

V. Die Messwerkzeuge.

Einleitung.

644. Die Messungen im Materialprüfungswesen bezwecken meistens die Feststellung der ursprünglichen Abmessungen, der während des Versuches eintretenden und der nach dem Versuch verbleibenden Formänderungen.

Die Messwerkzeuge zur Feststellung der ursprünglichen Form und der bleibenden Formänderungen nach dem Versuch unterscheiden sich in der Regel fast gar nicht von den im Maschinenbau auch sonst gebräuchlichen Messwerkzeugen. Ich werde mich daher mit ihrer Aufzählung begnügen.

Die Werkzeuge zur Feststellung der Formänderung während des Versuches erfordern dagegen tieferes Eingehen, soweit die Grundsätze und die Theorie der Instrumente nicht schon in früheren Absätzen behandelt sind.

A. Messen und Messwerkzeuge.

a) Messen.

645. Das Messen besteht in dem Vergleichen eines Unbekannten mit Bekanntem; beim Längenmessen sind die unbekanntes Längen mit bekannten Längen, den Maassstäben, unmittelbar oder mittelbar zu vergleichen. Der unmittelbare Vergleich geschieht meistens, indem man den Maassstab an die zu messenden Körper anlegt. Der mittelbare Vergleich wird mit Hilfseinrichtungen ausgeführt, auf welche erst die zu messende Länge übertragen wird, um dann am Maassstabe festgestellt zu werden.

Das Messen ist eine Kunst, die erlernt sein will und sehr grosse Aufmerksamkeit sowie Zuverlässigkeit der Person und der Instrumente erfordert, wenn vollkommene Leistung verlangt wird.

646. Keine Messung kann mit absoluter Genauigkeit ausgeführt werden; jede Messung ist vielmehr mit Fehlern behaftet, deren Quelle [Ursache] sowohl in der Person des Messenden, als auch in dem

benutzten Messwerkzeug, sowie in der Art und Weise wie das Werkzeug benutzt wird und endlich in den äusseren Umständen, unter denen es das eine oder das andere Mal benutzt werden muss, liegt. Je nach der Art der Verfahren unterscheidet man bestimmte Gattungen von Fehlerquellen:

- a) Die Fehler der Person, die persönlichen Fehler; Uebung, Geschicklichkeit, Sehschärfe, Gefühlsschärfe, Gemüthszustand u. s. w. spielen eine Rolle.
- b) Fehler des Instrumentes; Unrichtigkeit der Maassstäbe, Unrichtigkeit der Theilung, Strichschärfe, Ungenauigkeit der Bewegungen u. s. w. sind von Einfluss.
- c) Fehler der Methode; die Art und Weise, wie eine Messung durchgeführt, ein Messinstrument benutzt wird, die Anordnung der Messung u. s. w. können zu Fehlern von verschiedener Grössenordnung führen.
- d) Fehler äusseren Ursprungs; Wärmeänderungen, Feuchtigkeitsänderungen u. s. w. können den Maassstab oder den gemessenen Körper verändern: die Art der Beleuchtung, bequeme oder unbequeme Lage des Maassstabes u. a. m. können Ursache von Fehlern sein.

Fehlerquellen der genannten Arten kommen fast immer mehr oder minder gleichzeitig zur Wirkung.

647. Man scheidet die Fehlerquellen auch vornehmlich noch nach solchen, die regelmässig zu einer einseitigen Beeinflussung des Messungsergebnisses führen, das Messungsergebniss also positiv oder negativ gegen den wahren Werth der gemessenen Länge verschieben; man pflegt Fehler dieser Art zusammenfassend die methodischen Fehler zu nennen, zum Unterschied von denjenigen, die lediglich von unbekanntem Ursachen, vom Zufall, abhängen und das Ergebniss gleichmässig im positiven wie im negativen Sinne beeinflussen. Diese Fehler belegt man mit der gemeinsamen Bezeichnung der zufälligen Fehler.

Die Aufgabe und die Kunst des Beobachters besteht darin, dass er die Fehlerquellen möglichst unschädlich, das Ergebniss so weit wie irgend möglich frei von methodischen Fehlern macht und die zufälligen Fehler auf das kleinste Maass beschränkt oder ihre Grösse festzustellen sucht.

Als erste Regel der Messkunst gilt, dass die methodischen Fehler zu vermeiden oder rechnerisch festzustellen und zu verbessern sind. Der Beobachter muss also die Fehlerquellen und die Gesetze, nach denen sie wirken, kennen oder in besonderen Untersuchungsreihen feststellen. Auch die Anwendung verschiedener Methoden zur Feststellung der gleichen Grössen oder der Wechsel in der Anordnung der Messungen können die methodischen Fehler ausschliessen.

Die zufälligen Fehler einer Messungsreihe sind als Ganzes bestimmten mathematischen Gesetzen unterworfen, die in zahlreichen Werken über die Ausgleichsrechnung und in den physikalischen Handbüchern (*L 103, 104*) oft sehr ausführlich entwickelt sind. Da bei den Versuchen im Materialprüfungswesen am meisten einfache wiederholte Beobachtungen der gleichen Grössen vorkommen [Messungen und Wägungen], so will ich die einfachen Begriffe hier kurz aufzählen, im Uebrigen aber auf die Specialliteratur verweisen.

648. Zufällige Fehler sind solche Fehler, die im Einzelnen keinerlei Gesetzmässigkeit zeigen, sondern lediglich durch den Zufall bedingt sind. Unter einer grossen Zahl von Beobachtungen der gleichen Grösse werden nahezu ebensoviel positive wie negative Fehler gleicher Grösse gefunden, und die kleinen Fehler sind zahlreicher als die grossen.

Hat man die gleiche Grösse durch oft wiederholte Messungen beobachtet, so kommt das Mittel aus allen Messungen der wahren Grösse am nächsten; das Mittel aus allen Beobachtungen ist in diesem Falle der wahrscheinlichste Werth für die gemessene Grösse. Die kleinen Fehler in der Messungsreihe werden sich gegenseitig aufheben, die groben Fehler kommen nur vereinzelt vor, und, soweit sie sich nicht aufheben, werden sie in ihrer Wirkung durch die Mittelbildung verringert.

Aus der Häufigkeit, mit welcher in einer Messungsreihe Fehler von bestimmter Grösse vorkommen, kann man sich ein Bild von der Zuverlässigkeit bilden, mit welcher die Arbeit ausgeführt worden ist. Da man den wahren Werth der gemessenen Grösse nicht kennt, so rechnet man bei der Fehlerrechnung mit dem wahrscheinlichsten Werth der Grösse; im vorausgesetzten Falle also mit dem Mittelwerth. Für jede Messung

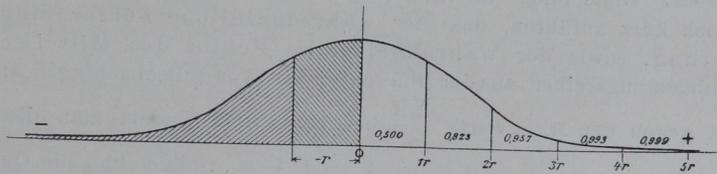


Fig. 435.

