

## **Universitäts- und Landesbibliothek Tirol**

### **Hand- und Hilfsbuch zur Ausführung physiko-chemischer Messungen**

**Ostwald, Wilhelm  
Luther, Robert**

**Leipzig, 1902**

Zweites Kapitel: Längenmessung

das jeweilige Resultat stehen und dreht die Kurbel um den Betrag der Differenz der eben multiplizierten Zahl und der nächstfolgenden weiter. Man kann auf diese Weise zum Schluss einer Zahlenreihe eine wertvolle Kontrolle der Richtigkeit der einzelnen Operationen haben, wenn man die letzte Zahl unabhängig mit dem Faktor multipliziert<sup>1)</sup>.

---

## Zweites Kapitel.

---

### Längenmessung.

**Allgemeines.** Sämtliche Messinstrumente beruhen auf optischen Ablesungen und setzen somit Längenteilungen voraus. Unter Umständen, wie z. B. bei der Wage, können diese Teilungen auf kurze Strecken zusammenschrumpfen, indem der grösste Teil der Messung in die Abzählung der Gewichtsstücke verlegt wird; meist handelt es sich aber um längere Teilungen mit zahlreichen Strichen. Auch die Winkelablesungen an geteilten Kreisen ist in letzter Instanz nur eine Vergleichung von Strecken, nämlich den zu den Winkeln gehörigen Bogenlängen.

Daher ist die Herstellung, Prüfung und Ablesung von Teilungen eine immer wiederkehrende Arbeit in den messenden Wissenschaften, die man verstehen muss, wenn man quantitative Untersuchungen ausführen will.

Als Norm der Länge gilt in der Wissenschaft gegenwärtig allgemein das Meter, welches durch den Abstand zweier Marken auf einem in Paris aufbewahrten Platin-Iridiumstabe definiert ist; von diesem sind genau untersuchte Kopieen im Besitz der meisten Kulturstaaten. Vorhandene Massstäbe können durch Vermittelung der betreffenden Behörden (für Deutschland die Normal-Aichungskommission in Berlin) auf das Normal-Meter bezogen werden.

Als Einheit der Länge wird vorwiegend das Centimeter, der hundertste Teil eines Meters, zu wissenschaftlichen Zwecken benutzt. Die Bezeichnung ist cm.

**Die Teilmaschine.** Die Längenteilmaschine besteht aus einer horizontal gelagerten Schraube, mittelst deren ein Schlitten

---

1) Briefliche Mitteilung von Prof. Runge.

längs einer parallelen Prismaführung bewegt werden kann und einer am Körper der Maschine befestigten Vorrichtung, um Marken zu machen. Beide Teile können auch ihren Platz tauschen, so dass das Lager stillliegt und das Reisserwerk bewegt wird. Sie gehört zu den unentbehrlichsten Ausrüstungsgegenständen eines physikochemischen Laboratoriums.

Jede Schraube hat „toten Gang“, d. h. die mit der Schraube gemachte Einstellung ist verschieden, je nachdem die letzte Drehung der Schraube rechts oder links herum<sup>1)</sup> stattgefunden hat. Bei der Teilmaschine pflegt der tote Gang wegen der Grösse des Schlittens nicht unbeträchtlich zu sein, so dass man es sich zur ersten Regel bei ihrer Benutzung machen muss, immer in einem Sinne, rechts herum, einzustellen. Hat man einmal zufällig die beabsichtigte Einstellung überschritten, so geht man um mindestens eine Drehung zurück und wiederholt die Einstellung in richtigem Sinne. Bei der

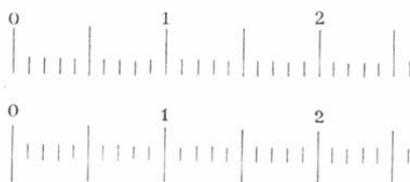


Fig. 12.

Anschaffung einer Teilmaschine kaufe man eine solche, deren Schraubengang möglichst nahe ein Millimeter ist; man spart sich dadurch ausserordentlich viel Arbeit. Der Kopf der Schraube ist in 100 Teile geteilt und giebt demnach 0.01 mm in unmittelbarer Ab-

lesung, 0.001 mm in leichter Schätzung.

Das Reisserwerk hat eine Einrichtung, um beliebig kürzere oder längere Striche zu machen. Bei der Ausführung von Teilungen genügen meist zwei Strichlängen, indem jeder fünfte Strich den anderen gegenüber ausgezeichnet wird. Die Zehner brauchen nicht besonders hervorgehoben zu werden, da sie ohnedies durch die Bezifferung kenntlich sind. Eine solche Teilung sieht demnach aus, wie in Fig. 12 dargestellt. Im allgemeinen ist es zweckmässig, die Einerstriche ziemlich kurz zu machen.

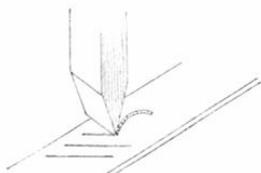


Fig. 13.

Für Teilungen in Messing, Elfenbein, Silber u. dgl. benutzt man einen stählernen Stichel, welcher eine schräge Schneide besitzt und mit der Spitze derselben voran bewegt wird (Fig. 13, wo die Art angedeutet ist, wie der Span ausgehoben wird). Je nach der Härte des Materials und der gewünschten Breite der Striche ist der

1) Mit rechts herum soll eine Drehung im Sinne des Uhrzeigers bezeichnet werden.

durch Belastung regulierbare Druck zu wählen. Den Stichel nimmt man am besten glashart, damit er seine Schneide während der Arbeit möglichst wenig ändert<sup>1)</sup>. Stumpf gewordene Stichel werden mit Petroleum auf einem „Arkansas-Stein“ (in den Werkzeughandlungen käuflich) wieder angeschliffen.

**Teilungen auf Glas.** Für Teilungen auf Glas, die häufigsten aller vorkommenden, hat man die Wahl zwischen dem Diamant und der Flusssäure. Ersterer giebt feinere Striche, wenn man eine gute Einstellung gefunden hat und ist insbesondere anzuwenden, wenn es sich um die Herstellung von Mikrometerteilungen handelt. Er hat aber den Nachteil, dass er das Glas leicht spaltet und es in hohem Masse zerbrechlich macht. Deshalb soll man niemals Teilungen auf Glasröhren, welche Temperaturwechseln ausgesetzt sind, mit dem Diamanten ausführen.

