

B. Messung der Formänderung während des Versuchs.

670. Nachdem bisher einige häufig wiederkehrende Einrichtungen an Messinstrumenten und einigen Vorrichtungen für bestimmte Zwecke besprochen worden sind, sollen nunmehr besonders diejenigen Instrumente behandelt werden, die zur unmittelbaren Messung der Längenänderungen während des Versuches dienen.

a) Ablesekalen, Anzeigehel, zwangläufige und Reibungsrollen.

671. Einige einfache Ablesemaassstäbe besprach ich schon in Abs. 76, und in Abs. 137 beschrieb ich die Verfahren zur Aufbringung der Theilung für die Bestimmung der Bruchdehnung. In Abs. 156 b habe ich das von mir für die Charlottenburger Versuchsanstalt eingeführte Verfahren beschrieben, bei dem diese Theilungen nach dem Werthe $l_t = 0,565 \sqrt{f}$ ausgeführt und die Dehnungsmaassstäbe nach Procenten der Messlänge eingetheilt werden. Auf die dadurch gebotenen Vortheile will ich hier nur nochmals kurz hinweisen, ohne auf die Einrichtung der einfachen Ablesemaassstäbe weiter einzugehen.

672. Obwohl ich persönlich den Bestrebungen, die Dehnungsmessungen mit einer geringen Vergrösserung anzuzeigen oder ablesen zu können, im Allgemeinen keinen grossen praktischen Werth beilege, so will ich einige Einrichtungen hier doch berühren, weil Andere abweichender Ansicht sind.

Den einfachen Nonius übergehe ich und erwähne nur, dass man sich an manchen Stellen sogar ganz langer Nonien und der Lupen bedient hat, um vielleicht bis zu $\frac{1}{20}$ mm ablesen zu können.

673. Nonienablesung in Verbindung mit einem vergrössernden Hebelwerk ist von W. H. Paine konstruirt und wird von Riehlé Bros.-Philadelphia, Pa., geliefert, Fig. 449b. Der Apparat besteht aus zwei Schiebern, die mit Körnern in den Endmarken der Messlänge mit Hilfe von Klammern befestigt werden, der eine an einem, der andere am anderen Ende. Der linke Schieber trägt eine Theilung, der rechte am unteren Ende einen Nonius zur unmittelbaren Ablesung [wahrscheinlich auf $\frac{1}{100}$ Zoll = 0,025 mm]. Der Vergrösserungshebel ist am oberen Ende des rechten Schiebers befestigt, sein kurzer Arm wird von einem Anschlag am linken Schieber bewegt, während der lange Arm einen Nonius über der zugehörigen Skala verschiebt. Der Hebel wird etwa $\frac{1}{20}$ - oder $\frac{1}{25}$ -fache Uebersetzung haben. Wenn die Skalentheilung nach $\frac{1}{50}$ Zoll [etwa 0,5 mm] gemacht ist, so würde man am Nonius bis auf $\frac{1}{20} \cdot \frac{1}{50} \cdot \frac{1}{20} = \frac{1}{1000}$ Zoll [0,0025 mm] ablesen können; dazu dürfte aber eine Lupe nothwendig

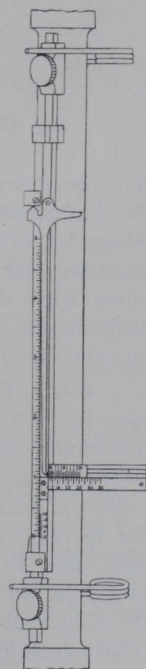


Fig. 449b.

werden. Der Apparat misst nur eine Faser am Stabe; seine Genauigkeit ist abhängig von den Fehlern der Theilung, des Uebersetzungsverhältnisses im Hebel, dem Fehler im Hebelwinkel $[90^\circ \pm \Delta a]$, von dem todtten Gang im Hebeldrehpunkt und von den Biegungen des langen Hebelarmes, die zur Ueberwindung der Reibungswiderstände am Nonius erforderlich sind. Zu beachten ist auch noch, dass der Anschlag an der rechten Schiene genau eben und senkrecht zur Bewegungsrichtung sein muss, wenn er nicht Anlass zu Fehlern geben soll.