bildet man die Differenz zwischen dem gefundenen Werth und dem Mittel und bezeichnet diese Differenz als den Fehler der einzelnen Messung. Wenn diese Fehler einer Messungsreihe rein vom Zufall abhängen, so müssen offenbar grosse und kleine Fehler, positive und negative regellos auf einander folgen. Daher ist es ein Zeichen für die Zuverlässigkeit der Beobachtung, wenn die Vorzeichen regellos stehen und keine gesetzmässigen Häufungen und Anordnungen sich zeigen. Ferner müssen Fehler gleicher Grössenordnung [namentlich die kleinen] nahezu so oft positiv wie negativ auftreten. Dass die Summe aller positiven und negativen Fehler gleich Null ist, ist nach der vorausgesetzten Art der Fehlerbestimmung selbstverständlich. Ist die Zahl der Einzelbeobachtungen, d. h. der Fehler, gross, so muss die Häufigkeit der positiven und negativen Fehler gleicher Grösse ein bestimmtes Gesetz liefern. Ordnet man also die Fehler einer grossen Beobachtungsreihe nach Fehlern gleicher Grösse und gleichen Vorzeichens, so muss eine einwandfreie Reihe das in Fig. 435 dargestellte Bild liefern. Die Kurve hat für die kleinen Fehler ein Maximum und verläuft nach beiden Seiten symmetrisch. Die schraffierte Fläche auf der linken Seite stellt demnach die Summe aller negativen Fehler einer grossen Beobachtungsreihe dar. Diejenige Ordinate, die diese Fläche in zwei gleiche Theile theilt, schneidet als Abscisse die Fehlergrösse $-r$ ab; Gleiches gilt für die positive Seite der Figur. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Fehler kleiner

als $\pm r$ ist, ist also ebenso gross als die Wahrscheinlichkeit dafür, dass er grösser als $\pm r$ ist. Die Grösse $\pm r$ ist ein charakteristisches Maass für die Güte der Messung; man nennt sie den wahrscheinlichen Fehler der Beobachtung.

Ist m die [grosse] Anzahl der Beobachtungen [Fehler], so ist nach Vorstehendem die Zahl der Fehler, die kleiner als $\pm r$ sind, gleich $m \cdot 0,500$ und nach dem bekannten Gesetz, nach dem die Häufigkeit der zufälligen Fehler verläuft, ist die Zahl der Fehler bis zur Grösse von:

$$\begin{aligned}\pm (0 \text{ bis } 1r) &= m \cdot 0,500 \\ \pm (0 \text{ bis } 2r) &= m \cdot 0,823 \\ \pm (0 \text{ bis } 3r) &= m \cdot 0,957 \\ \pm (0 \text{ bis } 4r) &= m \cdot 0,993 \\ \pm (0 \text{ bis } 5r) &= m \cdot 0,999\end{aligned}$$

Hiernach ist also zu erwarten, dass ein Fehler, der grösser ist als $5r$ unter 1000 Fehlern nur einmal vorkommt. In Fig. 435 habe ich in die rechte Hälfte die vorgenannten Zahlenwerthe eingetragen. Man erkennt aus Voraufgehendem leicht die Bedeutung des wahrscheinlichen Fehlers für die Beurtheilung der Güte der Beobachtung.

649. Ohne mich auf den Gegenstand weiter einzulassen, will ich hier noch kurz anführen, dass der wahrscheinliche Fehler einer Beobachtung, sowie der wahrscheinliche Fehler des Mittelwerthes der Beobachtungsreihen, aus der Differenzenreihe von m Beobachtungen A, A', A'' u. s. w. gegen den Mittelwerth $\frac{\sum A}{m}$ bestimmt wird, indem man die Differenzen $\Delta = A - m, \Delta' = A' - m, \Delta'' = A'' - m$.. bildet und die Quadrate $\Delta^2, \Delta'^2, \Delta''^2$ summirt. Aus $\sum \Delta^2$ folgt dann der wahrscheinliche Fehler der einzelnen Beobachtung:

$$r = \pm 0,67449 \sqrt{\frac{\Delta^2}{m-1}}$$

[Für die Rechnung: $\log 0,67449 = 0,8289755 - 1$]

und der wahrscheinliche Fehler des Mittelwerthes der Beobachtungsreihe:

$$r_m = \pm 0,67449 \sqrt{\frac{\Delta^2}{m(m-1)}}$$

Man kann, wie man sieht, die absolute Grösse der Werthe r und r_m durch die Vermehrung der Beobachtungen gleicher Güte verringern, indessen ist es immer vorzuziehen und meistens auch wirtschaftlicher, die Grösse Δ^2 durch die Anwendung möglichster Sorgfalt klein zu halten.

Ueber die weitere Benutzung der Ausgleichrechnung geben die im Literaturverzeichniss genannten Werke Aufschluss (*L 103, 104, 252*).

b) Maassstäbe.

650. Die für Längenmessungen benutzten Maassstäbe sind entweder Strichmaassstäbe oder Endmaassstäbe. Die Strichmaassstäbe sind auf einer Fläche mit Stricheintheilung versehen, durch die mit Untertheilen der

durch den Abstand der Hauptstriche gegebenen Einheit unmittelbar gemessen werden kann. Die Endmaassstäbe stellen immer nur ein bestimmtes Maass dar, das durch den Abstand der beiden Endflächen gegeben ist. Je nach der Art des benutzten Maassstabes ist auch die Art der Messung eine andere, und man kann unterscheiden zwischen Strichmessungen und Endmessungen.

Bei der Strichmessung kann die Messung unter Umständen durch unmittelbaren Vergleich durch Anlegen der zu messenden Länge an den Maassstab erfolgen. Maassstäbe, die für diese Art der Messung bestimmt sind, können als Anlegemaassstäbe bezeichnet werden.

Sehr häufig ist aber das unmittelbare Anlegen des Maassstabes nicht durchführbar, und man benutzt dann besondere Hilfsmittel, um die messende Grösse mit dem Maassstab zu vergleichen, z. B. den Spitzenzirkel, Messmarken, Nonien, Mikroskope, Fernrohre u. s. w., die am Maassstabe bis zur Einstellung auf die Endgrenzen der zu messenden Länge verschoben werden. Bei den Endmessungen muss man fast immer zu solchen Hilfsmitteln greifen und mittelst ihrer auf die Strichmessung übergehen, wenn es sich um die Feststellung handelt, wie viel eine zu messende Länge von dem Endmaassstab abweicht. In der Regel werden aber die eigentlichen Endmaassstäbe in der Technik für die Herstellung gleicher Körper benutzt; die Endmessung kommt dagegen ziemlich oft zur Anwendung, z. B. bei Tastern, Fühlhebeln, Schublehren, Mikrometerschrauben u. f. m.

Hier kann ich nicht eine regelrechte Entwicklung des Messwesens vorführen, ich muss mich vielmehr auf die Punkte beschränken, die ich für die Messungen im Materialprüfungswesen für beachtenswerth halte und will hauptsächlich einige Gesichtspunkte für die praktische Ausführung von Messungen geben, ohne mich an eine bestimmte Ordnung zu binden.

651. Die Sicherheit der Messung an einem Strichmaassstab und an einer Theilung überhaupt ist, ausser von der Richtigkeit des Maassstabes und seiner Theilung [seinen äusseren und inneren Fehlern], abhängig von der Grösse der Theilung. Am sichersten schätzt man erfahrungsgemäss die Zehntel der Theilung, wenn die Entfernung zweier auf einander folgender Striche zwischen 0,8 und 1,3 mm beträgt; feinere und gröbere Theilungen geben grössere Schätzungsfehler. Die Strichdicke, die Schärfe der Striche, der Zustand und die Farbe der Fläche, auf der die Theilung angebracht ist, die Farbe der Striche, sind von Einfluss auf die Grösse des Schätzungsfehlers. Die Strichdicke muss im richtigen Verhältniss zur Grösse der Theilung stehen, wenn nicht der Umstand, dass man unwillkürlich die Zehnteltheilungen neben dem Strich anders einschätzt als das Zehntel in der Mitte der Theilung, stark hervortreten soll. Die Strichränder müssen scharf und glatt sein, namentlich an Maassstäben, die mit Hülfe von Mikroskopen abgelesen werden sollen.

