Erster Abschnitt.

Meßkunde.

§ 1. Längenmessung.

Längeneinheit. Um die Messungsergebnisse, also die Maßzahlen der Längenmessung, auch dann vergleichen zu können, wenn die Messungen von verschiedenen Personen ausgeführt worden sind, ist man übereingekommen, allerorts dieselbe Längeneinheit zugrunde zu legen. Als solche dient die Länge des **Urmeters**, eines im Bureau der Maße und Gewichte im Pavillon de Breteuil auf der Höhe von St. Cloud in der Nähe von Sèvres bei Paris aufbewahrten Stabes aus einer Legierung von 90% Platin und 10% Iridium von der in Fig. 1 abgekürzt gezeichneten Form. Auf der in der Figur mit *ab* bezeichneten Fläche auf dem Grunde der Rinne sind zwei feine Striche eingerissen (**Strichmaßstab**), deren Abstand bei der Temperatur 0° C „ein Meter" (1 m) ist.

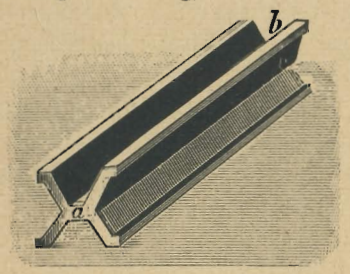

Fig. 1. Form des Normalmetermaßes.

Im März 1791 setzte die französische Nationalversammlung eine Kommission ein, der die bedeutendsten Mathematiker und Physiker Frankreichs angehörten, mit dem Auftrage, ein neues Maß- und Gewichtssystem in Vorschlag zu bringen. Diese Kommission beschloß, den vierzigmillionten Teil des durch die Pariser Sternwarte gehenden Meridians als Längeneinheit zu wählen. Zu dem Zwecke wurde eine Messung des zwischen Dünkirchen und Monjuich bei Barcelona liegenden Bogens dieses Meridians mit den damals besten Hilfsmitteln ausgeführt, und diese Messung wurde der neuen Längeneinheit zugrunde gelegt. Spätere, noch genauere Messungen, die von Bessel[1]) ausgeführt wurden, ergaben, daß die Länge des Erdquadranten, nach dem festgesetzten Meter gemessen, 10000856 m beträgt, daß also das von der französischen Kommission festgesetzte Meter um 0,0856 mm zu kurz ist, wenn man die ursprüngliche Absicht beibehalten wollte, der neuen Längeneinheit den zehnmillionten Teil des Erdquadranten zu geben. Man hat trotzdem die Länge des von der französischen Kommission angenommenen Meterstabes als Längeneinheit beibehalten, da es natürlich ganz unmöglich ist und zwecklos wäre, nach jeder genaueren Erdmessung wieder eine andere Längeneinheit einzuführen.

Alle im Gebrauche befindlichen Meterstäbe sind mittelbar mit dem Urmeter verglichen worden. Um dieses zu ermöglichen, hat man eine Anzahl von Stäben

1) Friedr. Wilh. Bessel, 1784—1846, ursprünglich Kaufmann in Bremen, dann Prof. der Astronomie in Königsberg, der durch peinlich genaue Messungen und überlegene theoretische Betrachtungsweisen führende Astronom des damaligen Deutschlands.

aus demselben Materiale und von derselben Form wie das Urmeter und von möglichst genau gleicher Länge mit den vollkommensten Hilfsmitteln hergestellt und ihre Längenabweichung durch wiederholtes, sorgfältiges Vergleichen mit dem Urmeter ausgemessen. Dann sind die Kopien an die einzelnen Kulturstaaten verteilt worden. Sie dienen in diesen Staaten als Normale der Längeneinheit. Das bei der Verteilung an Deutschland gekommene Normalmeter führt die Nummer 18 und wird in Charlottenburg aufbewahrt. Die möglichst sorgfältig hergestellten Kopien der Normalen sind an die Eichämter verteilt worden, deren Aufgabe es ist, die Länge der Gebrauchsmaßstäbe durch direktes oder indirektes Vergleichen mit den ihnen amtlich gelieferten Normalen zu prüfen.

Das Meter wird nach dem Dezimalsysteme in 10 Dezimeter (dm), 100 Zentimeter (cm), 1000 Millimeter (mm) eingeteilt. Dort, wo noch kleinere Maßeinheiten erwünscht sind, nimmt man wieder Dezimalteile des Millimeters als Maßeinheit. Der tausendste Teil eines Millimeters heißt Mikron, es wird mit μ bezeichnet, der millionte Teil eines Millimeters ist ein Millimikron ($1\ \mathrm{m}\mu = 10^{-6}$ mm). Für größere Längen verwendet man als Maßeinheit das Kilometer (1 km = 1000 m).