Man benutzt einen gewöhnlichen Schreibdiamanten, den man an Stelle des Stichels in das Reisserwerk der Teilmaschine spannt und muss einige Sorgfalt daran wenden, die richtige Stellung und Belastung des Diamants durch vorgängige Proben zu ermitteln.

Man beachte, dass häufig eine in der Aufsicht sichtbare Teilung in der Durchsicht nicht sichtbar ist. Ferner achte man darauf, dass die Fallhöhe des Diamanten nicht zu gross ist, dass man ihn langsam auf den Gegenstand senkt, und dass er möglichst kurz in das Reisserwerk eingespannt ist (damit er nicht federt). Anderenfalls ist der Anfang jedes Teilstriches leicht mit einer Zacke versehen.

Viel leichter sind Teilungen auf Glas mittelst Flusssäure auszuführen; auch wird das Glas an den mit Flusssäure geätzten Stellen nicht brüchig.

Sie werden am besten mit Hilfe einer feinen Nähnadel radiert, deren Spitze möglichst fein geschliffen ist. Die Nähnadel wird entweder mit Gips oder Siegelack in ein Rohr eingekittet oder in ein geschlitztes Messingstück eingeschlagen. Die Spitze darf höchstens 1 bis 2 mm hervorragen, damit sie nicht federt. Der Stichel etc. soll aus möglichst geringer Höhe langsam auf den Gegenstand gesenkt werden.

Man beginnt damit, den zu teilenden Gegenstand zu erwärmen und mit geschmolzenem Wachs zu überziehen. Gelbes (nicht weisses, gebleichtes) Bienenwachs eignet sich gut dazu, ebenso Ozokerit. Man thut wohl, dem geschmolzenen Wachs etwas dunkle

---

<sup>1)</sup> Aus diesem Grunde sind Splitter von „Carborundum“ sehr geeignet zur Herstellung von Teilstrichen (auch auf Glas).

Ölfarbe (Malerfarben in Tuben, etwa Preussisch-Blau) zuzusetzen, um die Dicke und Gleichförmigkeit der Wachsschicht beurteilen zu können und trägt mittelst eines Pinsels oder eines an einen Draht gebundenen Wattebüschchens das geschmolzene Wachs gleichförmig auf.

Sehr geeignet ist auch ein Überzug mit sog. flüssigem Ätzgrund, den man in jedem lithographischen Geschäft erhält, aber auch selbst durch Auflösen von Wachs und Asphalt in Terpentinöl bereiten kann.

Ist es gelungen, eine gute Schicht ohne Lücken und Wulste herzustellen, was ein wenig Übung erfordert, so befestigt man nach dem Erkalten den Gegenstand auf dem Schlitten der Teilmaschine, achtet sorgfältig darauf, dass er parallel der Schraube liegt und sich unter der Last des Stichels in keiner Weise bewegen kann, und führt die gewünschte Teilung aus. Hat man einen Fehler gemacht, so ist es am besten, den Gegenstand abzunehmen, ihn geschickt durch eine Flamme zu ziehen, so dass das Wachs einen Augenblick geschmolzen ist und die Striche zusammenfliessen, und die Teilung neu zu beginnen. Nach einiger Übung kann man hierbei Wulste vermeiden; sind solche aber entstanden, so muss man das Überziehen ganz wiederholen.

Man kann auch die fehlerhafte Stelle ohne den Gegenstand von der Teilmaschine zu nehmen durch Überpinseln mit Ätzgrund ausbessern; das Reisserwerk muss dabei vorsichtig in die Höhe gehoben werden. Ein gutes Überpinseln erfordert einige Geschicklichkeit. Es muss u. a. darauf geachtet werden, dass das Streichen in der Richtung der Striche ausgeführt wird. Ist das Überpinseln gelungen, so dreht man die Schraube bis zu den noch brauchbaren Teilstrichen zurück, darauf wegen des toten Ganges eine Drehung voraus und wartet ca. 2 Minuten bis die elastischen Nachwirkungen sich ausgeglichen haben, worauf man die Teilung fortsetzt. Enge Teilungen lassen sich auf diese Weise meist nicht korrigieren, da die ursprünglichen und späteren Teilstriche nie vollkommen zusammenfallen.

Nach Ausführung der Teilung sind oft Ziffern und andere Bezeichnungen aufzubringen. Das geschieht am bequemsten mit einer reinen, spitzen und harten Schreibfeder, mittelst deren sich gut radieren lässt. Für feinere Züge dient eine in einem Halter gefasste starke Nähnaedel. Man untersucht nach der Ausführung die Linien darauf, ob sie durch das Wachs gehen und am Grunde die glänzende Glasfläche erkennen lassen.

**Das Ätzen in Glas.** Um die Striche zu ätzen, befestigt man ein Wattebäuschchen an einem Draht und überpinselt mittelst desselben die Teilung mit konzentrierter Flusssäure, wie sie als rohe rauchende Flusssäure im Handel vorkommt. Dann wäscht man die Flusssäure ab (man hüte sich, die Hände, insbesondere die Fingerspitzen, damit in Berührung zu bringen), trocknet das Rohr und entfernt den Wachsüberzug durch Erwärmen und Abreiben.

Man überzeuge sich durch einen blinden Versuch, ob die Flusssäure zum Ätzen brauchbar ist und wie lange die Einwirkung stattzufinden hat. In der Regel wird einmaliges Überpinseln von ca. 15 Sekunden Einwirkungsdauer genügen. Bei tiefen Strichen muss man 2 bis 3 mal überpinseln und dementsprechend länger warten.

Konzentrierte Flusssäure ätzt Glas mit glänzendem Strich sehr glatt und scharf, während Flusssäuredämpfe matte Ätzung bewirken. Für die Zwecke des Laboratoriums ist die glatte Ätzung meist gut verwendbar, und das Verfahren mit flüssiger Säure empfiehlt sich dem mit den Dämpfen gegenüber durch die grosse Schnelligkeit der Ausführung und die Vermeidung der schädlichen Dämpfe. Man kann auf diese Weise selbst Mikrometer von 0.01 oder 0.02 cm sauber und gut erhalten.