Beim Anlegemaassstab kommt die Beschaffenheit des Maassstabkörpers hinzu. Ein Maassstab mit scharfer schneidenförmiger Kante, wie beim Zeichenmaassstab, gestattet ein viel besseres Anlegen an die Fläche, auf welcher die beiden Endgrenzen der zu messenden Länge angebracht sind, als ein Maassstab von rechteckigem Querschnitt mit dicker Kante. Das Messen mit dem Anlegemaassstab gestaltet sich ohnehin in fast allen Fällen so, dass nicht unmittelbar Maassstabstrich in Strichmarke an zu messenden

Körper übergeht, sondern das Auge des Beobachters muss fast immer die Uebertragung zwischen beiden herstellen. Die Absehnlinie zwischen Maassstabpunkt und Endmarke muss stets senkrecht zur Längsachse der Maassstabtheilung stehen; wenn hierauf nicht geachtet wird, so entsteht der sogenannte parallaktische Fehler. Es tritt bei Punkten, die nicht in einer Ebene liegen, eine scheinbare Verschiebung [Parallaxe] ein, wenn das Auge gegen die Verbindungslinie bewegt wird; ich lese anders ab, wenn ich mit der Absehnlinie ab arbeite, als wenn ich das Auge in die Richtung a_1b bringe (Fig. 436); die Grösse des paral-

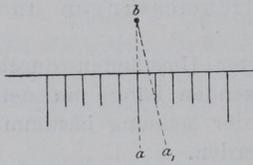


Fig. 436.

laktischen Fehlers ist abhängig von der Neigung der Absehnlinie gegen die Maassstabachse und von der Entfernung der Endmarke b von den Marken des Maassstabes.

Will man scharf messen, so muss auch jener methodische Fehler vermindert werden, der namentlich bei feingetheilten Maassstäben dadurch entsteht, dass man den Nullpunkt der Theilung zum Anlegen an eine Endmarke des Objectes benutzt. Das Auge schätzt die Uebereinstimmung des Endstriches anders als die Uebereinstimmung irgend eines Striches mitten in der Theilung. Man beeinflusst die Messung überhaupt schon einseitig, wenn man einen bestimmten Strich des Maassstabes mit dem einen Endstrich des Objectes zum Einspielen bringt und den anderen an der Theilung abliest; es ist viel richtiger, den Maassstab ganz willkürlich anzulegen, die Ablesungen an beiden Enden durch Schätzung an der Theilung zu machen und die Entfernung als Ablesungsunterschied zu bestimmen.

Die Güte der Beleuchtung, die Bequemlichkeit der Lage von Objekt und Maassstab gegenüber dem Standpunkt des Beobachters, der Umstand, ob dieser in Ruhe, sitzend oder stehend, ablesen kann u. a. m., haben einen viel erheblicheren Einfluss als man im Allgemeinen anzunehmen pflegt. Alle diese Dinge sind auch bei dem im Maschinenbau üblichen Messverfahren und mit den gewöhnlichen Maassstäben leicht dem Maasse nach feststellbar. Um die jungen Leute an zuverlässiges Arbeiten zu gewöhnen und um ihnen die vorgenannten Fehlerquellen einzuprägen, lasse ich in den Uebungen regelmässig eine Reihe von Messungen ausführen, bei denen die einzelnen Gruppen unter verschiedenen Umständen und mit verschiedenartigen Maassstäben die Entfernungen an Strichen auf Metallplatten ausmessen müssen. Von je 10 Beobachtern werden in jeder Gruppe 10 Messungen ausgeführt, die Mittelwerthe gebildet und die wahrscheinlichen Fehler bestimmt, um die persönlichen Fehler auszugleichen und die Ungeschicklichkeit einzelner Beobachter unschädlich zu machen. Eine solche Gruppe von Messungen eines Jahrganges theile ich hier in Tab. 44 mit.

Tabelle 44. **Wahrscheinliche Fehler für die Längenmessung zwischen Strichmarken mit Maassstäben von verschiedener Theilung.**

Alle Werthe beziehen sich auf je 30 Ablesungen.

Grösse der Theilung in mm	Wahrscheinliche Fehler				Art des Maassstabes:
	der Beobachtung in Theilungen	in mm	des Mittelwerthes in Theilungen	in mm	
3	0,0038	0,0114	0,0007	0,0021	schräge Kante, Messing. der gleiche Maassstab.
3	0,0080	0,0240	0,0015	0,0045	
1	0,0199	0,0199	0,0036	0,0036	gew. Millimeterstab, Kante 1,5 mm dick.
1	0,0038	0,0038	0,0007	0,0007	schräge Kante, Holz. der gleiche Maassstab.
1	0,0057	0,0057	0,0010	0,0010	
0,5	0,0230	0,0115	0,0048	0,0096	schräge Kante, Elfenbein. der gleiche Maassstab.
0,5	0,0144	0,0072	0,0026	0,0013	

652. Als Werkzeuge für Endmessungen kommen im Maschinenbau vornehmlich die Tasterzirkel vor; sie werden im Materialprüfungswesen fast gar nicht mehr benutzt. Den Uebergang zur Strichmessung bilden im Maschinenbau die Schublehren und die Schraubenlehren; beide werden im Materialprüfungswesen ausgiebig benutzt.

Die Schublehren gestatten mit Hilfe von Nonien in der Regel die Ablesungen bis auf 0,1 mm und Schätzung bis auf 0,05 mm; die Schraubenlehren lassen 0,01 mm ablesen und 0,001 mm schätzen. Aber die im Handel befindlichen Instrumente sind selten so genau gearbeitet, dass diesen Ablesungen und Schätzungen volles Zutrauen geschenkt werden darf. Wer also solche Instrumente zu genauen Messungen gebrauchen will, thut immer gut, sie nur aus anerkannt tüchtigen Werkstätten zu beziehen und sie selbst zu prüfen oder an zuständiger Stelle [wissenschaftliche Institute, Normalaichungsamt, Physikalisch-technische Reichsanstalt u. s. w.] prüfen und beglaubigen zu lassen.

Die Einrichtungen von Tastern, Nonien und Schraubenlehren darf ich hier wohl als bekannt voraussetzen, und es wird genügen, wenn ich hinzufüge, dass die allgemeinen Gesichtspunkte, die im vorigen Absatz entwickelt wurden, sich nach hierher übertragen lassen und dass ich auf die Mikrometerschraube im Abschnitt *c* zurückkommen werde. Hinsichtlich der Nonien sei noch bemerkt, dass es zweckmässig ist, die Nonien noch mit Uebertheilungen [über das Maass von 9 Theilungen der Hauptstäbe hinaus] versehen zu lassen. Dann kann der Hauptmaassstab leicht auf seine etwaigen Theilungsfehler untersucht werden, indem man mit Hilfe des Nonius die Längen zwischen den Strichen gleicher Ordnung über den ganzen Maassstab an mehreren Messungsreihen bestimmt und die wahrscheinlichen Fehler berechnet.

c) Mikrometerschrauben.

653. Ausser in den Schraubenlehren wird im Materialprüfungswesen von den Mikrometerschrauben für allerlei Arten von Feinmessungen ein sehr ausgiebiger Gebrauch gemacht. Die nachfolgenden Beschreibungen von Instrumenten für die Formänderungsmessung während des Versuches wird erkennen lassen, wie sehr die Vorliebe für Mikrometerschrauben in einzelnen Ländern verbreitet ist. Deswegen ist es angezeigt, ihre Eigenschaften hier ein wenig eingehender zu beleuchten, wenn es selbstverständlich auch ausgeschlossen ist, dieses sehr weitläufige Feld erschöpfend zu behandeln.

Im Abs. 80 habe ich kurz die Uebelstände angedeutet, die mit dem Gebrauch der Mikrometerschraube verbunden sind, wenn man sie für die Materialprüfung benutzen will. Die Mikrometerschraube ist ein vorzügliches und praktisches Hilfsmittel, wenn man sie nur zur Messung sehr kleiner Längen [Zwischenmessung von Untertheilungen — Fadenkreuzverschiebungen —] benutzt, aber sie wird umständlich und unpraktisch, wenn man grössere Längenänderungen messen will, die viele Schraubenumdrehungen erfordern.

654. Die Fehler eines Schraubenmikrometers kann man, wie folgt, einordnen:

- a) Fehler der Schraube selbst,
- b) Fehler der Bewegung [Fehler des Instrumentes].