Als Flächeneinheit dient das Quadratmeter, d. i. ein Quadrat, dessen Seitenlänge 1 m beträgt. Es wird amtlich mit qm, in der Physik und in der Technik mit m^2 bezeichnet; die 10^4 mal so kleine Einheit ist das Quadratzentimeter (cm^2).

Die Volumeneinheit ist das Kubikmeter (cbm = m^3), d. i. ein Würfel, dessen Kantenlänge 1 m beträgt, der 10^6te Teil der Einheit ist das Kubikzentimeter (cm^3).

§ 2. Hilfsmittel zur Ausführung einer Längenmessung.

Die einfachste Art, eine Längenmessung auszuführen, besteht darin, daß man an die zu messende Länge unmittelbar einen eingeteilten Meterstab anlegt und nun vergleicht, wievielmal der Metermaßstab oder ein Teil desselben aneinandergelegt werden muß, damit eine Länge entsteht, welche der zu messenden Länge gleich ist.

Endmaßstäbe sind Stäbe von rechteckigem Querschnitte, deren Endflächen 1 m voneinander entfernt sind.

Die Endflächen der meist aus Holz gefertigten Stäbe versieht man mit metallischen Bekleidungen (Endschuhen), um sie vor Beschädigung zu schützen. Man gibt den Endschuhen der Maßstäbe die Form einer stumpfen Schneide, von denen die eine beim flachen Auflegen des Stabes vertikal, die andere horizontal liegt. Legt man den horizontalen Endschuh des einen Maßstabes mit dem vertikalen Endschuh des in der Verlängerung des ersten Stabes liegenden zweiten Stabes zusammen, so kann man die Stäbe mit großer Genauigkeit ohne Zwischenraum aneinanderlegen (Fig. 2).

Fig. 2. Endmaßstäbe.

Zusammenstellbare Endmaße. Um in einfachster Weise, zugleich aber mit einer sehr hohen Genauigkeit besonders Maschinenteile auf ihre vorgeschriebenen Maße prüfen zu können, sind in den letzten Jahren die sog. zusammenstell-

baren Endmaße hergestellt worden. Sie sind eine Erfindung der Aktiengesellschaft von C. E. Johansson[1]) und haben rasch eine große Bedeutung erlangt. Die Endmaße bestehen aus einer Anzahl von Einzel-Endmaßen aus Stahl mit parallelen Endflächen, die sich zu beliebigen Maßwerten vereinigen lassen. Zu diesem

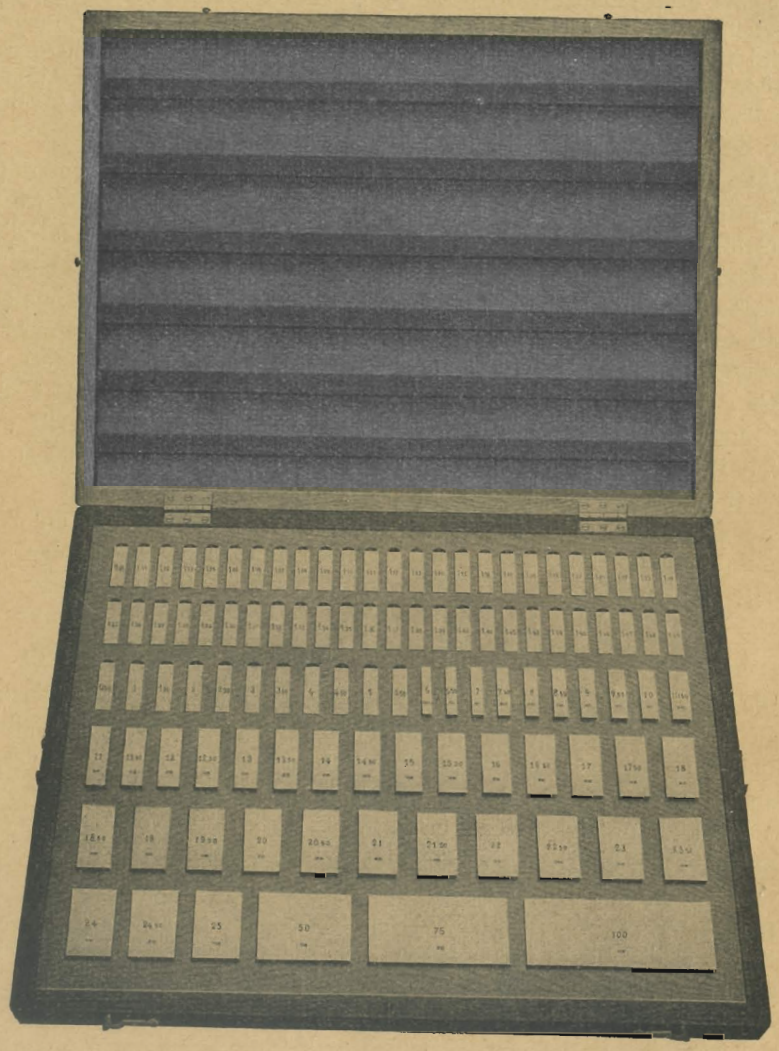

Fig. 3. Zusammenstellbare Endmaße von C. E. Johansson.