Zuweilen zeigen sich die Striche unterbrochen und nicht völlig ausgeätzt. Dies liegt entweder daran, dass die Radiernadel nicht genügend belastet war oder meist an falschem Auftrag der Säure. Man muss das Wattebäuschchen reichlich benetzen und beim Pinseln Bewegungen in der Richtung der Striche nicht versäumen. Übrigens fliesst die Säure so bereitwillig auf den blossgelegten Linien des Glases, dass überall, wo der Pinsel hingelangt ist, auch Ätzung erfolgt.

Zeigt sich Neigung zum „Unterfressen“, d. h. sind die Striche flach und an einzelnen Stellen stark verbreitert, so ist meist die Säure zu schwach. Zuweilen liegt es auch daran, dass der Wachsüberzug zu dünn war. Man kann die richtige Dicke des letzteren daran beurteilen, dass die erkaltete Oberfläche matt sein muss und nicht durchsichtig und glasglänzend sein darf.

Um die Striche besser sichtbar zu machen, reibt man sie mit Farbe ein. Anwendbar sind mit etwas Sikkativ versetzte Malerfarben in Tuben, auch Druckerschwärze mit etwas Dammarlack. Zum Abreiben benutzt man Schreibpapier, da Fliesspapier oder Leinwand die Farbe aus den Strichen wieder herausholen.

Mikrometerskalen kann man auch durch photographische Verkleinerung grösserer Skalen erhalten. Man zeichnet sich in passendem Massstabe die betr. Skalen auf Zeichenpapier mit Tusche auf, oder ritzt sich dieselbe in eine mit Asphaltlack überzogene Milchglas-scheibe und macht mit kleiner Blende auf möglichst feinkörniger Emulsion (am besten auf Collodiumplatte) eine verkleinerte Aufnahme, von der man eventuell Kopien auf Chlorsilbergelatine- oder Pigmentplatten machen kann. Um das Entwickeln und Kopieren zu erleichtern, nimmt man neben der Skala irgend ein makroskopisch sichtbares Objekt auf. Die photographische Methode gestattet mannigfache Abänderungen.

**Prüfung der Teilmaschine.** Die Herstellung einer richtigen Schraube für die Teilmaschine ist zwar eine sehr schwierige Aufgabe, wenn die Fehler nicht über 0.01 mm steigen sollen; bis auf einige Hundertstel Millimeter genaue Schrauben liefert die heutige Technik dagegen ohne besondere Mühe. Um sich von der Beschaffenheit der Schraube zu überzeugen, befestigt man ein Mikroskop an dem Körper der Teilmaschine und befestigt auf dem Schlitten ein kleines Lineal, am besten von Stahl (damit es die gleiche Wärmeausdehnung besitzt, wie die Maschine), auf welchem in geeignetem Abstände von 20 bis 100 Schraubenwindungen zwei zarte Linien oder Punkte oder sonstige Marken angebracht sind. Dieser Abstand wird mittelst der Schraube gemessen, indem man nach einander beide Marken mit dem Fadenkreuz des Mikroskopokulars zur Deckung bringt, wobei sorgsam auf Vermeidung des toten Ganges zu achten ist. Ist die erste Strecke am Ende der Schraube gemessen, so verschiebt man das Lineal ungefähr um den Abstand der Striche und stellt wieder auf beide ein; so fährt man fort, bis die ganze Schraube durchgemessen ist. Jede Einstellung wird mehrfach, z. B. fünfmal wiederholt.

Hierbei ergibt sich zunächst schon ein Urteil über die Güte der Schraube, indem die eingestellten Längen bis auf 0.01 mm übereinstimmen werden, wenn die Schraube gut ist. Um eine Korrektions-tabelle anzufertigen, addiert man sämtliche gemessenen Längen, nimmt das arithmetische Mittel derselben und bildet die Differenzen der einzelnen Messungen gegen das Mittel; dies sind dann die Fehler  $d_1, d_2, d_3, \dots$  der einzelnen Strecken. Addiert man diese Fehler in der Gestalt  $d_1, d_1 + d_2, d_1 + d_2 + d_3, d_1 + d_2 + d_3 + d_4$  u. s. w., so erhält man die Korrekturen für die einzelnen je um den Abstand der Striche entfernten Stellen der Schraube. Aus diesen Werten wird schliesslich nach Anweisung der S. 17 die graphische Korrek-

tionskurve entworfen, mittelst deren man die Korrekturen für die Zwischenwerte interpoliert.

Ausser dieser einfachen Methode giebt es kompliziertere, welche eine weit eingehendere Kenntnis der Schraube vermitteln, als sie auf diesem Wege gewonnen wird. Für unsere Zwecke kommen sie schwerlich in Betracht, da die Teilmaschine selten über einige Hundertstel Millimeter hinaus in Anspruch genommen wird. Ganz kleine Strecken, welche genauer gemessen werden sollen, misst man nicht mittelst der langen Schraube der Teilmaschine, sondern mit kleineren Schrauben oder Mikrometern.

Die Konstante der Schraube oder die Ganghöhe wird bestimmt, indem man eine bekannte Länge, einen Normalmassstab, misst und die (korrigierte) Zahl der Umdrehungen in die Länge dividiert. Ist die Ganghöhe sehr nahe gleich einem Millimeter, so kann man die Korrektionskurve nach Anweisung der S. 17 und 18 so konstruieren, dass sie die Ablesungen auf wahre Millimeter reduziert.

Es braucht kaum erwähnt zu werden, dass die Korrektionskurve nicht nur für jede mit der Teilmaschine gemachte Messung brauchbar ist, sondern auch benutzt werden kann, um richtige Teilungen mit einer fehlerhaften Schraube auszuführen. Zu dem Zwecke müssen die Korrekturen beim Einstellen mit umgekehrtem Zeichen berücksichtigt werden.

**Andere Teilvorrichtungen.** In vielen Fällen lässt sich die Teilmaschine durch einfachere und wohlfeilere Einrichtungen ersetzen. Falls es sich nur um die Ausführung von Millimeterteilungen handelt, genügt eine Mutterteilung auf einer Glasröhre, welche man mittelst eines Stangenzirkels überträgt.