Unter die Fehler der Schraube kann man besonders

- 1) die Abweichung der Spindel vom Cylinder,
- 2) die fortschreitenden und
- 3) die periodischen Fehler

des Gewindes rechnen.

Die Fehler der Lagerung sind sehr mannigfaltiger Natur; sie können unter Umständen auch dann Anlass zu periodischen Fehlern geben, wenn das Schraubengewinde selbst ganz fehlerfrei ist.

655. Schrauben mit merklichen fortschreitenden Fehlern sollte man überhaupt zur Messung nicht verwenden, weil sie von groben Fehlern in der Herstellung zeugen. Der fortschreitende Fehler ist vorhanden, wenn ein Mikrometer für das gleiche Objekt beim Ausmessen mit verschiedenen Stellen des Gewindes und bei jedesmaligem Ausgehen von der gleichen Trommeltheilung wachsende oder abnehmende Längen ergibt.

Wenn man sich eine richtige Schraubenlinie vom Cylinder abgewickelt denkt, so ergibt sich bekanntlich eine unter dem Steigungswinkel α der Schraube geneigte gerade Linie a , Fig. 437. Die mit einem fortschreitenden

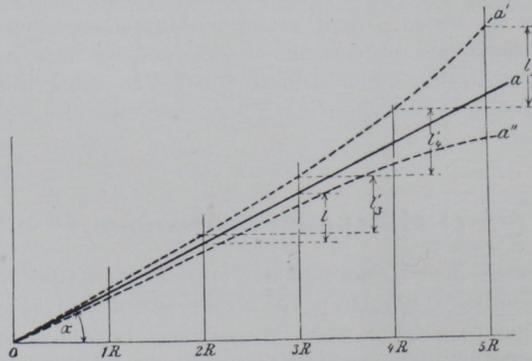


Fig. 437.

Fehler behaftete Schraube wird als Abwicklung eine gekrümmte Linie a' oder a'' geben. Eine volle Trommeldrehung, z. B. von $2R$ bis $3R$ wird bei einer richtigen Schraube, wie bei allen anderen vollen Trommeldrehungen, die Verschiebung l des Mikrometerfadens liefern. Die die Linie a' ergebende Schraube mit fortschreitenden Fehlern liefert aber für die Trommeldrehung von R_2 bis R_3 nicht l sondern l'_3 , während für die volle Drehung $R_3 - R_4 = l'_4$ und für $R_4 - R_5 = l'_5$ gefunden wird, wobei $l'_5 > l'_4 > l'_3$ u. s. f. wird. Wollte man also eine solche fehlerhafte Schraube benutzen, so müsste man für jede Trommeldrehung d. h. für jeden Schraubengang eine andere Korrektionstabelle aufstellen und das Messungsergebniss hiernach berichtigen.

656. Eine Schraube, die für jede volle Trommeldrehung oder, allgemeiner gesagt, für jede gleiche Trommeldrehung, die an gleichnamigen Stellen der Trommel [Bezifferung] beginnt, gleiche Verschiebung des Fadens liefert,

kann trotzdem mit sehr merklichen Fehlern behaftet sein. Diese Fehler erkennt man erst dann, wenn man das gleiche Objekt ausmisst, indem man nach einander von verschiedenen Anfangsablesungen an der Trommel ausgeht und die erhaltenen Ergebnisse mit einander vergleicht. Alle Messungen von gleicher Trommelstelle aus werden gleiche Werthe für l liefern, aber die mit dem Beginn von $0,1 R$, $0,2 R$, $0,3 R \dots$ aus gefundenen Werthe werden sich ändern; sie stellen eine Periode dar. Diese Art von Fehlern nennt man die periodischen Fehler; ihre Ursache kann sowohl in der Schraube selbst, als auch im Instrument liegen (654). Eine Schraubenlinie mit periodischen Fehlern [aber frei von fortschreitenden] wird sich nicht als gerade Linie a , Fig. 438, abwickeln, sondern eine Wellenlinie bilden, etwa von der Art, wie sie in a' abgebildet ist.

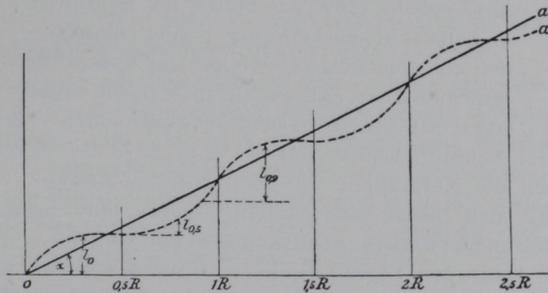


Fig. 438.

Ein Mikrometerwerk mit den durch die Linie a' dargestellten periodischen Fehlern wird beispielsweise für die Trommeldrehung $0,3 R$ die verschieden grossen Verschiebungen l_0 , $l_{0,5}$ und $l_{0,9}$ liefern, wenn die Bewegung nach einander von $0,0 R$, $0,5 R$ und $0,9 R$, oder von $1,0 R$, $1,5 R$ und $1,9 R$ u. s. f. begonnen wurde. Für diese Schraube braucht man nur eine Korrekturabelle aufzustellen, die eine einzige Trommeldrehung umfasst. Bei der Fehlerbestimmung hat man selbstverständlich eine grössere Zahl von Messungsreihen über alle diejenigen Gewindegänge auszudehnen, die später für Messungen benutzt werden sollen. Man bildet dann die Fehlermittel für die Messungen des gleichen Objectes von gleichnamigen Ausgangsstellen aus [Trommeltheilen] und verzeichnet hiernach die Fehlerkurve [Periode]. Solche Messungen sind zeitraubend und müssen von Zeit zu Zeit wiederholt werden, weil die Konstanten des Apparates sich ändern können; insbesondere können sich auch die Ursachen für die periodischen Fehler des Instrumentes ändern (654, 657 und 664); diese Aenderungen sind meistens äusserlich nicht erkennbar. Mikrometerwerke müssen aus diesem Grunde sehr sorgfältig aufbewahrt und behandelt werden, wenn man sichere Messungen erzielen will. Das gilt aber ganz besonders von Instrumenten mit so feinem Gewinde, wie es bei den Betrachtungen in Abs. 80 vorausgesetzt wurde.

657. Die Fehler der Schraube [des Gewindes] entstehen immer bei der Herstellung. Ihre Ursachen sind oft so versteckter Art, dass ein sehr eingehendes, aber auch ein sehr lehrreiches Studium nothwendig ist, um sie zu ergründen. Hier kann ich nicht darauf eingehen, sondern ver-

weise die Leser, die sich dafür interessieren, auf die zahlreichen Abhandlungen in den verschiedenen Jahrgängen der „Zeitschrift für Instrumentenkunde“ und anderen Fachzeitschriften.

Wie selbst in der Wirkung der Schraube mit fehlerfreiem Gewinde periodische Fehler begründet sein können, möchte ich an einem übertriebenen Beispiel erläutern. In Fig. 439 sei S die Spitze einer Mikrometerschraube, gegen die durch den Druck F einer Feder die ebene Kontaktfläche K angedrückt wird; diese Fläche sei, in fehlerhafter Ausführung, gegen die Umdrehungsachse der Schraubenspindel geneigt. Dieser Fehler ist offenbar bedeutungslos, so lange die Spitze der Schraube nicht schlägt. Die Fadenkreuzverschiebung wird dann, der fehlerlosen Schraube entsprechend, fehlerlos vor sich gehen. Aber sobald etwa die Spitze der Schraube excentrisch ist, so muss ein periodischer Fehler eintreten, dessen Grösse sich aus dem Neigungswinkel der Kontaktfläche und der Excentricität der Schraubenspitze leicht ergibt; eine Periode von 0,001 mm wird beispielsweise schon erzeugt, wenn die

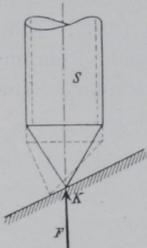


Fig. 439.