Zwecke sind die Maße in Gruppen eingeteilt, von denen jede eine Reihe von Maßgrößen bestimmter Abstufung darstellt. Die 103 Endmaße des gebräuchlichen Endmaßsatzes Nr. 2 — wir folgen den Mitteilungen der Firma Schuchardt & Schütte

1) In Eskilstuna in Schweden.

in Berlin, welche den Vertrieb der Johanssonschen Endmaße hat — sind z. B. in folgende Gruppen eingeteilt:

1. Gruppe	49	Endmaße	1,01—	1,49	mm um	0,01	mm	abgestuft,
2. „	49	„	0,50—	24,50	„ „	0,50	„	„
3. „	4	„	25	—100	„ „	25	„	„

1 Endmaß 1,005 mm.

Fig. 3 gibt uns den Anblick des Endmaßsatzes in dem zugehörigen Kasten.

Es ist mit dem Normalsatze möglich, jeden beliebigen Maßwert innerhalb 0,01 mm, oder mit Hilfe des Endmaßes 1,005 mm innerhalb 0,005 mm durch Zusammenstellen von Endmaßen der verschiedenen Gruppen als festes Endmaß darzustellen.

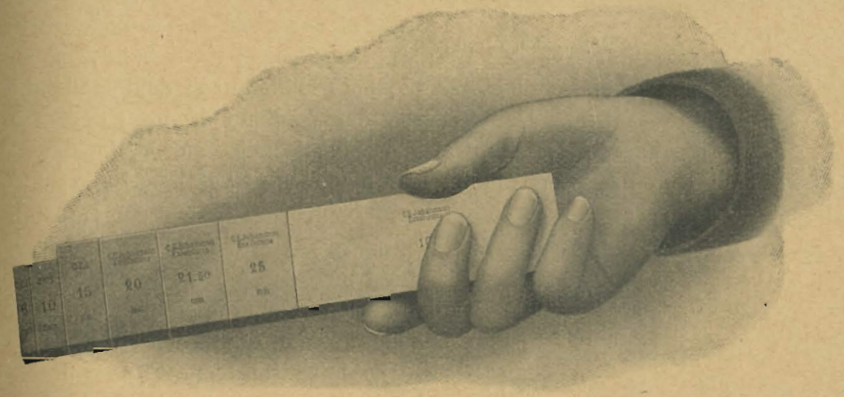

Fig. 4. Zusammenstellung aneinander haftender Endmaße.

Die Meßflächen aller Endmaße sind dabei so eben und so vollkommen parallel, daß durch bloßes Andrücken die Einzelmaße fest aneinanderhaften und sich so zu einem einzigen zusammengestellten Endmaße vereinigen. Fig. 4 zeigt eine solche Zusammenstellung. Bei Zusammenstellungen, die aus 4 bis 5 Endmaßen bis zu 100 mm Gesamtlänge gebildet werden, wird eine größte Abweichung von nicht mehr als 0,001 mm verbürgt, der wirkliche Längenfehler soll aber meist erheblich unter diesem Grenzwerte bleiben. Um das zu erreichen, müssen die Einzelendmaße selbst mit einer sehr viel höheren Genauigkeit geschliffen sein. Der Erfinder C. E. Johansson teilt mit, daß er sogar einen Endmaßsatz hergestellt habe, von dem jedes Einzelmaßstück $^1/_{1000000}$ engl. Zoll (etwa $^1/_{40000}$ mm) dicker sei als das unmittelbar vorangehende, und daß die Genauigkeit, mit der die Endmaße dieses Satzes ausgeführt seien, 1 bis 2 Millionstel Millimeter beträgt.

Meßketten und Stahlbandmaße. Längen von 50 m und mehr werden mit Meßketten gemessen. Das sind Ketten, deren einzelne Kettenglieder gewöhnlich 20 cm lang sind, und deren Gesamtlänge 10 m, 20 m oder auch 50 m beträgt. In neuerer Zeit werden statt der Ketten meistens lange Stahlbandmaße benutzt (Fig. 5).

