

Lücke getreten war. Drehte man aber das Rad so rasch, daß die Zeit eines Hin- und Herganges der Lichtstrahlen genau der Zeit entsprach, in der ein Zahn an Stelle der vorangehenden Lücke trat, so verschwand der Lichtpunkt. Bei einem Rad mit 720 Zähnen und 720 Lücken geschah dies bei 12,5 Umläufen in 1 Sekunde. Diese Zeit betrug somit  $\frac{1}{1440 \cdot 12,5} = \frac{1}{18000}$  Sekunde; in dieser Zeit legte das Licht die Entfernung  $16\frac{2}{3}$  km zurück, woraus sich eine Geschwindigkeit zu  $18000 \cdot 16\frac{2}{3} = 300000$  km ergab.

## B. Reflexion des Lichtes (Katoptrik).

§ 110. **Allgemeine Gesetze der Reflexion.** Körper mit rauhen Oberflächen zerstreuen das auf sie fallende Licht nach allen Seiten und werden dadurch selbst sichtbar (z. B. Mond, Planeten etc.). Ihnen gegenüber stehen die Spiegel, glatte Flächen, welche ein Bild des lichtaussendenden Körpers entwerfen. Unter Bild eines Punktes versteht man nämlich den Punkt, an dem die von jenem ausgehenden Lichtstrahlen sich wieder vereinigen. Da nun ein Gegenstand aus vielen Punkten zusammengesetzt gedacht werden kann, ist die Größe seines Bildes durch die Bilder seiner äußersten Punkte bestimmt. Wenn sich nun die Lichtstrahlen wirklich vor dem Spiegel schneiden, so daß das Bild auch objektiv nachzuweisen ist, indem man es z. B. auf einem Schirm auffängt, so heißt es reell. Vereinigen sich aber die Strahlen nicht wirklich, sondern liegt der Punkt, von dem sie scheinbar ausgehen, hinter dem Spiegel, so heißt das Bild virtuell oder imaginär. Ein solches, wie es z. B. Planspiegel liefern, kann man natürlich nicht auffangen. Reelle Bilder sind stets umgekehrt, virtuelle aufrecht. Betreffs der Spiegel sei noch bemerkt, daß die gewöhnlichen Spiegel so hergestellt werden, daß eine Glasplatte auf der Rückseite mit einer Schicht von Zinnamalgam belegt wird. Weil aber sowohl an dieser wie an der Vorderfläche Reflexion stattfindet, sind die Metallspiegel vorzuziehen. — Die Hauptsätze der Reflexion sind noch einmal folgende [cf. § 63]:

1) Einfallender Strahl, Einfallslot und reflektierter Strahl liegen in einer Ebene.

2) Der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.

§ 111. **Planspiegel.** Ebene spiegelnde Flächen erzeugen Bilder, die dem Gegenstand symmetrisch sind und so weit hinter dem Spiegel liegen, wie der Gegenstand vor ihm. Dieselben sind also virtuell

<sup>1</sup> *virtus* Kraft, Wirkung; also Phänomene, die wie Bilder wirken, ohne durch Vereinigung von Lichtstrahlen entstanden zu sein.



Ein Auge in  $c$  (Fig. 66) erblickt den Gegenstand  $a$ , wenn es in die Richtung  $cb$  sieht, und zwar in  $a'$ . Aus derselben Figur geht auch hervor, daß beim Planspiegel die gegenseitige Lage der Lichtstrahlen nicht geändert wird. Divergierende Strahlen z. B. bleiben divergent.

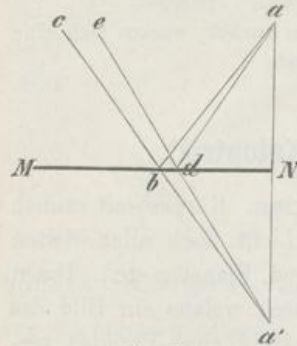


Fig. 66.

Anwendung finden Planspiegel, um Lichtstrahlen eine andere Richtung zu geben. Man kann durch sie „um die Ecke“ sehen. Ihre Verwendung zu den wichtigen Spiegelablesungen beruht darauf, daß die Winkelgeschwindigkeit des reflektierten Strahls doppelt so groß ist wie die des Spiegels selbst. Ist also z. B. an einer Magnetnadel ein kleiner Spiegel befestigt, auf den Licht fällt, so lassen sich auch kleine Ausschläge durch die doppelt so großen Exkursionen des reflektierten Strahls leicht erkennen.