Excentricität der Schraubenspitze nur 0,1 mm und die Neigung der Kontaktebene gegen die Normallage nur 17,2 Minuten beträgt.

658. Mit den bisher aufgezählten Fehlern sind jedoch die Fehlerquellen des Mikrometerwerkes noch keineswegs erschöpft. Jede Schlittenführung kann Anlass zu Fehlern geben. Ganz besonders aber hat man den todtten Gang der Mikrometerschraube in ihrer Mutter oder der Instrumententheile gegen einander zu beachten. Die Nichtbeachtung dieser Fehlerquelle kann sehr erhebliche Unsicherheiten der Messung erzeugen. Die Schraube muss in der Mutter einen ganz sanften gleichmässigen Gang haben, daher darf sie nicht vollkommen schliessend in die Mutter passen, und zwar um so weniger als die gute Erhaltung der Gewindeflächen ja auch noch die Schmierung nothwendig macht. Der Mechaniker strebt den todtten Gang durch Gegenfedern zu verbessern, die die Schlitten stets in eine Richtung gegen die Schraube anpressen. Dadurch soll erreicht werden, dass immer nur die eine Seite der Gewindegänge in gleicher Weise zum Anliegen kommt. Bei geschmierten Schrauben ist das nur bedingungsweise der Fall, wie aus Fig. 440

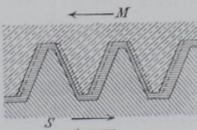


Fig. 440.

einleuchtet wird. Die Mutter M wird durch die Federn stets nach der bei M verzeichneten Pfeilrichtung gedrückt. Die Schraube S wird die Mutter bei der Vorwärtsdrehung im Sinne des ausgezogenen und bei der Rückwärtsdrehung im Sinne des punktierten Pfeiles S verschieben wollen. Beim Drehen im ersten Sinne schiebt die Schraube die Mutter; die Gegenfeder wird stärker gespannt; die Schraube hat Federspannung und Reibungswiderstand zu überwinden. Beim Drehen nach der anderen Richtung schiebt die Feder die Mutter; die Feder vermindert ihre Spannung; sie hat die Reibungswiderstände zu überwinden. Man sieht hier leicht die Ursachen gesetzmässig verlaufender Fehler, die in der Regel sehr klein sind, bei Schrauben für sehr genaue Messungen aber beachtet werden müssen. Bei jeder Bewegungsumkehr muss das Schmieröl von der einen Seite der Gänge auf die andere fliessen, weil die Breite der Zwischenräume dem wechselnden Gegen-

druck entsprechend sich ändern muss, wie in Fig. 440 durch die punktirte Lage der Mutter angedeutet ist. Weil nun aber der Gegendruck mit der Spannung der Gegenfeder selbst wechselt, so ist die Schichtendicke des Schmieröls zwischen den gepressten Flächen für jede Schraubenstellung eine andere. Das giebt [wenn auch sehr kleine] Fehler von der Ordnung der fortschreitenden Fehler. Aber auch die Zeit spielt noch eine Rolle, denn da sich das Oel zwischen Flächen von sehr geringem Abstände bewegen muss und die Druckunterschiede ja durch Auswahl weicher Gegenfedern klein gemacht zu werden pflegen, so vergeht immer ziemlich viel Zeit, bevor unter den Druckschwankungen das Oel von der einen Seite zur anderen fließt; das muss natürlich Fehler bewirken, weil der Schlitten noch eine Bewegung erfahren kann, wenn die Schraube schon in Ruhe ist. Alle diese Fehler sind indessen in der Regel sehr klein; man müsste sie aber sicher beachten, wenn man die Mikrometerschrauben auf die Leistungsfähigkeit unserer Spiegelapparate bringen wollte.

659. Ich habe die Besprechung etwas weiter ausgesponnen, als dies bei Besprechung von Messwerkzeugen für die Technik gebräuchlich ist. Es lag mir aber daran, die übliche Vertrauensseligkeit, welche die Technik zuweilen selbst augenscheinlich bedenklichen Mikrometerschrauben entgegenbringt, ein klein wenig aufzurütteln und zugleich später nicht nöthig zu haben, bei Besprechung der einzelnen Instrumente auf diese immer wiederkehrenden Thatsachen hinweisen zu müssen.

d) Mikroskop- und Fernrohrmikrometer.

660. Die Mikrometerschrauben sind ausserordentlich werthvolle Instrumente in Verbindung mit Ablesemikroskopen oder Ablesefernrohren, bei denen es immer nur darauf ankommt, einige Umdrehungen der Schraube zur Messung der Fadenverschiebung im Gesichtsfelde der Instrumente zu benutzen.

Die für diesen Zweck gebrauchten Mikrometerwerke sind in besonderen Kästen im Tubus der Instrumente angebracht. Sie enthalten einen Schlitten, auf welchem Fadenkreuze oder Parallelfäden [Spinnenfäden, Quarzfäden] ausgespannt oder feine Sriche auf Glasplatten eingeritzt sind. Diese Fäden werden mit dem Schlitten durch die Mikrometerschraube gegen feststehende Marken oder feststehende Striche verschoben. Die festen und die beweglichen Marken [Fäden] des Mikrometers müssen möglichst in einer Ebene liegen. Auf sie wird zunächst ein über ihnen angebrachtes Okular scharf eingestellt; dann wird das Instrument [Mikroskop oder Fernrohr] auf das Objekt so eingerichtet, dass sein Bild genau in die Ebene der Mikrometerfäden fällt, damit die Ablesung ohne nennenswerthen parallaxtischen Fehler erfolgen kann. Ob dieses Zusammenfallen von Bildebene und Fadenebene hinreichend gut erreicht ist, erkennt man bei Hinundherbewegung des Auges vor dem Okular. Bild und Fadenkreuz dürfen dann keine scheinbare Verschiebung zeigen.

661. Wenn Fadenmikrometer für die Ausmessung grösserer Unterschiede im Bilde benutzt werden müssen, also mehrere Umdrehungen der Mikrometerschraube erforderlich werden, so sind meistens Vorkehrungen getroffen, die erkennen lassen, wie viel Umgänge von der Nullstellung aus

erforderlich werden, um den beweglichen Faden auf das Objekt einzustellen, das heisst mit anderen Worten, welcher Schraubengang zur Messung benutzt wurde. Diese Einrichtungen bestehen in den

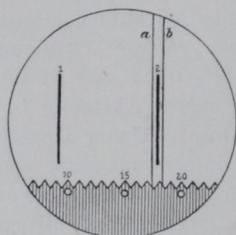


Fig. 441.

einfacheren Instrumenten in der Regel aus sogenannten Rechen, deren Zähne die ganzen Trommeldrehungen anzeigen; sie erscheinen im Bilde, wie Fig. 441 zeigt; jeder fünfte Zahn ist mit einem Loch versehen. Diese Zähne hat man sich beziffert zu denken [etwa mit 10, 15, 20, wie in Fig. 441 angedeutet]. Der bewegliche Doppelfaden wird

[wenn man nicht den Werth der Theilungen schon durch besondere Versuchsreihen vorher ermittelt hatte] nach einander auf beide Strichmarken der abzulesenden Theilung [Striche 1 u. 2] im Bilde eingestellt. Die Ablesungen am Rechen und an der Mikrometertrommel mögen beispielsweise ergeben:

$$\begin{array}{l} \text{Strich 1, Ablesung } 8,823 R \\ \text{Strich 2, Ablesung } 17,747 R \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{Strich 1, Ablesung } 8,823 R \\ \text{Strich 2, Ablesung } 17,747 R \end{array}} \right\} \text{Unterschied } 8,924 R.$$

Gehören die Striche 1 und 2 einem Millimetermaassstabe an, so ist also:

$$1 \text{ mm} = 8,924 R.$$

Daher steht die Gesichtsfeldmitte [Rechenzahl 15] ein auf:

$$1 + \frac{15,000 - 8,823}{8,924} \text{ mm} = 1,692 \text{ mm}.$$

Bei dieser Art der Ablesung beider Striche macht man sich von den Einstellungsfehlern des Mikroskopes, d. h. von dessen Vergrösserung, unabhängig, ebenso von der Kenntniss des absoluten Werthes einer Schraubenumdrehung und gewinnt in jeder Messung zugleich einen neuen Werth für die Bestimmung der Theilungswerthe an der abgelesenen Theilung.