Schublehre. Die Schublehre (Fig. 6) dient besonders zur Messung der Dicke eines Körpers. Sie besteht aus einem Zentimetermaß M mit einem rechtwink-

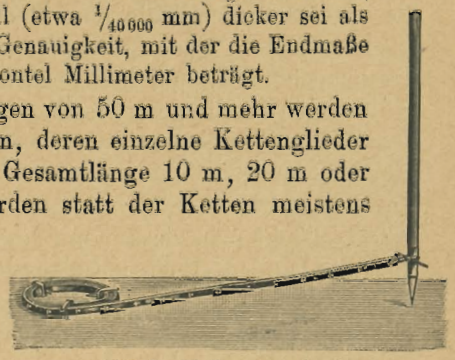

Fig. 5. Meßkette mit Stock.

ligen Ansatzstücke *A*. An dem Maßstabe ist ein Schieber *N* mit dem Ansatzstücke *B* angebracht. Wenn der Schieber so weit vorgeschoben ist, daß sich die beiden Ansätze *A* und *B* vollständig berühren, so muß eine auf dem Schieber angebrachte Marke auf Null zeigen. Bringt man zwischen den Schieber und das Ansatzstück den zu messenden Körper, so kann man seine Dicke an der Zentimeterteilung ablesen.

Spiegelmaßstäbe. Wenn man einen Maßstab nicht unmittelbar mit den Flächen des zu messenden Körpers in Berührung bringen kann, so muß man an den Endflächen entlang nach dem Maßstabe visieren. Der Abstand der Endflächen des Körpers kann aber nur dann an dem Maßstabe genau abgelesen werden, wenn die Visierlinien selbst auf dem Maßstabe senkrecht stehen. Beim schrägen Visieren tritt eine scheinbare Verschiebung des Körpers gegen den Maßstab ein (Parallaxe).[1]) Um die Parallaxe zu vermeiden, legt man den Maßstab und den Körper auf einen Spiegel (Fig. 7) und visiert so an den Endflächen des Körpers vorbei, daß sich das Spiegelbild der Pupille des beobachtenden Auges mit der Endfläche des Körpers deckt. Auch bringt man wohl den Maßstab unmittelbar auf einem Spiegel an oder hinterlegt den Maßstab mit einem Spiegel.

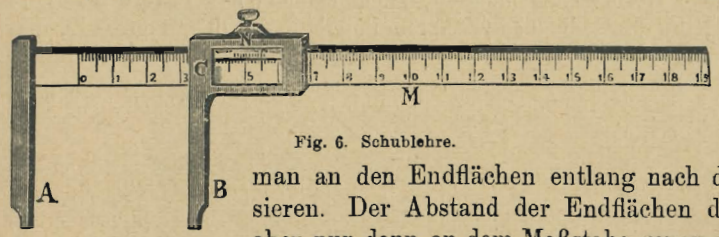

Fig. 6. Schublehre.

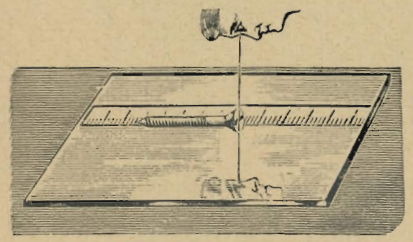
Fig. 7. Spiegelmaßstab.

Kathetometer.[2]) Das Kathetometer (Fig. 8) dient zur Messung lotrechter Längen. Es besteht aus einer lotrecht stehenden prismatischen Säule, die mit einer Zentimeterteilung versehen ist. Längs der Säule kann man ein Fernrohr mit wagerechter Achse auf- und abschieben. Man beobachtet nun durch das mit einem Fadenkreuze versehene Fernrohr erst das eine, z. B. das obere Ende der zu messenden Höhe und liest die Stellung des Fernrohres an der Säule ab. Dann verschiebt man das Fernrohr so lange, bis das andere Ende der zu messenden Höhe mit dem Fadenkreuze zur Deckung kommt, und liest an der Teilung wieder ab. Der Unterschied der Ablesungen ist die gesuchte Höhe.

Schraubenmikrometer.[3]) Das Schraubenmikrometer (Fig. 9) hat die Form einer Schraubenzwinge. Die Schraube hat meistens eine Ganghöhe von 1 mm. Dreht man die Schraube einmal herum, so bewegt sie sich um 1 mm vorwärts. Dreht man sie nur um einen Bruchteil einer Umdrehung, so bewegt sich das vordere Ende um denselben Bruchteil eines Millimeters vorwärts.

1) pará (griech.) = neben, allásso (griech.) = ich ändere.
2) katá (griech.) = herab, hetós (griech.) = gesendet.
3) mikrós (griech.) = klein.

Man bringt an der Schraubenspindel einen in 100 Teile geteilten Teilkreis an, der die Ablesung des 100. Teiles einer Umdrehung ermöglicht. Ist die Schraube ganz eingeschraubt, so steht die Teilung auf 0. Bringt man in das Schraubenmikrometer einen Körper, und bewegt man die Schraube so weit vorwärts, bis der Körper mit leichtem Drucke festgeklemmt ist, so kann man die Anzahl der ganzen Millimeter an einer an der Spindel angebrachten Längsteilung, die Bruchteile eines Millimeters am Teilkreise ablesen.