674. Der Dehnungsmesser von Prof. Kennedy-London ist in Fig. 450 schematisch dargestellt. Er besteht aus der mit Klemmfeder 5 an den Probestab 1 angedrückten Messfeder 2, die am oberen Ende den zwischen Spitzen laufenden Messhebel 3 trägt. Dieser zeigt an der Skala 4 die Formänderung an. Die Uebersetzung kann man leicht auf $1/50$ bis $1/100$ bringen und kann an einem in mm eingetheilten Kreisbogen dann $1/500$ bis $1/1000$ mm schätzen. Da der Apparat einfach ist und sicher befestigt werden kann, so kann man zuverlässige Angaben erwarten. Biegungen von 2 unter dem Federdruck von 5 können freilich die Einstellung beeinflussen, weil sie auf die Skala übertragen werden; aber da während des Versuches nur geringfügige Spannungsänderungen im Apparat eintreten können, so wird die Messung hierdurch kaum beeinflusst.

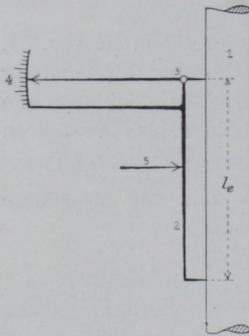


Fig. 450.

Die theoretischen Fehler und diejenigen des Instrumentes lassen sich durch Rechnung und Versuch bestimmen und durch Korrektionstabellen leicht ausgleichen, da die Anfangsstellung des Hebels durch den Skalennullpunkt genau festgelegt ist (89). Der Apparat verdient jedenfalls volle Beachtung. Die Lagerung der Drehachse in Spitzen giebt zu einigen Bedenken Anlass, und daher wird die Leistung wahrscheinlich durch die Güte der Arbeit des Mechanikers beeinflusst sein; aber ein gewissenhafter Beobachter wird ohnehin die Fehler seiner Instrumente feststellen.

675. Unter Anwendung des Grundsatzes von meinem Spiegelapparat habe ich mit gutem Erfolg den Kennedyschen Apparat in die in Fig. 451 gezeichnete Form gebracht, in der er von dem Mechaniker der Charlottenburger Versuchsanstalt E. Böhme für diese Anstalt und für andere mehrfach ausgeführt worden ist. Ich versuchte hierbei dem Apparat das sperrige Aeussere zu nehmen, indem ich die Skalen 6 an das untere Ende der Messfedern 2 verlegte. Die Einrichtung ist im Uebrigen aus dem Abs. 88 und aus der Zeichnung verständlich. Was in Abs. 674 über die Fehlerquellen gesagt ist, gilt auch hier. Einen Ueberblick über die Leistungsfähigkeit der Apparate nach Kennedyscher Bauart giebt folgende Betrachtung. Für Material mit der Dehnungszahl $a = 5.10^{-7}$, für $\Delta\sigma = 100$ at und für $l_e = 20$ cm wird

$$\varepsilon = \sigma a l_e = 100 \cdot 20 \cdot 5 \cdot 10^{-7} = \frac{1}{1000} \text{ cm}$$

oder 0,01 mm, d. h. bei einem einfachen Apparat = 10 Schätzungs- [oder Nonien-] Einheiten und bei zwei Apparaten zusammen 20 Einheiten, wobei man den Ablesungsfehler auf ± 2 Einheiten schätzen darf. Nimmt man

die P-Grenze (37) sehr hoch liegend auf $\sigma_p = 3000$ at an, so würde die Bogenskala etwa 30 mm lang werden; mit 50 mm kommt man also immer aus. In der Regel werden die Apparate für kleinere Messlängen l_e gebaut, weil es unbequem ist, mit so grossen Probelängen zu arbeiten, wie es $l_e = 20$ cm erfordert. Dementsprechend wird die Theilung feiner gemacht und die Uebersetzungsverhältnisse werden abgeändert.