662. Die neueren Mikrometer sind meistens mit Strichmarken versehen, die auf Glas aufgetragen sind. Dann sind statt des Rechens in der Regel bezifferte Skalen auf der festen Glasplatte angebracht, sodass man die Einstellung der verschiebbaren Glasplatte nach ganzen Trommelumdrehungen sofort an der Skala abliest. Die Auszählung am Rechen fällt fort.

663. Damit der Trommelnullpunkt nahezu [mehr ist nicht nöthig] bei Einstellung des beweglichen Fadens auf den festen [Gesichtsfeldmitte] auf die Strichmarke einspielt, pflegt die Trommel auf ihrem konischen Sitz mit harter Reibung drehbar befestigt zu sein; man kann sie also durch Drehen auf der Achse in die richtige Stellung bringen.

664. Der bewegliche Faden der Mikrometer wird in der Regel als Doppelfaden [a b, Fig. 441] angewendet so, dass man die Strichmarke zwischen beide Fäden einstellen muss, was sich schärfer bewirken lässt, als die Einstellung eines dunklen Striches auf die schwarze Strichmarke. Dass, zur Verminderung der Fehler aus dem toten Gang, die Einstellung auf beide Striche von der gleichen Seite, entweder von rechts oder von links her, erfolgen muss, sei hier wiederholt erwähnt. Der Betrag des toten

Ganges lässt sich übrigens sehr leicht ermitteln, indem man einmal beide Striche von rechts und dann beide Striche von links her einstellt; die Unterschiede für den gleichen Strich geben den Betrag des toten Ganges.

665. Ein vorzügliches Messinstrument, bei dem die zuletzt beschriebene Einrichtung benutzt wurde, ist der Dickenmesser [Modell III] nach Abbe, von Carl Zeiss in Jena gefertigt (*L 56*, 1892, S. 307).¹⁾ Der Apparat ist so konstruiert, dass die Messung durch eine Längentheilung

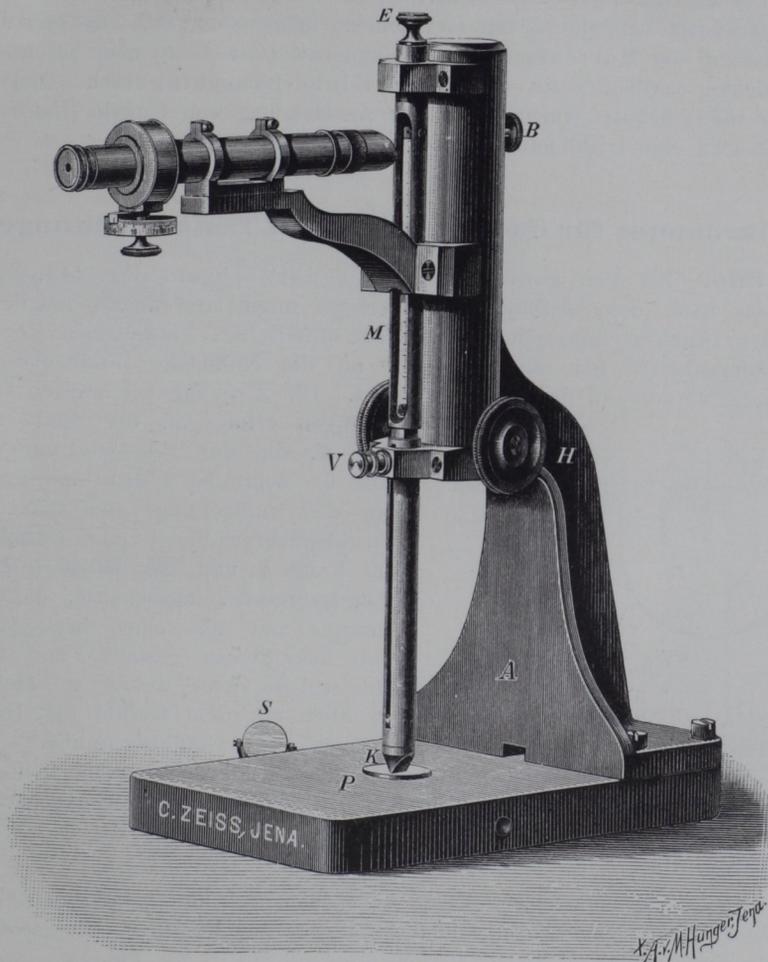


Fig. 442.

geschieht, mit der die zu messende Strecke unmittelbar verglichen wird; diese bildet die geradlinige Fortsetzung des

¹⁾ Die Firma baut auch noch ein kleineres Modell II dieses Apparates. Bei diesem Apparat ist statt des Fusses *A* ein Prisma von dreieckigem Querschnitt verwendet, an dem man den Maassstab- und Mikroskopträger in der Höhe so einstellen kann, dass Längenunterschiede bis zu 50 mm an Körpern von Längen bis zu 200 mm unmittelbar gemessen werden können. Die Messung der ganzen Länge erfolgt unter Zuhilfenahme von Normalendmaassen. Der Maassstab selbst ist 50 mm lang.

Maassstabes. Abbe wandte diese Konstruktionsgrundsätze an, weil Längentheilungen leicht genau hergestellt werden können und weil sie mit Hilfe des Ablesemikroskopes nach dem in Abs. 661 mitgetheilten Verfahren leicht auf ihre inneren Fehler untersucht werden können. Wenn die zu messende Strecke in der gleichen Linie mit der messenden liegt, so können Fehler in den Schlittenführungen des Instrumentes nur von sehr kleinem Einfluss auf das Messungsergebniss werden.

Der für die Versuchsanstalt zu Charlottenburg erworbene Apparat gestattet Längen bis zu 100 mm zu messen; er soll zur genauen Ausmessung der Martensschen Spiegelapparate (692—699) noch besonders eingerichtet werden, wozu bisher der Klebe-Bauschingersche Dickenmesser (669) benutzt wurde. Für die Ausmessung von Kugeln [Fahrradkugel] wird eine Irisblende zum Centriren beigegeben.

e) Mikrometer für Endmessungen mit Tasteinrichtungen.

666. Bei den gewöhnlichen Schraubenlehren, Fig. 443, wird meistens nach dem Gefühl mit der Hand unter Anwendung möglichst gleichen Druckes eingestellt, indem man mittelst des geränderten Kopfes der Schraube 3 bis zum Anliegen an die Nullfläche [Endfläche an Schraube 2] oder an das Objekt vorgeht. Die Ablesung der ganzen Um-

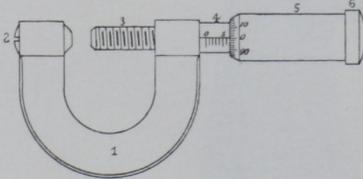


Fig. 443.

drehungen erfolgt an der Skala auf Hülse 4, die der Hundertel an der Hülse 5. Schraube 2 dient zur Regelung der Nullstellung. Bei manchen Schraubenlehren findet man zwischen dem Rand 6 und der Hülse 5 eine Reibungsbremse eingeschaltet, die die Schraube nur mit einer bestimmten Kraft anzupressen gestattet und leer geht, sobald man weiter zu drehen

versucht. Geübte Beobachter arbeiten aber mit dem Gefühl der Hand mindestens ebenso sicher, wie mit der sogenannten Gefühlsschraube.

Wenn die Dicke weicher Körper festzustellen ist, so versieht man die Enden der Schrauben 2 und 3 mit Schuhen, die grosse Berührungsflächen bieten, um übermässiges Zusammendrücken zu verhüten [Papier, Leder, Stoffe u. s. w.].