Dieses sehr praktische von **Bunsen** angegebene Verfahren führt man zweckmässig folgendergestalt aus. Die auf einer Röhre aus hartem Kaliglas von 1.5 bis 2 cm Durchmesser befindliche, auf der Teilmaschine hergestellte Mutterteilung wird auf zwei Brücken von starkem Messing (Spannweite 6—8 cm, Höhe 2 cm) am Ende eines Brettes befestigt, welches etwa die doppelte Länge der Mutterteilung hat; für letztere genügt meist eine Länge von 50 cm. Parallel der Verlängerung der Röhrenachse sind einige Linien auf dem Brett gezogen, welche die richtige Stellung des zu teilenden Objekts zu finden gestatten. Lineale und dergl. werden durch übergelegte Brücken und Schrauben, oder auch einfach mit Klebwachs befestigt; Röhren liegen in prismatisch ausgeschnittenen Trägern aus

Kork, die durch einen Stift festgehalten werden und auch bei ihnen genügt meist eine Befestigung mit Klebwachs<sup>1)</sup> (Fig. 14).

Die Teilung wird vermittelt eines Stangenzirkels (Fig. 15) übertragen, der zum Zwecke bequemer Verlängerung aus zwei nebeneinander gleitenden Stäben besteht, deren Lage durch eine Druckschraube unveränderlich gemacht werden kann. Am hinteren Ende

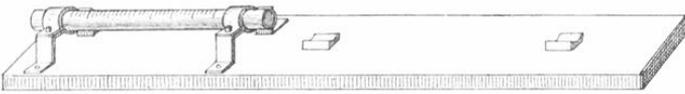


Fig. 14.

trägt er eine kurze Stahlspitze, welche in die vertieften Teilstriche gesetzt wird; damit die Spitze stets regelmässig über der Mitte der Röhre bleibt, befindet sich am Ende des Stangenzirkels noch eine gabelförmige Führung, welche in der in der Fig. 15 angedeuteten Weise sich über die Röhre legt. Das vordere Ende des Stangen-

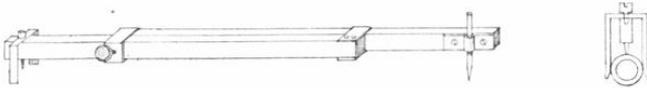


Fig. 15.

zirkels ist für Radierungen in Wachs mit einer Nadel versehen, für Teilungen auf Papier kann man diese durch eine Reissfeder ersetzen. Teilungen in Metall sind mit dieser Vorrichtung nicht anders als durch Ätzung (Salpetersäure auf Wachsgrund) herzustellen, da die Erzeugung von Strichen mittelst des Stichels zu grosse Kraft erfordert.

Man muss sich einigermaßen üben, die Teilungen auszuführen, indem die linke Hand das Einfallen der Spitze in die Vertiefungen der einzelnen Striche regelt und sichert, während die rechte ohne Zwang und Druck die Teilstriche zieht. Vorrichtungen zum Einhalten der langen und kurzen Linien ist entbehrlich. Auf Glasröhren benutzt man nach dem Augenmass die höchste Linie als Leitlinie und macht die Einerstriche ziemlich kurz. Bei der Her-

<sup>1)</sup> Ein sehr brauchbares Klebwachs kann man sich durch Zusammenschmelzen von Colophonium, Terpentin- oder Leinöl mit gelbem Wachs, oder von gelbem Erdwachs, Asphalt und etwas Vaseline herstellen. Die geschmolzene gut verrührte Masse wird in flache Blechkästen gegossen und muss nach dem Erstarren gut durchgeknetet werden. Letzteres Klebwachs hat den Vorzug, dass es weder von Säuren noch Alkalien merklich angegriffen wird.

stellung von Papierskalen kann man durch parallel der langen Kante gezogene Bleistiftlinien die Strichlängen vormerken.

**Willkürliche Einheit.** Mittelst der vorbeschriebenen Einrichtungen lassen sich nur Millimeter oder Vielfache desselben übertragen. Liegt die Aufgabe vor, eine gegebene Strecke in eine bestimmte Anzahl Teile zu teilen oder überhaupt Teilstriche von anderer Entfernung als ganze Millimeter zu ziehen, so müssen andere Hilfsmittel dienen.

Am einfachsten löst man die Aufgabe dadurch, dass man die Entfernung der Endpunkte mit der Teilmaschine misst, durch Division mit der Anzahl der zu machenden Teilstriche den Wert jedes Intervalls erfährt und sich eine entsprechende Tabelle herstellt, welche man bei der Ausführung der Teilung benutzt.

Bunsen hat für den gleichen Zweck ein System von auf Glas geätzten Linien angegeben, welche von einem Punkt auslaufen und eine

Gerade in gleichen Abständen schneiden (Fig. 16). Wird ein Lineal parallel dieser Geraden über die Striche gelegt, so hat man eine Einteilung in entsprechend verkleinertem Massstabe. Indessen hat diese Einrichtung den Nachteil, dass die verschiedenen Linien von



Fig. 16.

dem Lineal unter verschiedenen Winkeln geschnitten werden, wodurch das Einsetzen der Spitze des Stangenzirkels in verschiedener Weise erfolgt und die Übertragung ungenau wird. Rationeller ist es daher, statt dessen eine Platte zu benutzen, auf welcher parallele Linien von gleichem Abstand (z. B. 0.5 mm) geätzt sind; legt man in irgend einer Richtung das Lineal über die Platte, so erhält man

eine entsprechend vergrößerte Teilung und der Stangenzirkel fällt bei jedem Strich unter gleichem Winkel ein. Am zweckmässigsten legt man, wie in der Fig. 17 angedeutet ist, das Liniensystem schräg auf eine längliche Spiegelglasplatte, so



Fig. 17.

dass die kurze Diagonale senkrecht auf der Richtung der Linien steht. Es ist bequem die eine Seite mit Linien von 0.5 mm, die andere mit Linien von 1 mm Entfernung auszustatten; da bei

Teilungen unter 0.5 mm die Fehler der Übertragung mit dem Stangenzirkel schon recht bemerkbar werden, so ist man damit für alle Zwecke gesichert.

Wenn die vorhandene Teilmaschine keine genügend langen Striche zu machen gestattet, und auch die Schrägstellung des Reisserwerks begrenzt ist, muss man sich eine Serie von derartigen geteilten Platten machen, die alle Abstufungen zwischen 1 und 2 herzustellen gestatten.