676. Klebe-München hat auf Anregung, die er durch eine Veröffentlichung von Debray-Paris (*L 253*) erhielt, ein Zeigerwerk mit doppelter Uebersetzung gebaut, bei dem statt des ursprünglich einfachen ein Doppelapparat gewählt wurde. Nach diesem Gedanken hat sich dann Bach-Stuttgart einen Apparat bauen lassen. Er hat bei seinem Appa-

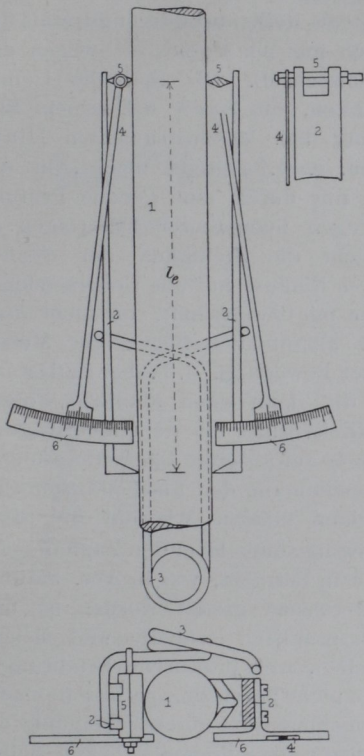


Fig. 451.

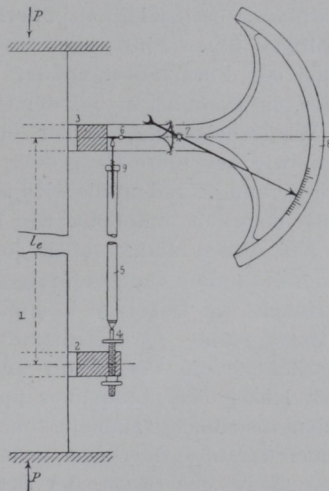


Fig. 452.

rat von der von seinen Vorgängern benutzten Zahnradübertragung abgesehen und statt dessen ein feines Metallband benutzt (547, 548). Die von Bach (*L 27*, 1895, S. 491) verwendete Form eines Apparates ist in Fig. 452 schematisch dargestellt, wie sie für den Druckversuch mit Betonkörpern für $l_e = 75$ cm benutzt worden ist. Die beiden Messapparate sind einander gegenüber in der gleichen Meridianebene des Körpers 1 an den mit je vier Spitzschrauben befestigten Ringen 2 und 3 angebracht. Ring 3 trägt das Doppelhebelwerk 6 und 7 und den Gradbogen 8. Der Ring 2 trägt die Einstellschraube 4, auf der in Spitze und Körner die Steife 5 gestützt ist, die durch Verschraubung 9 der Messlänge l_e angepasst werden kann. Die Steife 5 wirkt auf den Hebel 6, der [in Zapfen gelagert?] die Bewegung mit Hülfe feiner Metallbänder auf die in Zapfen gelagerte Rolle des Zeigerhebels 7 überträgt.

Hinsichtlich des mutmasslichen Genauigkeitsgrades und der Fehlerquellen möchte ich, ohne Anspruch auf erschöpfende Darstellung zu erheben,