667. Für manche Zwecke ist es bequem sich eines schwachen elektrischen Stromes zur Anzeige der Berührung zu bedienen, weil hierbei grosse Empfindlichkeit erzielt werden kann (*L 215*, S. 21, Fig. 1).

Für die Charlottenburger Anstalt konstruirte ich den in Fig. 444 abgebildeten Mikrometerapparat nach diesem Grundsatz. Der Apparat diente zur Bestimmung der Längenänderungen, die Betonkörper, Fig. 445, von $20 \times 20 \times 75$ cm aus verschiedenen Mischungen bei fortschreitender Erhärtung und beim Wärmewechsel erfuhren. In den Betonkörper war mittelst einer Messingscheibe das Messingrohr 5 eingestampft; im Uebrigen steckte das Rohr ganz frei in dem Betonkörper, da sofort nach Fertigstellung die vorher überschobene Hülse herausgezogen wurde. Mit Hülfe einer Schablone wurden die Messingstifte 2 so in die Körper eingeformt,

dass sie in allen genau gleich sassen. Diese Stifte 2 hatten Kugelkuppen und dienten einer etwa 15 mm dicken Spiegelglasscheibe 1 als Lager, die die Mikrometerschraube 3 trug, Fig. 444. Die Spiegelglasplatte war an der Unterfläche mit einem Anschlag 6 versehen, dessen einer Ausschnitt sich mit beiden Flächen gegen den durch einen schwarzen Ring bezeichneten Stift 2, Fig. 445, legte und dessen anderer Ausschnitt mit einer Fläche zur Anlage an den zweiten Stift diente; der dritte Stift stützte die Glasplatte frei. Auf diese Weise musste die Glasplatte bei jeder Messung genau in die gleiche Lage kommen und die Mikrometerschraube 3 sicher denselben

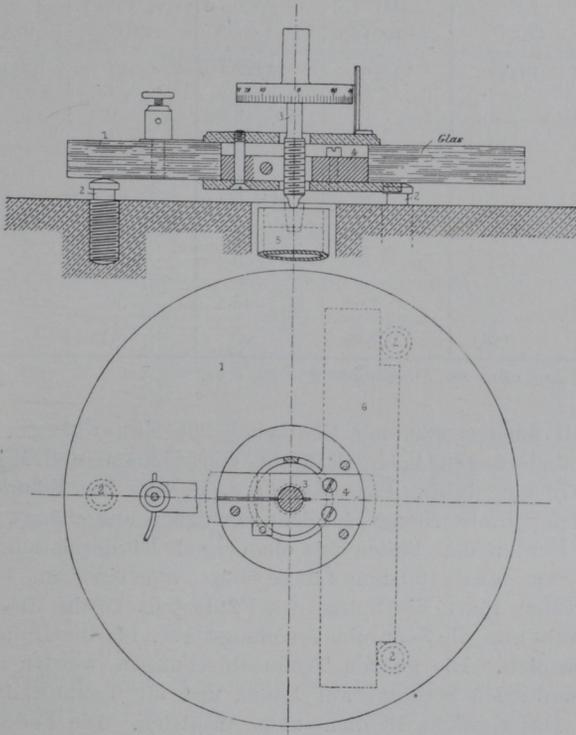


Fig. 444.

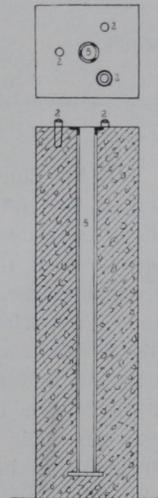


Fig. 445.

Punkt auf der Endfläche des Messingrohres 5 treffen, weil dieses in seiner Höhlung durch Einklemmen von drei Holzkeilchen gegen Seitenverschiebung gesichert war. Das Mikrometer wurde in einen schwachen Stromkreis mit einem Galvanoskop zusammen eingeschaltet. Der andere Draht war mit dem Messingstreifen verbunden. Die Berührung der Schraube mit dem Ende des Messingrohres wurde sehr scharf angezeigt. Um etwaige Veränderungen des Instrumentes, namentlich der Mikrometerschraubenspitze, zu erkennen, wurde nach jeder Messungsreihe immer wieder auf eine Kontrollplatte aus Gusseisen zurückgegangen, die, genau wie die Betonkörper, drei Stifte trug und sorgfältig aufbewahrt wurde. Tab. 45 zeigt eine Reihe von Kontrollmessungen auf der Kontrollplatte, aus welcher hervorgeht, dass die Einstellungen mit Hilfe des elektrischen Stromes als An-

zeiger mit einem wahrscheinlichen Fehler von $0,64 \cdot \frac{1}{2000}$ behaftet sind. Die Trommel des Mikrometers ist in 100 Theile getheilt und die Schraube hat zwei Gänge auf 1 mm.

Tabelle 45. **Kontrollmessungen mit dem Glasplatten-Mikrometer.**

Die Messungen I und II wurden im Zimmer; III und IV im Freien ausgeführt, nachdem die Kontrolplatte 1 Stunde draussen war; von den Messungen I bis II und III bis IV blieb das Instrument auf der Platte. Ablesungen in 1/2000 Min.

	9./1. 95. I 21,5 C ⁰	9./1. 95. II 21,5 C ⁰	9./1. 95. III — 1,0 C ⁰	9./1. 95. IV — 1,0 C ⁰	12./1. 95. V 19,0 C ⁰	14./1. 95. VI 16,5 C ⁰
	13355	13351	13349	13348	13351	13350
	5	2	8	8	1	0
	4	4	8	6	0	0
	3	3	9	7	1	49
	2	4	7	6	1	51
	2	4	5	8	1	49
	4	4	6	8	1	50
	3	3	7	8	1	0
	5	2	7	8	0	0
	4	1	6	8	0	0
Mittel	53,7	52,8	47,2	47,5	50,7	49,9
$r = \pm$	0,78	0,83	0,89	0,57	0,33	0,38

Aus allen 60 Ablesungen $r = \pm 0,64$.

668. Einen Mikrometertaster mit Fühlhebel hat Bauschinger zur Messung der Längenänderungen beim Erhärten von Cement- und Mörtelproben im Jahre 1878 eingeführt, Fig. 446, (L 2, H. 8). Der Ständer 1 trägt, an dem Hebel 5 mittelst Stange 4 leicht beweglich aufgehängt, den Mikrometerbügel 3. Der an den Enden mit eingelegten Körnerplatten versehene Probekörper von etwa 100 mm Länge liegt auf einer an 1 befestigten Unterlage. Man führt die Spitze des Fühlhebels 10 in die eine Marke ein und schraubt nun die Schraube 7 so lange vor, bis der Hebel 10 auf die Marke 11 einspielt. Die ganzen Trommeldrehungen werden an 8 abgelesen. Die Schraube hat 2 Gänge auf 1 mm, und die Trommel ist in 100 Theile getheilt. Das Gewicht 13 dient zum Ausgleich. Die Feder 12 giebt den stets gleichen Gegendruck gegen die Mikrometerschraube. Das Instrument ist in grosser Zahl von dem langjährigen Assistenten Bauschingers, Mechaniker Klebe in München, angefertigt worden.