Die Platte wird unter ein eisernes, mit Leder unterlegtes Lineal gelegt, welches nach der Einstellung in der gewünschten Lage durch Schrauben angezogen wird und so die Lage der Platte sichert. In der Verlängerung der Kante des Lineals liegt das zu teilende Objekt; zur Übertragung dient der beschriebene Stangenzirkel nach Entfernung der Gabel. Man lässt die etwas schräg gehaltene Spitze in den spitzen Winkel zwischen den geätzten Linien und dem Lineal fallen.

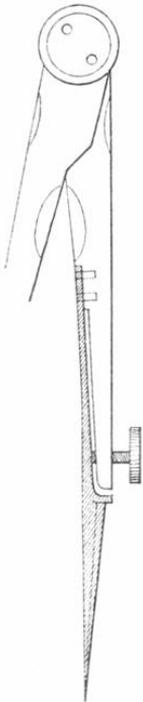


Fig. 18.

**Längenmessung.** Zur Längenbestimmung dienen Massstäbe welche je nach Bedarf in Centimeter und Millimeter geteilt sind. Im Laboratorium bewähren sich für rohere Messungen am besten solche aus Holz, welche zu sehr billigen Preisen von ganz anerkannter Genauigkeit im Handel vorkommen; man sucht sich aus einem kleinen Vorrat die besten aus.

Für etwas feinere Messungen (auf 0.1 mm) dienen im Laboratorium zweckmässig Millimeterteilungen auf Glas, die man in der Form benutzt, dass man die geteilte Seite an das zu messende Objekt legt. Dabei muss man sich daran gewöhnen, die Zehntel der Teilung mit einiger Sicherheit zu schätzen.

In vielen Fällen, z. B. bei der Messung des Durchmessers von Cylindern, kann man die Berührung der Teilung mit den Ablesepunkten nicht ermöglichen. Dann ist man gezwungen, diese zu übertragen.

Die einfachste Übertragung ist die mechanische mittels des Zirkels. Für kleine Strecken dienen Schenkelzirkel, für grössere Stangenzirkel. Erstere sind gewöhnlich nicht mit Mikrometerbewegung versehen, obwohl eine solche in allen Fällen die Arbeit erleichtert und somit genauer macht. Fig. 18 zeigt, wie der eine Schenkel durch eine Druckschraube, der eine starke Feder entgegenwirkt, fein beweglich gemacht werden kann. An besseren Stangen-

zirkeln pflegt die eine Spitze ohnedies Feinbewegung zu besitzen

Die zu messende Strecke wird in den Zirkel genommen und damit auf den Massstab übertragen. Für solche Zwecke ist eine in Milchglas oder auf die Glasseite eines Spiegels geätzte Teilung besonders bequem, da sie sehr gut abzulesen ist und durch die Zirkelspitze nicht verkratzt wird, wie Holz oder Metall.

Für Cylinder benutzt man Zirkel mit gekrümmten oder einwärts gerichteten Spitzen, Taster oder Greifzirkel genannt. Vielfach geschieht die Übertragung auf optischem Wege, indem man an dem Massstab ein Mikroskop oder ein Fernrohr verschiebbar macht und die Stellung desselben an dem Massstabe abliest, wenn der eine und der andere Punkt am Fadenkreuze erscheint. Hierbei ist aber vorausgesetzt, dass die Verschiebung des optischen Instrumentes so stattgefunden hat, dass dieses genau sich selbst parallel geblieben ist. Da diese Voraussetzung nie streng erfüllt ist, so entsteht dadurch ein Fehler, welcher proportional der Entfernung des Massstabes von dem zu messenden Objekt zunimmt, wie unmittelbar aus der Anschauung der Fig. 19 hervorgeht. Man nennt diesen Fehler Parallaxe.

Um diesen Fehler zu vermeiden, gibt es mehrere Mittel. Ein sehr häufig anwendbares ist, den Massstab so nahe als möglich neben dem zu messenden Objekt anzubringen und das

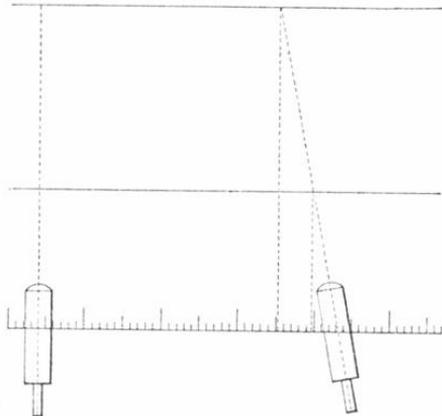


Fig. 19.

Ableseinstrument so anzuordnen, dass man es durch eine Drehung um eine dem Massstab parallele Achse nacheinander auf das Objekt und den Massstab einstellen kann. Es ist, wenn man die Drehachse thunlichst lang nimmt, nicht schwer, sie innerhalb viel engerer Grenzen unveränderlich zu halten, als eine Parallelführung; insbesondere sind Achsen, die sich um kegelförmige Spitzen drehen, schon bei mässiger Sorgfalt in der Herstellung gut zu brauchen. Andererseits handelt es sich stets um sehr geringe Winkeldrehungen, wodurch etwaige Fehler im Parallelismus von Massstab und Drehachse nur in geringem Masse schädlich wirken.

Theoretisch noch vollkommener ist das von Abbe angewendete Prinzip, den Massstab in der Verlängerung des zu messenden Objekts

zu bewegen und ihn mittelst eines fest aufgestellten Mikroskops abzulesen, wenn er einmal den einen Punkt des zu messenden Objekts, sodann den anderen, resp. eine plane Unterlage oder einen Anschlag, an die es sich gelehnt hat, berührt. Die Parallaxe fällt vollkommen weg und der nachbleibende Fehler kann wesentlich nur noch von mangelhafter Führung des Massstabes herrühren. Diese Fehlerquelle bewirkt, dass die Länge mit dem Cosinus des Winkels zwischen der Soll-Lage und der tatsächlichen multipliziert erscheint. Der Fehler erreicht bei der groben Abweichung von einem Grad den Betrag von  $0.015\%$  der gemessenen Länge, ist also von geringem Belang.

