen werden. Welche Ersch.? — 13. Wenn nach andauernder Dürre starker Regen eintritt und der Himmel bald darauf klar wird, so erscheint der Horizont schärfer begrenzt, und die Gegensätze zwischen Licht und Schatten treten stärker hervor als sonst. Erkl.! — 14. Im Hochgebirge kommt es oft vor, daß die Firsten der Berge in hellem Glanze strahlen, während in den Thälern bereits dunkle Nacht herrscht. Erkl.!

§ 29. Brechung des Lichtes. *) Atmosphärische Strahlenbrechung.

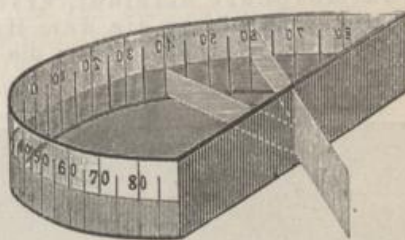
Die bekannte Erscheinung, daß ein schräg in Wasser stehender gerader Stab geknickt aussieht (Fig. 102), hat eine gewisse Ähnlichkeit mit den durch Spiegelung hervorgerufenen Erscheinungen. Denn man sieht den eingetauchten Teil des Stabes an einer anderen Stelle, als an welcher er sich wirklich befindet, wie in einem Spiegel die vor demselben befindlichen Gegenstände an Orten erscheinen, wo sie in Wirklichkeit nicht vorhanden sind. Da nun Spiegelbilder dadurch entstehen, daß die von den Gegenständen ausgehenden Lichtstrahlen in veränderter Richtung in unser Auge gelangen, so liegt der Gedanke nahe, daß auch jene Erscheinung durch eine Richtungsänderung derjenigen Strahlen hervorgerufen werde, welche von dem gebrochen erscheinenden Teile des Stabes aus in unser Auge gelangen. Dies wird durch folgenden Versuch bestätigt:

Fig. 102.



Versuch. Läßt man in ein halb mit Wasser gefülltes, halbkreisförmiges Glasgefäß (Fig. 103), dessen gebogene Wand matt geschliffen

Fig. 103.



und dessen ebene Wand bis auf einen schmalen Spalt undurchsichtig ist, etwa von einer Kerzenflamme Lichtstrahlen eindringen, so entsteht auf dem Gradbogen in und über dem Wasser ein heller Lichtstreifen. Beide Streifen liegen geradlinig übereinander, wenn die Strahlen rechtwinklig einfallen; sie entfernen sich jedoch umsomehr voneinander, je schräger man die Strahlen einfallen läßt, und zwar bleibt der untere Lichtstreifen dabei hinter dem oberen zurück.

Lichtstreifen werden demnach bei schrägem Eintritte aus Luft in Wasser nach dem Einfallslot hin abgelenkt. — Denkt man sich, aus dem Wasser gingen Lichtstrahlen (in der Richtung des unteren hellen Streifens der Figur) durch den Spalt nach aufsen, so würden sie beim Übergange in die Luft umgekehrt vom Einfallslot weg abgelenkt werden. (Wende dies auf Fig 102 an.)

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 98 u. ff.

Die Ablenkung, welche Lichtstrahlen erleiden, wenn sie aus einem Mittel in ein anderes übergehen, nennt man **Brechung**. — Die beiden Winkel, welche der einfallende und der gebrochene Strahl mit dem Einfallslot bilden, werden als **Einfallswinkel** und **Brechungswinkel** bezeichnet. — Versuche über Lichtbrechung lehren allgemein:

Gehen Lichtstrahlen aus einem Mittel in ein anderes über, so werden sie von ihrer ursprünglichen Richtung um so stärker abgelenkt, je schräger sie die Trennungsfläche beider Mittel treffen; senkrecht einfallende Strahlen erleiden keine Brechung.