Es sei (Fig. 67)  $MN$  die ursprüngliche Lage des Spiegels,  $ab$  der einfallende,  $bc$  der reflektierte Strahl,  $bd$  das Einfallslot. Wird  $MN$  um  $\varphi$  in die neue Lage  $M'N'$  gedreht, so bewegt sich das Einfallslot um  $\angle \delta = \varphi$ , der reflektierte Strahl um  $\angle \gamma$ . Bezeichnet man  $\angle abc$  mit  $\alpha$ , so ist  $\angle \delta = \angle abd$

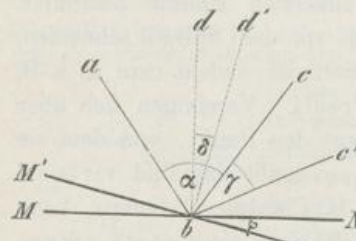


Fig. 67.

—  $\angle abd = \frac{\alpha + \gamma}{2} - \frac{\alpha}{2} = \frac{\gamma}{2}$ .

Ähnlich ist das Prinzip des Spiegelsextanten, welcher dazu dient, den Winkel zu messen, den 2 Gegenstände mit dem Auge des Beobachters bilden, ohne daß dieser fest zu stehen braucht. Er ist daher z. B. unentbehrlich für die See.

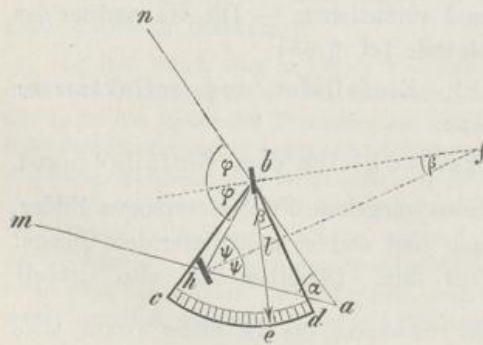


Fig. 68.

Es seien z. B.  $m$  und  $n$  (Fig. 68) zwei Sterne, deren Schwinkel  $\alpha$  gemessen werden soll.  $m$  kann von dem Auge in  $a$  über den feststehenden,  $bd$  parallelen, Spiegel  $h$  hinweg direkt gesehen werden. Dann wird der Zeiger  $be$  und zugleich auch der an ihm bei  $b$  befestigte Spiegel so gedreht, daß die von  $n$  ausgehenden Strahlen nach zweimaliger Reflexion an den Spiegeln in  $b$  und  $h$  ebenfalls nach



$a$  gelangen. Der an der Skala  $cd$  direkt ablesbare Winkel  $\beta$ , den der Zeiger dabei zurückgelegt hat, ist nun gleich der Hälfte des gesuchten Schwinkels  $\alpha$ . Errichtet man nämlich in  $b$  und  $h$  die Einfallslote und verlängert sie bis zum Schnittpunkte in  $f$ , so ist zunächst  $\angle hfb = \beta$ , weil beide  $\angle flb$  zu einem Rechten ergänzen. Ferner ist  $\angle \varphi = \beta + \psi$ ,  $\angle 2\varphi = \alpha + 2\psi$ . Daraus folgt  $\alpha = 2\beta$ .

§ 112. **Sphärische Spiegel.** Den Planspiegeln stehen die gekrümmten gegenüber, die entweder konkav (Hohlspiegel) oder konvex sind. Hier sollen nur die kugelförmig gekrümmten betrachtet werden. Der Mittelpunkt  $c$  (Fig. 69) der Kugel, zu welcher ein solcher Spiegel vervollständigt werden kann, heißt geometrischer oder Krümmungsmittelpunkt, die Mitte  $o$  der spiegelnden Fläche optischer Mittelpunkt oder Scheitel, die Verbindungslinie beider Hauptachse. Zieht man von den Punkten, in denen zwei Strahlen den Spiegel treffen, die Radien, so heißt der Winkel zwischen diesen die Öffnung (Apertur) des Spiegels. Jeder Strahl, der durch den geometrischen Mittelpunkt geht, also auch die Hauptachse, heißt Hauptstrahl und wird in sich selbst reflektiert, weil er ja als Radius senkrecht auf dem betreffenden Teil des Spiegels steht. Alle Strahlen parallel der Hauptachse, gehen nach der Reflexion durch den sog. Brennpunkt (focus)  $f$ , der in der Mitte zwischen optischem und geometrischem Mittelpunkte liegt. Mittels dieser beiden Sätze lassen sich alle Bilder konstruieren. Bezeichnet man nun die Entfernung eines Gegenstandes vom Spiegel mit  $a$ , die seines Bildes mit  $b$ , die des Brennpunkts (die sog. Brennweite) mit  $f$ , so gilt ganz allgemein das Gesetz:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