Aus dem Gesagten ergibt sich, dass das gebräuchlichste Verfahren der Längenmessung mit dem Kathetometer das un-

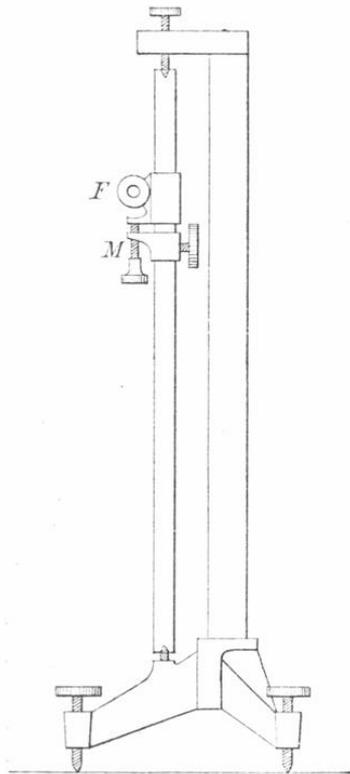


Fig. 20.

zweckmässigste von allen ist; dieses sehr verbreitete Instrument soll nie in der Form benutzt werden, dass die gemessenen Längen an der Skala des Kathetometers abgelesen werden. Denn zu den angegebenen parallaktischen Fehlern infolge unvollkommener Parallelführung kommen noch bei der besonders häufig notwendigen Ablesung von Längen durch Glasplatten oder Wasserschichten hindurch die von der Lichtbrechung herrührenden Ablenkungen, welche unkontrollierbare Fehler hervorrufen, die sich nach ganzen Millimetern beziffern können. Auch diese fallen fort, wenn man den Massstab möglichst nahe am zu messenden Objekt anbringt und durch Drehung anvisiert. Dazu mag man ein vorhandenes Kathetometer benutzen, doch lässt sich das gleiche durch eine einfache Vorrichtung (Fig. 20) erreichen, die aus einer zwischen Spitzen drehbaren Stange mit daran gleitendem Fernrohr *F* mit Feinbewegung *M* besteht; die Vertikalstellung der Drehachse erfolgt durch die Stellschrauben des Dreifusses.

Ist man gezwungen, unter einer Flüssigkeit (etwa in einem

Temperaturbad) abzulesen, wo planparallele Glaswände (oder Glaswände überhaupt) durch die Versuchsumstände ausgeschlossen sind, so kann man sich häufig durch einige Spiegel helfen. Als Beleuchtung der dicht hinter oder neben dem Gegenstand angebrachten Skala dient dann zweckmässig eine Glühlampe, die etwa durch ein Glasrohr isoliert ist.

In manchen Fällen lässt sich das optische Visieren durch mechanische Hilfsmittel erleichtern. So kann man den Durchmesser eines Cylinders messen, wenn man ihn mit horizontal liegender Achse aufstellt und über ihn einen feinen Faden (Kokon oder sehr dünnen weichen Draht) hängt, der an beiden Enden belastet ist. Die Entfernung beider Fäden lässt sich leicht von einem dahinter gehaltenen Massstab ablesen; man beachte, dass es sich um die Entfernung der inneren Ränder der Fäden, nicht um die ihrer Mittellinien handelt.

In gleicher Weise lassen sich häufig Punkte an komplizierteren Gebilden durch ein herabhängendes Lot der Messung in Bezug auf horizontale Entfernungen zugänglich machen.

Genauere Messungen führt man auf der Teilmaschine mittelst eines Ablesemikroskops aus, indem man je nach der Bequemlichkeit entweder das Mikroskop beweglich und den Gegenstand fest macht oder umgekehrt. Die Regel wegen des toten Ganges ist bei der Messung sorgfältig zu beachten.

Geringe Strecken, wie Draht- und Blechstärken, Glasdicken u. s. w. lassen sich auf einige Hundertstel Millimeter genau auch mittelst der im Handel vorkommenden Schraubenmikrometer (Fig. 21) messen, die unmittelbar in Zehntel- oder Zwanzigstel Millimeter geteilt sind und die Hundertstel schätzen lassen. Vor der Anwendung überzeugt man sich, ob der Nullpunkt richtig liegt und berichtigt ihn nötigenfalls durch Bewegung der kurzen Gegenschraube.



Fig. 21.

**Die Ablesung.** Die vollkommenste Ablesung, falls man die zu messenden Grössen nicht in unmittelbare Berührung bringen kann, wird erreicht, wenn man ein reelles Bild des zu messenden Punktes mit der Skala oder Marke zusammenfallen lässt, also mittelst des Fernrohres oder des zusammengesetzten Mikroskopes. Man hat nur darauf zu achten, dass das Bild thatsächlich in die Ebene des Fadenkreuzes oder des Okularmikrometers fällt. Das Verfahren hierbei ist folgendes.

Man bewegt zunächst die vordere Okularlinse in Bezug auf das Fadenkreuz so lange, bis man dies ohne Anstrengung des Auges

scharf sieht. Dann wird das zu beobachtende Bild durch Verschiebung des ganzen Okularauszuges (resp. des Mikroskopkörpers) scharf eingestellt. Man bewegt alsdann das Auge vor dem Okular hin und her und beobachtet, ob sich das Bild gegen das Fadenkreuz verschiebt. Ist dies der Fall, so ist die zweite Einstellung zu ändern, bis diese Erscheinung verschwunden ist, und wenn dann das Bild weniger scharf geworden sein sollte, so wird es schliesslich durch Bewegung der vorderen Okularlinse allein gut eingestellt.

In der Ebene des reellen Bildes befindet sich ein Fadenkreuz oder eine Teilung. Ersteres gewährt die Möglichkeit genauere Einstellung, letztere die einer Messung kleiner Verschiebungen. Man kann den zweiten Vorteil auch erreichen, wenn man das Fadenkreuz durch eine Schraube mit geteiltem Kopf mikrometrisch verschiebbar macht und erhält so den vollkommensten Apparat. Doch sind solche Schraubenmikrometer ziemlich kostspielig und setzen eine feste Aufstellung des optischen Apparates voraus, damit dieser durch die beim Schrauben notwendigen Berührungen nicht verschoben wird.

Als Fadenkreuz dient zweckmässig eine Spiegelglasplatte, in welche die beiden sich kreuzenden Linien eingätzt, oder mit dem Diamanten eingerissen sind.