Eine Fehlerquelle bei der Dickenmessung mit dem Schraubenmikrometer einfachster Form besteht darin, daß es der Willkür überlassen bleibt, die Schraube mit geringerem oder größerem Drucke anzuziehen. Um diese Fehlerquelle zu vermeiden, ist bei besseren Ausführungen der drehbare Kopf mit der Schraubenspindel nicht starr verbunden, sondern greift durch einen Kranz flach geformter Zähne in einen entsprechenden Zahnkranz an der Spindelachse ein. Die beiden Zahnradanordnungen werden durch eine schwach gespannte Feder ineinandergedrückt. Übersteigt nun bei der Berührung des zu messenden Gegenstandes der Druck, mit dem man die Schraube anzieht, eine gegebene Größe, so hebt sich der Schraubenkopf aus der federnden Verbindung mit der Spindelachse heraus und

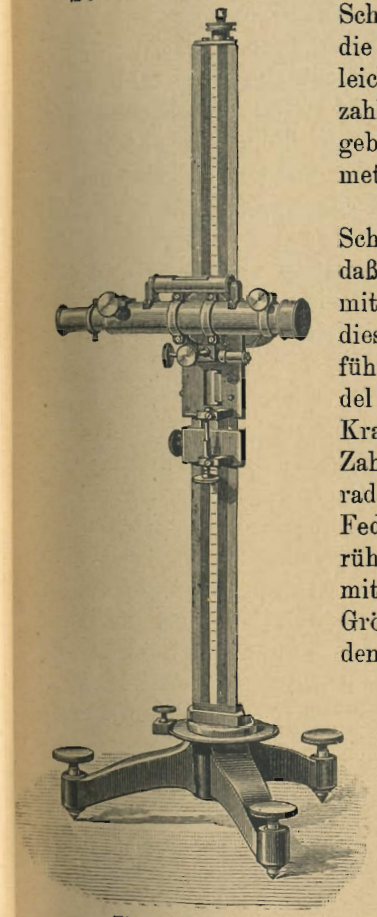
Fig. 8. Kathetometer.

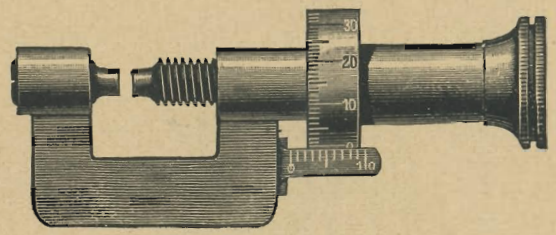
Fig. 9. Schraubenmikrometer.

dreht sich leer weiter, ohne die Spindel mitzunehmen. Man erreicht auf diese Weise, daß in jedem Einzelfalle der Körper zwischen der Schraube und dem Widerlager immer mit demselben Drucke festgeklemmt wird.

Im Wildschen Dickenmesser ist die Fehlerquelle noch vollkommener vermieden. Die Schraube ist hier (Fig. 10) lotrecht angeordnet, hat in einer Hülse *H* ihre Mutter und schiebt bei Rechtsdrehung einen Stift *St* nach oben, der seine Führung auch in der Hülse *H* hat. Auf dem Stifte befindet sich ein kleiner Teller *T*; zwischen ihn und das nach unten schneidenförmige Widerlager *W* wird der zu messende Gegenstand gebracht. Das Widerlager ist wie der Stift in einer Führung verschiebbar und bewegt beim Heben oder Senken eine um ihre Schwerpunktsachse *A* drehbare Libelle *L*. Zur

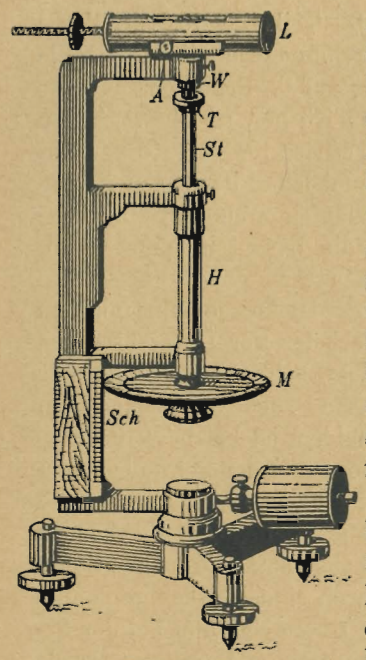

Fig. 10. Wildscher Dickenmesser.