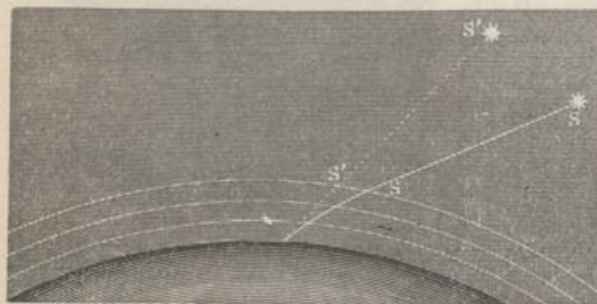
Die Lichtbrechung erfolgt wie die Zurückwerfung des Lichtes gesetzmäßig:

1. Der gebrochene Strahl liegt in derselben Ebene, in welcher der einfallende Strahl und das Einfallslot liegen. 2. Beim Übergange in ein dichteres Mittel werden Lichtstrahlen nach dem Einfallslot hin, beim Übergange in ein dünneres Mittel vom Einfallslot weg gebrochen.

Ob ein Stoff für den Durchgang von Lichtstrahlen als dichter (optisch dichter) zu bezeichnen ist, läßt sich nicht immer nach dem spec. Gewichte beurteilen. So wird das Licht z. B. durch Glas stärker gebrochen als durch Wasser und durch Wasser stärker als durch Luft; Wasser vermag jedoch die Lichtstrahlen nicht so stark zu brechen als manche andere (brennbare) Flüssigkeiten, wie z. B. Weingeist und Öle, obgleich diese Stoffe specifisch leichter sind als Wasser. Manche brennbare Flüssigkeiten brechen das Licht sogar noch stärker als gewöhnliches Glas, z. B. Schwefelkohlenstoff. — Durch die Luft wird das Licht um so stärker gebrochen, je dichter sie ist.

Durch die Brechung, welche das Licht der Gestirne in der Erdatmosphäre erleidet, erscheinen uns die Gestirne um so mehr gehoben, je näher sie dem Horizonte stehen (**atmosphärische Strahlenbrechung**, (Fig. 104). Indem die Lichtstrahlen aus dem Weltraum in die Erd-

Fig. 104.



atmosphäre eintreten, werden sie nach dem Einfallslot hin gebrochen. Da nun die Dichtigkeit der Luft nach der Erdoberfläche hin allmählich zunimmt, so wiederholt sich die Brechung unzählige Male. Aus dem geraden Lichtstrahl wird somit ein gekrümmter Strahl, welcher seine hohle Seite der Erde zuwendet. Wird unser Auge von solchen Strahlen getroffen, so erblicken wir das Gestirn in der geradlinigen Verlängerung des in das Auge fallenden Strahlenteiles, mithin an einem höheren Punkte (S_1), als an welchem es sich befindet. Je schräger die Strahlen in die Atmosphäre einfallen, um so mehr erscheint demnach das Gestirn gehoben. — Hierdurch wird der Aufgang der Sonne ein wenig verfrüht, der Untergang verspätet, die Tagesdauer also ein wenig verlängert. Diese Verlängerung

über das K. Licht die das Ric Erk Mün heb 7. sei sich star wer dec We von tret dar nac Fis bea

betr
rere
Hor
der
der

atn
So
Mei
von
gew
Hor
Luft
dah
dies
der
gefü

ch u
uns
es v
dure
näh
dari
geh
sich
Fu
es i
der

dun
sche

über
das
and
K.
Lich
die
das
Ric
Erk
Mün
heb
7.
sei
sich
star
wer
dec
We
von
tret
dar
nac
Fis
bea

beträgt in unseren Gegenden nur einige Minuten, in den Polargegenden sogar mehrere Tage. Sonne und Mond erscheinen infolge der Strahlenbrechung dicht am Horizonte nicht vollständig kreisrund, sondern von oben nach unten abgeplattet, da der untere Rand dieser Himmelskörper mehr gehoben wird als der obere, während der wagerechte Durchmesser derselbe bleibt.