Soll das Fadenkreuz auf eine Linie scharf eingestellt werden,

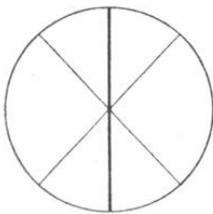


Fig. 22.

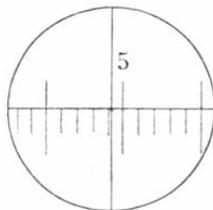


Fig. 23.

so wendet man es liegend an und beobachtet, ob die Spitzen der entstehenden Dreiecke von  $45^\circ$  gleiche Höhe haben, Fig. 22. Soll dagegen eine Teilung abgelesen werden, so wird einer der Fäden den Strichen der

Teilung parallel gestellt und es werden die Zehntel geschätzt, Fig. 23.

Ablesungen mit der Lupe sind nur dann von Parallaxe frei, wenn Skala und Marke in derselben Ebene liegen. Ist dies nicht der Fall, wie z. B. bei dem Quecksilberfaden eines Thermometers, so muss man besondere Massnahmen anwenden. Das einfachste Mittel ist die Benutzung des Mangels an Aplanatismus bei gewöhnlichen Lupen, insbesondere wenn man das Auge etwas entfernt. Eine Skala mit geraden Strichen hat dann das in Fig. 24 übertrieben gezeichnete Aussehen und man bewegt die Lupe, bis der abzulesende Strich geradlinig erscheint. Wesentlich ist dabei, dass durch

eine kleine und ziemlich weit von der Lupe angebrachte Okularblende die Stellung des Auges zur Lupe hinreichend bestimmt gemacht wird.

Etwas bequemer ist es, mit der Lupe einen Zeiger oder einen Ausschnitt zu verbinden und diesen auf den abzulesenden Punkt einzustellen. Der Zeiger darf natürlich nicht über die Mitte des Gesichtsfeldes gehen, wo er die Ablesung stören würde. Eine Beschränkung des Gesichtsfeldes durch einen Ausschnitt ist gleichfalls praktisch, wenn man ihn so klein macht, dass man die Stellung des abzulesenden Punktes in der Mitte ohne Schwierigkeit nach dem Augenmass finden kann. Soll das Gesichtsfeld nicht beschränkt werden, so dient eine durchsichtige Glasplatte mit einer Kreislinie oder zwei Parallellinien, in Bezug auf welche der abzulesende Punkt eingestellt wird, für den gleichen Zweck. Dass die Linien nicht gleichzeitig mit dem Punkt scharf erscheinen, ist kein Nachteil, sondern eher ein Vorzug.



Fig. 24.

**Feine Ablesung. Nonius und Mikroskop.** Stellt sich die Marke (Zeiger, Okularfaden etc.) auf einer geteilten Skala irgendwie ein, so fällt sie im allgemeinen nicht mit einem Teilstrich zusammen. Man kann das Auge leicht so weit üben, dass man die Zehntel des Abstandes der Teilstriche schätzt, und demgemäss bei der Ablesung eine Stelle mehr erhält, als der unmittelbaren Teilung entspricht.

Liegt das Bedürfnis einer schärferen Ablesung vor, so kann man zunächst den Nonius anwenden. Will man mit einem solchen den  $n$ -ten Teil des Abstandes messen, so teilt man die Strecke von  $n \pm 1$  Teilstrichen in  $n$  Teile und benutzt die so erhaltene kleine Teilung an Stelle des Index, indem man im Falle  $n - 1$  den Nullpunkt an den Anfang, im Falle  $n + 1$  an den Endpunkt der Noniusteilung setzt. Man sucht nun längs der Noniusteilung den Strich auf, welcher mit einem Strich der Hauptteilung in einer Geraden liegt; es sei dies der  $m$ -te Strich auf der Noniusteilung. Dann liegt der Nullstrich des Nonius um  $\frac{m}{n}$  Einheiten hinter dem nächstvorhergegangenen Strich. Auf der vorstehenden Zeichnung Fig. 25 ist  $n = 10$ ; der Nonius ist nach  $n - 1$  geteilt. Der Strich 3 des Nonius fällt mit seinem Gegenüber zusammen, der Nullstrich liegt zwischen 132 und 133 der Skala, folglich ist die Ablesung 132.3.

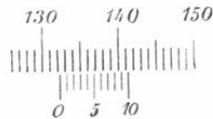


Fig. 25.

Fig. 26 zeigt in vergrössertem Massstabe eine andere Noniusteilung, welche häufig benutzt wird, um in  $1/2$  Grad geteilte Kreise auf eine Minute ablesen zu lassen. Es sind dabei 29 Teilstriche in 30 Teile geteilt, so dass die halben Grade in 30, die ganzen also in 60 Teile oder in einzelne Minuten geteilt sind. Die doppelte Bezifferung bezieht sich darauf, ob der Nullpunkt hinter einem

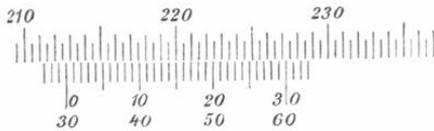


Fig. 26.

ganzen, oder einem halben Gradstrich steht. Im ersten Falle benutzt man die obere Reihe, im zweiten Falle muss man zur Zahl des letzten ganzen Gradstriches  $1/2^0$  oder  $30'$  plus der Noniusablesung fügen, welche Addition in der unteren Bezifferung ausgeführt ist. In der Figur steht der Nonius also auf  $212^0 45'$ . Die überschüssigen Striche vor dem Nullstrich und hinter dem Endstrich 30 des Nonius dienen dazu, die Beobachtung von Koinzidenzen in der Nähe dieser Punkte zu erleichtern.

Nonien werden meist für  $n = 10, 20, 30$  oder  $50$  ausgeführt, über  $n = 50$  hinauszugehen, ist im allgemeinen nicht praktisch; man stellt dann lieber eine engere Teilung und dementsprechend einen kürzeren Nonius her.

Neben dem Nonius giebt es noch einige andere Mittel der feineren Teilung gegebener Abstände. Das ausgiebigste von allen ist das Mikroskop-Mikrometer, welches aus einem Mikroskop besteht, welches mittelst einer Schraube und eines Schlittens um messbare Stücke bewegt werden kann. Hat wie gewöhnlich die Schraube 20 Gänge auf 1 cm und ist der Kopf der Schraube in 50 Teile geteilt, so entspricht jedem dieser Teile eine Bewegung um 0.001 cm, und es lassen sich noch 0.0001 cm bequem schätzen. Voraussetzung ist dabei allerdings, dass die Schraube so weit richtig ist.