Ausführung einer Dickenmessung zieht man die Schraube so weit an, bis die Libelle einspielt, liest die Schraubenstellung ab, entfernt den Gegenstand, schraubt die Schraube nun soweit in die Höhe, bis die Libelle noch einmal einspielt, und liest die Stellung wiederum ab. Die Zahl der vollen Umdrehungen wird an der seitlichen Skala *Sch*, die Bruchteile der Umdrehungen auf dem geteilten Umfange der mit der Schraube verbundenen Kreisscheibe *M* abgelesen. Die Einstellungen sind so zuverlässig, daß die Ganghöhe der Schraube zu $\frac{1}{2}$ mm hergestellt und der Umfang der Kreisscheibe in 500 Teile geteilt werden kann, so daß eine Meßgenauigkeit von 0,001 mm erreicht wird.

Sphärometer.[1]) Das Sphärometer (Fig. 11) besteht aus einem Gestelle, das auf drei Füßen $C_1 C_2 C_3$ ruht, die die Ecken eines gleichseitigen Dreieckes bilden und durch dessen obere Fläche eine Mikrometerschraube geht, die der beim Schraubenmikrometer besprochenen gleicht. Setzt man das Sphärometer mit seinen drei Füßen auf eine genau ebene Fläche, und dreht man die Schraube so weit herunter, bis ihr unteres Ende *B* die Fläche berührt, so stehen die Längsteilung und der Teilkreis auf 0. Legt man auf die benutzte ebene Fläche den Körper, dessen Dicke bestimmt werden soll, z. B. ein mikroskopisches Deckgläschen, nachdem man

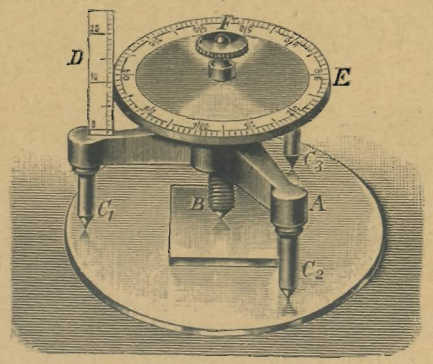

Fig. 11. Sphärometer.

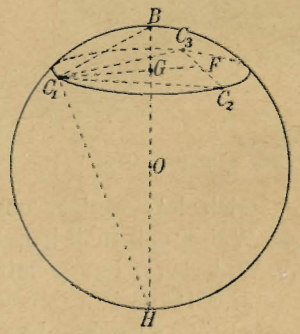

Fig. 12. Theorie des Sphärometers.

vorher die Schraube zurückgeschraubt hat, und schraubt sie nun bis zur Berührung mit dem Deckgläschen nieder, so kann man wieder an der Teilung *E* der Schraube die zu messende Dicke bis auf Hundertstel Millimeter genau ablesen; die ganzen Millimeter werden an der Teilung *D* abgelesen.

1) sphaíra (griech.) = Kugel.

Mit dem Sphärometer kann man auch den Krümmungsradius einer Kugelfläche, z. B. den einer Glaslinse, bestimmen.

Es seien $C_1 C_2 C_3$ (Fig. 12) die Berührungspunkte der Kugelfläche mit den 3 Füßen des Sphärometers, die den gegenseitigen Abstand a voneinander haben mögen; *B* sei der Berührungspunkt der mittleren Kontaktschraube, dessen Abstand h von der Ebene $C_1 C_2 C_3$ an der Mikrometerteilung abgelesen ist; *O* sei der Mittelpunkt der Kugel, deren Radius r bestimmt werden soll. Zieht man den zu *B* gehörenden Durchmesser *BH*, so schneidet dieser die Fläche des Dreieckes $C_1 C_2 C_3$ im Schwerpunkte *G*. Nun ist $C_1 G$ gleich zwei Dritteln der Höhe $\frac{a}{2}\sqrt{3}$ des gleichseitigen Dreieckes, also gleich $\frac{a}{3}\sqrt{3}$. Ferner ist $C_1 G$ die mittlere Proportionale zwischen *BG* und *GH*, also folgt:

$$BG : C_1 G = C_1 G : GH,$$

oder

$$h : \frac{a}{3}\sqrt{3} = \frac{a}{3}\sqrt{3} : (2r - h).$$

Hieraus berechnet sich

$$r = \frac{a^2 + 3h^2}{6h}.$$

Alle Dickenmesser, die eine Schraube benutzen, leiden für Feinmessungen an Fehlern in der Gleichmäßigkeit der Ganghöhe und an dem Übelstande, daß eine Schraubenspindel bei nicht vollkommenster mechanischer Ausführung bis zu einem gewissen Grade in ihrer Mutter schlottert, sich also wegen eines geringen Spielraumes einmal mehr, ein andermal weniger fest in die Züge der Mutter eindrückt. Daher ist es auch eine Regel, bei allen Messungen mit Schraubenmikrometern die Schraube stets im selben Drehsinne zur Einstellung zu bringen, denn bei einer Einstellung durch Rechtsdrehung kann die Lage der Spindel zur Mutter eine merklich andere sein wie bei der Einstellung durch Linksdrehung. Diesen Fehler nennt man den „toten Gang" der Schraube.