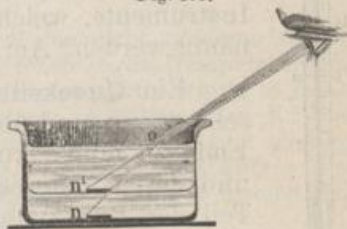
Weit entfernte irdische Gegenstände erscheinen infolge der atmosphärischen Strahlenbrechung bisweilen auffällig gehoben. So sieht man z. B. bei Hastings (spr. Hehstings) in England zuweilen die über zehn Meilen entfernte französische Küste, bei Reggio (spr. Redscho) in Calabrien die Küste von Sicilien mit in der Luft schwankenden Palästen, Ruinen u. dgl., während bei gewöhnlicher Luftbeschaffenheit diese Küsten nicht sichtbar sind, da sie unter dem Horizont liegen. Derartige Erscheinungen, welche mit plötzlichem Wechsel der Luftzustände sich oft zauberhaft schnell ändern, wurden einer Fee zugeschrieben, daher ihr Name: *Fata morgana*; an der deutschen Nordseeküste bezeichnet man diese Wirkungen der atmosphärischen Strahlenbrechung als *Kimmung*. — Wegen der atm. Strahlenbrechung ist für alle hohen Punkte der Erde die Sehweite ungefähr $\frac{1}{15}$ größer, als sie bei geradliniger Fortpflanzung der Lichtstrahlen sein würde.

Außer den bereits angeführten erklären sich aus der Brechung des Lichtes noch zahlreiche andere Täuschungen. So scheint uns z. B. jedes klare Gewässer, dessen Boden wir sehen können, flacher zu sein, als es wirklich ist; Kähne und Schiffe erscheinen, von aufsen durch das Wasser hindurch betrachtet, weniger tief, als sie sind; Fische scheinen dem Wasserspiegel näher zu sein u. s. w. Bewegt sich die Oberfläche eines Gewässers, so scheinen die darin befindlichen Gegenstände zu schwanken. Über einem offenen Feuer, stark geheizten Öfen u. dgl. scheint die Luft zu zittern; an heißen Sommertagen zeigt sich diese Erscheinung bisweilen auch über Dächern und dürrem Boden. Auch das Funkeln oder Zittern der Fixsterne hat seinen Grund in der Strahlenbrechung; es ist besonders stark bei gewissen Luftzuständen und bei solchen Sternen, die in der Nähe des Horizontes stehen.

Im täglichen Leben findet die Lichtbrechung eine sehr nützliche Anwendung bei den Instrumenten, welche den Zweck haben, das Sehvermögen des Menschen zu erhöhen (Brillen, Vergrößerungsgläser, Fernrohre u. dgl.).

Übungstoff. 1. Worin stimmen Brechung und Reflexion des Lichtes überein, und wodurch unterscheiden sie sich? — 2. Woraus kann man schließen, daß von den auf W. fallenden Sonnenstrahlen ein Teil zurückgeworfen wird, ein anderer aber in das W. eindringt? — 3. Aus der Sichtbarkeit im W. untergetauchter K. läßt sich schließen, daß wenigstens ein Teil des in das W. eingedrungenen Lichtes wieder zurückkommt; inwiefern? — 4. Wird die Richtung der schräg gegen die Wasseroberfläche fallenden Strahlen eine steilere oder flachere, wenn letztere a. in das W. eintreten, b. aus dem W. austreten, und wovon hängt die Stärke dieser Richtungsänderung ab? — 5. Welche Ersch. stellt Fig. 105 dar? (n sei eine Münze.) Erkl.! — 6. Das Gefäß werde bei Betrachtung der Münze a. mit W. gefüllt, b. etwa mit einem Saugheber wieder geleert. Wie ändert sich die Ersch.? — 7. Der Boden jenes Gefäßes bestehe aus Glas und sei bis auf eine kleine Öffnung aufsen mit undurchsichtigem Papier beklebt; das W. sei durch Kreidestaub, einige Tropfen Milch, Seife oder dergl. ein wenig getrübt, und der durch ein Blatt Papier verdeckte Raum über dem W. enthalte ein wenig Rauch. Welche Ersch. würde sich dann zeigen, wenn man von unten recht helles Lampenlicht in das W. eintreten ließe? — 8. Angenommen, das Gefäß, Fig. 103, werde zunächst mit W. und darauf mit Weingeist oder Terpentinöl gefüllt. Welche Ersch. wird man dann nach dem spec. Gew. dieser Flgkn. leicht erwarten, und welche treten ein? — 9. Um nach dem spec. Gew. dieser Flgkn. leicht zu stechen oder zu greifen, muß die Lichtbrechung im W. zu schiefen, zu stechen oder zu greifen, muß die Lichtbrechung im W. zu beachten werden; inwiefern ist hierbei a. auf die Richtung, b. auf die Tiefe, in wel-