d. h. die Größe des Bildes verhält sich zu der des Gegenstandes wie die Bildweite zur Gegenstandsweite.

§ 113. **Bilder der Konkavspiegel.** Aus dem Spiegelgesetz ergibt sich sofort, daß das Bild eines unendlich fernen Gegenstandes im Brennpunkte liegen muß. Denn dann ist  $\frac{1}{\infty} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ , folglich  $b = f$ . Daraus folgt, daß Hohlspiegel als Brennspiegel wirken können, indem sie die Strahlen der Sonne im Brennpunkte konzentrieren. Umgekehrt hat ein Gegenstand im Brennpunkt sein Bild in der Unendlichkeit, d. h. die von ihm ausgehenden Strahlen verlassen

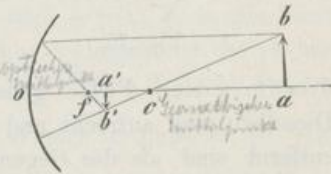


Fig. 69.



den Spiegel nach der Reflexion in paralleler Richtung. Hierauf beruht die Anwendung von Hohlspiegeln in Leuchttürmen etc. Ist der Gegenstand zwischen Unendlichkeit und geometrischem Mittelpunkt, so liegt das Bild zwischen diesem und dem Brennpunkte. Auch hier ist wieder die Umkehrung möglich. Überhaupt sind Bild- und Gegenstand einander stets konjugiert<sup>1</sup>, d. h. sie können miteinander vertauscht werden. Ist der Gegenstand im geometrischen Mittelpunkte, so muß auch das Bild dort liegen. In diesen fünf ersteren Fällen handelt es sich stets um reelle Bilder, deren Größe nach dem oben Gesagten leicht zu finden ist. Es zeigt sich, daß je näher der Gegenstand an den Spiegel heranrückt, das Bild sich

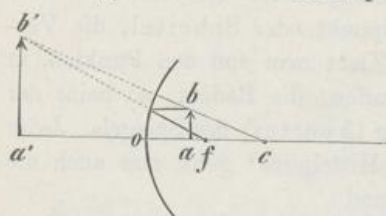


Fig. 70.

um so weiter entfernt. Rückt nun der Gegenstand in die Brennweite hinein, liegt er also zwischen Spiegel und Brennpunkt, so muß das Bild gewissermaßen über die Unendlichkeit hinausgehen, d. h. es wird negativ und erscheint auf der anderen Seite des Spiegels. In diesem einen Falle geben also Hohlspiegel virtuelle Bilder. Dieselben sind aufrecht und vergrößert, da sie ja weiter vom Spiegel entfernt sind als der Gegenstand (Fig. 70). Darauf beruht die Anwendung von Hohlspiegeln als Barbierspiegel etc.

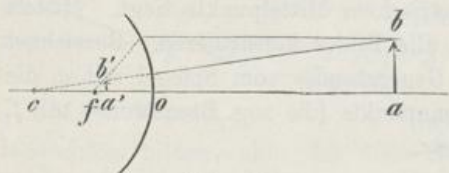


Fig. 71.

hier Bild- und Brennweite negativ sind, so nimmt das Spiegelgesetz die Form an  $\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = -\frac{1}{f}$ , oder anders geschrieben

$$\frac{1}{b} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f}$$

Daraus folgt  $b < a$ , d. h. das Bild ist stets dem Spiegel näher als der Gegenstand, mithin auch kleiner.

<sup>1</sup> *conjungo* mit einander verbinden.

#### § 114. Bilder der Konvexspiegel.

Konvexspiegel erzeugen stets virtuelle, aufrechte, verkleinerte Bilder (Fig. 71), die um so kleiner sind, je weiter der Gegenstand vom Spiegel entfernt ist. Da