Für die Behandlung dieses Mikrometers gelten dieselben Regeln, wie für die der Teilmaschine. Messungen letzter Genauigkeit setzen ein sehr eingehendes Studium der Schraube voraus; über das Verfahren bei solchem sind die Lehrbücher der praktischen Astronomie (z. B. F. Brünnow, Lehrb. der sphär. Astron.) nachzusehen.

In den meisten Fällen am bequemsten ist die Ablesung mit einem Mikroskop (resp. Fernrohr) zu machen, welches im Okular eine Teilung trägt, von der eine bestimmte Anzahl Striche auf die Einheit der betrachteten Teilung fallen. Ist diese Anzahl beispiels-

weise 10, so kann man, indem man noch Zehntel schätzt, auf  $\frac{1}{100}$  des Abstandes der Hauptteilung ablesen. Für derartige Anwendungen ist namentlich ein Mikroskop von langem Fokus nützlich, welches auf 1 mm des Objektes genau 10, 20 oder 50 Striche im Okular besitzt. Richtet man das Mikroskop so ein, dass der Tubus verlängert resp. verkürzt werden kann, so kann man für beliebige Teilungen (z. B. an Thermometern) ein solches einfaches Verhältnis herstellen. Bei Neuanschaffung Sorge man dafür, dass eine Vorrichtung zum Anbringen verschiedener Objektive vorhanden ist, ferner eine Veränderung des Abstandes zwischen Okular und Objektiv und zwischen Okular und Mikrometer möglich ist.

**Flächenmessungen.** Bestimmungen von Flächengrößen werden nur selten erforderlich sein. Wo eine Berechnung nach der geometrischen Gestalt nicht ausführbar ist, bedient man sich in der Technik der Planimeter, die aus einem mehrfach gegliederten Hebelsystem bestehen, welches einerseits um eine feste Achse drehbar ist, andererseits eine Zählrolle und einen Fahrstift trägt. Beim Umfahren der zu messenden Fläche mit dem Stift bewegt sich die Rolle um einen Betrag vorwärts, welcher dem Flächeninhalt proportional ist, und an der Teilung der Rolle abgelesen wird.

Ein einfaches, wenn auch nicht eben genaues ( $\pm 5\%$ ) Mittel ist, die fragliche Figur auf starkes, gleichförmiges Papier zu zeichnen, auszuschneiden und zu wägen. Durch Wägen eines rechteckigen Stückes von dem gleichen Papier, dessen Seiten man gemessen hat, findet man den Faktor, durch welchen man das Gewicht in Quadratcentimeter übersetzen kann.

Genauere Ergebnisse erhält man, wenn man die Figur in parallele Streifen von gleicher Breite zerlegt denkt und die Länge der Seiten dieser Streifen misst, oder einfach abzählt, wenn die Figur auf Koordinatenpapier gezeichnet ist, was meist der Fall sein wird. Nennt man  $a_0$  die erste Seitenlänge und  $a_n$  die letzte, so ist der Inhalt, wenn man alle Seiten als Trapeze ansieht, und die Streifenbreite  $b$  nennt, gleich  $b \left( \frac{a_0}{2} + a_1 + a_2 + \dots + a_{n-1} + \frac{a_n}{2} \right)$ . Die Formel ist um so genauer, je kleiner  $b$  genommen wird.

**Volummessungen** werden praktisch so gut wie niemals durch Messungen linearer Größen geometrisch ausgeführt, sondern in der Mehrzahl der Fälle auf Wägungen reduziert, indem man das Volum von 1 g Wasser bei  $4^0$  gleich 1 ccm setzt. Es ist daher über diese das achte Kapitel nachzulesen.

**Winkelmessungen.** Ein Winkel wird durch das Verhältnis der Länge des Kreisbogens zur Länge des Halbmessers des Kreises gemessen. Da bei den meisten Apparaten die Länge des Halbmessers unveränderlich ist, so läuft die Winkelmessung auf eine Bestimmung der Länge des Kreisbogens heraus. Es gilt hierfür alles, was oben über die Messung gerader Längen gesagt wurde. Solche Ablesungen werden meist mit Hilfe von Nonien, selten mit Mikrometerschraube gemacht, doch ist auch hier die Anwendung eines Mikroskops mit Okularmikrometer, von dem eine bestimmte Zahl Teilstriche auf ein Intervall der Hauptteilung fallen, bequem.

Fehlerhaft kann die Messung werden, wenn die Drehungsachse nicht genau centrisch zur Kreisteilung liegt. Man eliminiert den Fehler, indem man jede Ablesung an zwei diametral gegenüberliegenden Marken vornimmt und das Mittel aus beiden Ablesungen nimmt.

Winkelmessungen mit Hilfe von Spiegel und Skala — ein Verfahren von grosser Feinheit und Anwendbarkeit — sollen im Kapitel über Galvanometer näher besprochen werden.

---

## Drittes Kapitel.

---

### Wägung.

**Die Wage.** Die Wage gehört zu den genauesten und gleichzeitig förderlichsten Hilfsmitteln der Messung. Es ist leicht, Gewichte von 100 bis 1000 g auf 0.001 g, d. h. auf 0.00001 bis 0.000001 ihres Betrages mit Sicherheit zu bestimmen, während z. B. die Bestimmung einer Länge bis 100 cm auf denselben Bruchteil, d. h. auf 0.001 bis 0.0001 cm bereits ganz erhebliche Hilfsmittel voraussetzt, insbesondere wenn es sich nicht um den Vergleich zweier sehr nahe gleicher Längen, sondern um die Messung einer beliebigen Strecke handelt.

Daher ist es zweckmässig, Messungen, welche eine höhere Genauigkeit erfordern, womöglich auf eine Wägung zurückzuführen. Es gelingt dies vermittelt einer Anzahl wichtiger allgemeiner Gesetze, nach welchen zwischen den durch die Wage gemessenen Schwerkraften und anderen Grössen Proportionalität besteht.

Die Wage ist ein zweiarziger Hebel und dient unmittelbar