Fig. 105.



cher man die Fische im W. sieht, Rücksicht zu nehmen? — 10. Wie werden die Räder eines etwa bis an die Achsen in ruhigem und klarem W. stehenden Wagens aussehen, wenn man sie von der Seite betrachtet, u. w.? — 11. Welche Änderung wird man wahrnehmen können an der Gestalt der Hand, wenn man sie senkrecht in W. taucht, am ganzen K., wenn man beim Baden immer tiefer ins W. hineingeht? Erkl.! — 12. Wie muß ein auf die Erde gelangender Sonnenstrahl die Atm. treffen, um seine ursprüngliche Richtung beizubehalten? — 13. Angenommen, es sollte der Winkel gemessen werden, welchen eine gerade Linie, die man sich vom Auge bis zu einem Stern gezogen denkt, mit der Horizontalen bildet. Inwiefern ist hierbei die Größe des durch die Lichtbrechung entstehenden Beobachtungsfehlers von der Stellung des Gestirns abhängig?

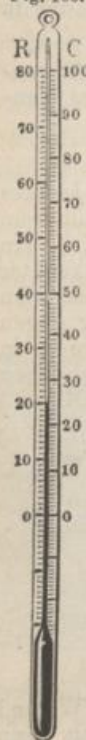
V. Abschnitt.

Von der Wärme.

A. Wirkungen der Wärme.

§ 30. Wärmeempfindung. Thermometer.*) Mitteilung der Wärme.

Fig. 106.



Wenn man einen festen Körper berührt, so hat man außer dem Gefühle, daß er hart oder weich, rauh oder glatt u. s. w. ist, häufig noch eine andere Empfindung, nach welcher man den Körper als heiß, warm, kühl oder kalt bezeichnet. Dieselbe Empfindung können auch flüssige und luftförmige Körper in uns hervorrufen: wir sprechen z. B. von warmem und kaltem Wasser, von warmer und kalter Luft.

Die nicht wahrnehmbare Ursache, durch welche diese Empfindungen in uns hervorgerufen werden, heißt Wärme.

Wie warm oder kalt ein Körper ist, läßt sich durch das Gefühl nur annähernd richtig beurteilen. Tauchen wir z. B. die Hand in lauwarmes Wasser, so erscheint uns dasselbe warm, wenn die Hand kälter, hingegen kalt, wenn sie wärmer war als das Wasser. Zur genauen Bestimmung des Wärmegrades dienen Instrumente, welche Thermometer¹⁾ oder Wärmemesser genannt werden. Am gebräuchlichsten sind Quecksilberthermometer.

Ein Quecksilberthermometer (Fig. 106) besteht aus einer sehr engen und überall gleichweiten Glasröhre, welche an einem Ende zu einem kugeligen oder cylindrischen Gefäße aufgeblasen und deren anderes Ende zugeschmolzen ist. Das Gefäß und ein Teil der Röhre sind mit Quecksilber gefüllt, der übrige Teil der Röhre ist luftleer. Auf oder neben der Röhre (auf Holz, Metall oder dergl.) befindet sich zum Ablesen des Wärmegrades eine

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 117.

¹⁾ θερμός (thermos), Wärme.