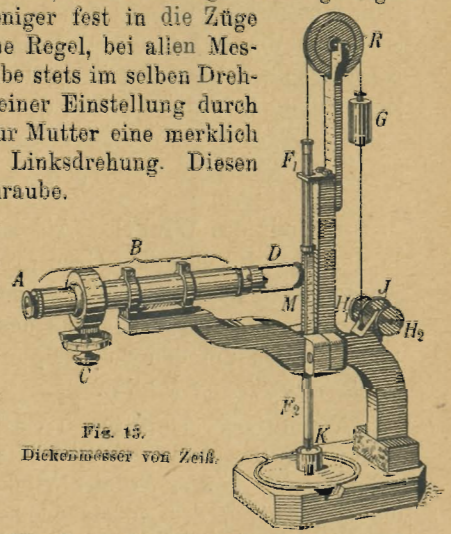

Fig. 13. Dickenmesser von Zeiß.

Dickenmesser von Zeiß. Beide Fehler einer Meßschraube vermeidet im wesentlichen der Dickenmesser von Zeiß nach Abbe (Fig. 13). Ein lotrechter Maßstab *M* zwischen zwei Führungsschienen F_1 und F_2 hängt hierbei an einer Schnur, die über eine Rolle *R* geführt wird. Das Eigengewicht des Maßstabes wird größtenteils durch ein Gegengewicht *G* am anderen Ende der Schnur aufgehoben, so daß der Maßstab vermittels eines Kontaktstiftes *K* mit sanftem Drucke eine Grundplatte bzw. den zu messenden Gegenstand berührt. Der Kontaktstift besteht aus Achat mit gewölbt geschliffener Endfläche. Bringt man nun zwischen die Grundplatte und den durch die Rolle mit Knöpfen in H_1 und H_2 angehobenen Maßstab den zu messenden Gegenstand, so kann die Verschiebung des Maßstabes gegenüber einer festen Marke durch das Mikroskop *B* abgelesen werden. *D* sind Beleuchtungsspiegel zur Beleuchtung des Maßstabes, *A* ist

das Okular des Mikroskops. Verschiebungen um Bruchteile der Teilung lassen sich dabei vermittels eines Fadenmikrometers sehr genau bestimmen. Dieses besteht in der Einrichtung, daß durch Drehung eines kleinen mit einer Ablesetrommel versehenen Rädchens C ein feiner Faden oder zwei parallele Fäden in geringem Abstande voneinander im Gesichtsfelde des Mikroskops gehoben oder gesenkt werden können. Die Teile des Maßstabes sind $^1/_{10}$ mm. Die Trommel trägt 100 Teilstriche auf dem Umfange und ist so geregelt, daß bei einmaliger voller Umdrehung der Faden von einem beobachteten Teilstriche des Maßstabes bis zum nächsten gehoben wird. Ein Trommelteil entspricht daher dem 100. Teil von 0,1 mm, so daß die Verschiebung des Mikrometerfadens um einen Trommelteil immer 0,001 mm angibt.

Fühlhebel. Der Fühlhebel (Fig. 14) besteht aus zwei nach Art einer Zange miteinander verbundenen Hebeln, bei denen als Längenverhältnis der Hebelarme passend 1 : 10 gewählt wird. Eine zwischen den Hebeln angebrachte elastische Feder sorgt dafür, daß die kürzeren Hebelarme immer mit leichtem Drucke aneinandergedrückt werden. Das Ende des einen langen Hebelarmes ist mit einer auf einem Kreisbogen ausgeführten Teilung versehen, während das Ende des anderen langen Hebelarmes als Zeiger über dieser Kreisteilung spielt. Die Kreisteilung ist eine Millimeterteilung. Zwischen die kürzeren Hebelarme wird der Körper, dessen Dicke gemessen werden soll, gebracht. Die an der Teilung abgelesene Dicke beträgt dann das Zehnfache der wahren Dicke des Körpers.

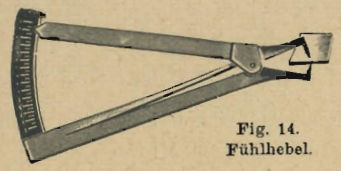

Fig. 14. Fühlhebel.

§ 3. Winkelmessung.