Für den gleichen Zweck habe ich für die Charlottenburger Versuchsanstalt einen Apparat konstruirt, bei dem die Längenänderungen auf photographischem Wege gleichzeitig an je 10 Probekörpern festgestellt werden können, ohne die Körper nach dem Einsetzen in den Apparat je wieder zu berühren. Nach dem Vorgange von Debray-Paris benutzte ich Fühlhebel 4, die mit dem Körper 3 ein für allemal in Berührung bleiben, in der Anordnung nach Fig. 447. Die Hebelkörper 4 liegen mit einer Schneide von nur 2 mm Länge auf dem Körper 3 und mit zwei in einer Linie liegenden, ebenfalls nur je 2 mm langen Schneiden in den Nuthen des Gestells 1 auf. Dadurch ist der Körper oben sehr sicher und zwanglos in seiner Lage gehalten, unten steht er auf der Spitze der Einstellschraube 2. Der Zeiger des Fühlhebels ist oben schwarz gemacht und spielt ganz nahe an der Millimeterskala 5, ohne sie zu berühren. Die Hebelübersetzung ist 1/20; man kann also die Längenänderungen auf 1/200 mm schätzen. Je 10 Proben stehen in einem Gestell, und 3 Gestelle stehen hinter

einander mit je drei Füßen auf einer gemeinsamen Grundplatte. Die Grundplatte kann an langen Handhaben sehr bequem in ein Wasserbad gesetzt werden, das auf einem Wandkonsol erschütterungsfrei untergebracht ist. Das Wasserbad ist so eingerichtet, dass das Wasser erneuert werden kann, ohne irgend eine Erschütterung. Die Ablesung erfolgt, indem man einfach die drei hinter einander liegenden Skalen photographirt und dann an der entwickelten Platte die Ablesungen vornimmt. Die Uebersetzung kann man leicht bis auf $1/50$ treiben, ohne die Konstruktion zu ändern; mit Hilfe des Grundsatzes meines Spiegelapparates (692—699) würde man sogar mit Leichtigkeit auch $1/100$ oder $1/300$ erreichen können, ohne im Uebrigen an dem eben beschriebenen Verfahren zu ändern. Um praktisch schädliches Treiben bei Bindemitteln zu erkennen, wird die Uebersetzung von $1/20$ ausreichend sein.

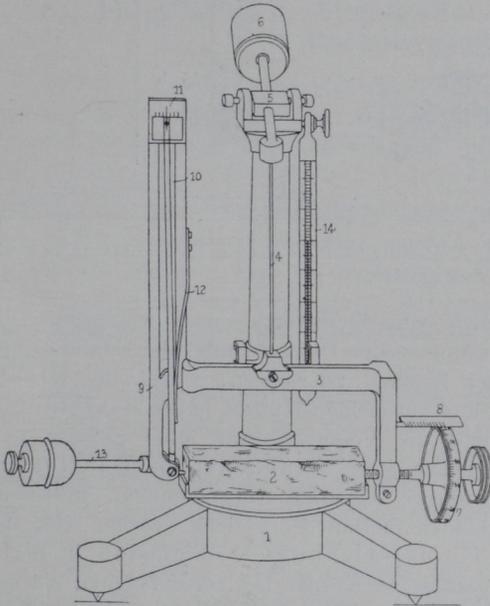


Fig. 446.

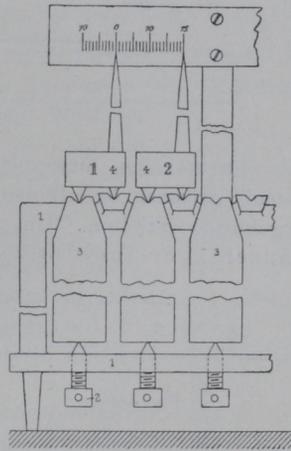


Fig. 447.

669. Unter Benutzung der Bauart des Bauschinger-Tasters, Fig. 445 konstruirte Klebe seinen Dickenmesser, Fig. 448, S. 452. Dieser Apparat wird in der Versuchsanstalt Charlottenburg hauptsächlich benutzt, um die Spiegelapparate Bauschingerscher (690, 691) und Martensscher Bauart (692—699) sowie andere Feinmessapparate auf ihre etwaigen Veränderungen regelmässig zu kontrolliren. Am Gestell 2 ist zwischen Spitzen leicht beweglich der Taster 5 aufgehängt, der mit Schraube 4 gehoben und gesenkt werden kann. Die Umdrehungen der mit fünf Gängen auf 1 mm versehenen Mikrometerschraube 6 werden durch Rädchen 8 gezählt. Die Fühlhebel 14 und 15 zeigen an der Skala 16 die Einstellung an. Diese auf meine Veranlassung angebrachte Skala 16 vergrössert die Sicherheit der Messung wesentlich. Um Dickenmessungen [Rolle des Bauschingerschen Spiegelapparates] vorzunehmen, braucht man dann nur angenähert mit der Mikrometerschraube einzustellen und kann, nach leichtem Anklopfen gegen den Schraubenkopf 4, die letzten Stellen der Messung aus den Indexablesungen entnehmen, indem man diejenige Ablesung, bei der der Fühlhebel seine anfängliche Bewegung beim Weiterdrehen an Schraube 4

umkehrt, als maassgebend aufschreibt. Der dann an Skala 16 abgelesene positive oder negative Werth, in Schraubenumdrehungen R ausgedrückt, wird der Schraubenablesung hinzugefügt. Der Skalenwerth wurde durch besondere Messungsreihen ermittelt; er ist beim Charlottenburger Instrument im Mittel:

$$1 \text{ Theilung} = (10,75 \pm 0,04) R 10^{-4}.$$

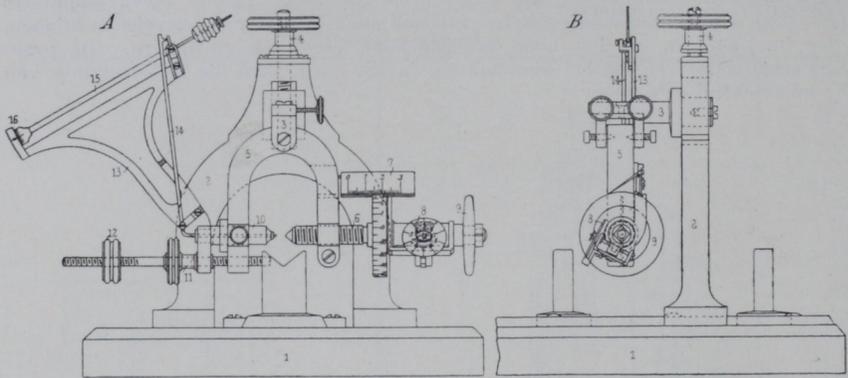


Fig. 448.

Es erschien ausserordentlich wünschenswerth, dass wenigstens die damals grössten öffentlichen Prüfungsstellen Deutschlands übereinstimmende Ergebnisse erzielten. Um diesen Zustand zu sichern, wurde der Klebe-Bauschinger-Taster beschafft, und auf meinen Wunsch haben Bauschinger

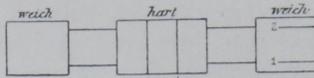


Fig. 449a.

und die Versuchsanstalt eine genaue Vergleichung der Münchener und Charlottenburger Apparate vorgenommen, indem an beiden Stellen der gleiche, vorher von der Normal-Aichungs-Kommission in Berlin gemessene Körper bei verschiedenen Wärmegraden gemessen wurde, um zur selben Zeit die Dehnungszahlen der Instrumente für die Wärme zu ermitteln. Als Normalmaass wurde der in Fig. 449a abgebildete Stahlkörper gewählt, an dem in seinem mittleren harten Theil eine Zone von 4 mm Breite abgegrenzt ist. In der Mitte zwischen beiden Ringen werden die beiden zu einander senkrechten Durchmesser gemessen, die den Markenstrichen 1 und 2 am rechten Ende des Körpers entsprechen. Für beide Durchmesser wurde gefunden:

Durchmesser	Norm. Aich. Komm. mm a	Bauschinger mm b	Versuchs- anstalt mm c	Verhältniss a/c
1—3	9,9830	10,07898	9,97238	1,00106
2—4	9,9822	10,07813	9,97152	1,00107
Unterschied	0,0008	0,00085	0,00086	
Mittel	9,9826	10,07856	9,97195	1,001065

Die auf 20 C^0 umgerechneten Ergebnisse der mit dem Apparat der Versuchsanstalt gefundenen Werthe müssen also mit 1,001065 multipliciert werden, um auf den wahren Werth in Millimetern zu kommen.