Einheit des Winkels. Als Einheit der Winkelmessung verwendet man in der Physik meist den Grad ($1^0 = 60'$, $1' = 60''$). Bruchteile der Sekunde werden nach dem Dezimalsysteme gemessen. Außerdem verwendet man zum Winkelmessen das Verhältnis des zwischen den Schenkeln liegenden Kreisbogens eines um den Scheitelpunkt des Winkels als Mittelpunkt gezogenen Kreises zu diesem Radius.

Wenn man als Radius 1 cm wählt, so ist die in Zentimetern gemessene Länge des Bogens zugleich ein Maß für den Winkel. Um einer Verwechslung vorzubeugen, welche Art der Winkelmessung man benutzt, setzt man entweder die Bezeichnung der Maßeinheit hinter die Maßzahl, oder man bezeichnet den Winkel dadurch, daß man schreibt $\operatorname{arc} \alpha = n$. Man sagt im letzten Falle, der Winkel ist im Bogenmaß gemessen. Praktisch führt man die Messung immer in Graden aus und rechnet, wenn man Bogenmaß einführen will, den Winkel in dieses Maß um. Es ist $\operatorname{arc} 360^0 = 2\pi$, daher ist der zu $\operatorname{arc} x = 1$ gehörige Winkel $x = \frac{360^0}{2\pi} = 57^0 17' 45''$. Es ist vorgeschlagen worden, dieser Einheit des Winkels in Bogenmaß den Namen Radian (rd) zu erteilen. Diese Bezeichnung wird in der praktischen Optik schon vielfach gebraucht. Der Vollwinkel um einen

Punkt herum enthält also 360 Grad oder 2π Radian. Da für praktische Zwecke 1 Radian oft eine zu große Einheit darstellt, hat man ihren hundertsten Teil als Zentradian (ctrd) eingeführt. Es ist 1 ctrd $= 0{,}573^0$.

§ 4. Hilfsmittel für die Winkelmessung.

Der **Transporteur** (Maßkreis) ist ein mit einer Gradeinteilung versehener Kreis (oder Halbkreis), dessen Mittelpunkt mit dem Scheitelpunkte des Winkels zur Deckung gebracht wird, während die Nullinie des Maßkreises mit einem Schenkel des zu messenden Winkels zusammenfällt. Die Zahl, bei der der andere Schenkel den Teilkreis schneidet, gibt die Größe des zu messenden Winkels in Graden an.

Das **Anlegegoniometer**[1]) (Fig. 15) besteht aus zwei um eine Achse drehbaren Schenkeln aus Metall, deren Verlängerungen durch die Achse gehen. Es dient dazu, den Winkel zu bestimmen, unter dem zwei Flächen eines Körpers, z. B. die eines Kristalles, einander schneiden.

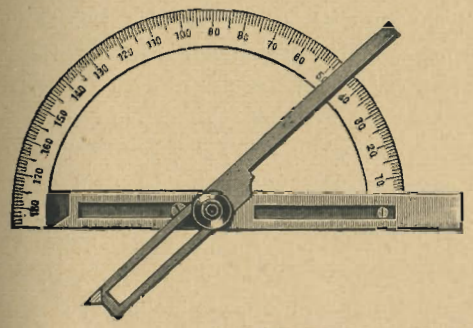

Fig. 15. Anlegegoniometer.

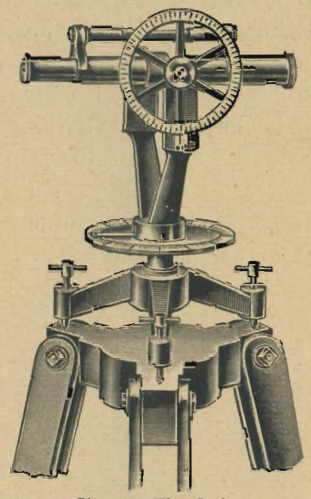

Fig. 16. Theodolit.

Der **Theodolit**[2]) (Fig. 16) ist ein Fernrohr, das um eine Vertikalachse über einem horizontalen Teilkreise drehbar ist. Die Drehung des Fernrohres kann an dem Teilkreise abgelesen werden. Er dient dazu, den horizontalen Winkel zu bestimmen, unter dem zwei entfernte Punkte von dem Auge des Beobachters aus erscheinen. Meistens ist der Theodolit (wie auch in der Figur) noch mit einem Vertikalkreise versehen; dann gestattet er auch die Bestimmung eines Höhenwinkels. Mit Hilfe einer auf dem Fernrohre sitzenden Röhrenlibelle wird die Vertikalachse in ihre richtige Stellung gebracht.

Außer den erwähnten Apparaten finden noch der **Spiegelsextant** und das **Spiegelgoniometer** Anwendung, deren Einrichtung in der Lehre vom Lichte beschrieben wird.

1) gōnia (griech.) = Winkel. 2) Herkunft des Wortes unbekannt.