kurz auf Folgendes aufmerksam machen. Das Uebersetzungsverhältniss ist auf $1/300$ angegeben. Ist die Theilung am Bogen nach Millimetern ausgeführt, so würde man, abgesehen von dem Fehler, den die Theorie, wegen des Wachstums der Formänderung nach dem Sinus des Hebelausschlages, bringt, $1/3000$ mm schätzen können. Der Fehler der Theorie lässt sich, wenn nöthig, durch Korrektionsstabellen, aber auch durch die Konstruktion beseitigen, wenn man den zwischen den Hebeln 6 u. 7 als zulässig erachteten Grundsatz weiter benutzt, den kurzen Hebelarm von 6 auch als Rolle ausbildet und statt der Steife ein Metallband anwendet [wenn auch nur ein kurzes — wegen der sonst zu schnellen Aufnahme von Wärmewechsel]. Ob aber die Uebertragung durch die Metallbänder die Bedenken, die Bach bei seinem Einwand gegen die Benutzung der Reibung bei Messinstrumenten [Bauschingers Rollen- oder Spiegelapparat u. s. w.] geltend macht, in der That beseitigt werden können, lässt sich nur durch eine genaue Prüfung [Versuch oder Rechnung] feststellen. Wegen mangelnder Unterlagen ist es zur Zeit schwer zu sagen, ob nicht die Steifigkeit der dünnen Metallblätter [Seilsteifigkeit] überhaupt einen Einfluss auf das Uebersetzungsverhältniss übt. Einstweilen erscheint es mir zweifelhaft, ob nicht doch infolge der Formänderung der auf- und ablaufenden Bögen der Metallbänder, im Besonderen bei der Umkehr der Bewegung, d. h. bei Entlastung und Wiederbelastung, Fehler eintreten, die dann auch ähnliche Folgen haben, wie der todte Gang oder etwaige Gleitverlust bei der Uebertragung durch Reibung. Jedenfalls wird man, wenn es auf absolute Längenmessungen und Genauigkeit ankommt, wie bei der Bestimmung der Elasticitätskonstanten, auf diesen Punkt eben so sehr achten müssen, wie auf die Möglichkeit des todtten Ganges infolge von Bewegungsumkehr in den Zapfenlagern der Hebel. Im Uebrigen kommt wohl nur in Betracht, was in Abs. 98 über die Messapparate zur Bestimmung der P-Grenze gesagt worden ist und hauptsächlich die Frage, ob der Apparat praktisch schnelle und sichere Arbeit leistet; das kann aber nur beurtheilen, wer praktische Erfahrungen mit dem Instrument sammeln konnte. Um es nicht unerwähnt zu lassen, mache ich noch darauf aufmerksam, dass streng genommen der untere Stützpunkt der Steifen 5 in der Ebene der Schraubenspitzen des Ringes 2 liegen sollte. Für den Drehpunkt des Hebels 6 ist diese Forderung erfüllt.

Da grosse Uebersetzungsverhältnisse mit einem einzigen Hebel auf verschiedene Weise im allgemeinen leicht zu erzielen sind, so sollte man bei Messinstrumenten thunlichst von mehrfachen Hebelwerken absehen. Ich will als Beispiel für eine solche Konstruktion diejenige von R. Fuess-Steglitz anführen, der die Uebersetzung $1/1000$ nach dem Schema Fig. 453 erzeugte. Er stellt den Hebel aus zwei sauber geschliffenen Schneiden 1 und 2 her, die im Rahmen 5 so befestigt werden, dass die Kanten sich um $0,1$ mm decken. Die Stützschnede 4 legt sich nun gegen die Schneidenkante 1 und die bewegliche Schneide 3 gegen die Schneidenkante 2. Bei einem nur 100 mm langen Zeigerhebel bekommt man also die Uebersetzung $1/1000$.

677. Der Dehnungsmesser von Neel und Clermont (*Z* 18, 1895, S. 575 u. S. 673) ist in Fig. 454 schematisch und in Fig. 455 in den Einzelheiten der Konstruktion dargestellt; in beiden Figuren tragen gleiche Theile gleiche Bezeichnungen. In der oberen Endmarke der Messlänge l_e sind mit den Spitzschrauben 7 die Federn 6 befestigt, deren Länge mittelst der Klemmschrauben 13 geregelt werden kann. An der unteren Marke ist ein Rahmen mit den Spitzschrauben 3 befestigt. Dieser Rahmen

bildet einen Hebel, dessen Endpunkt 2 durch Spitzschrauben mit der Feder 6 verbunden ist, während der andere Endpunkt 4 mittelst Spitzschrauben an einen zweiten Rahmen angreift, welcher den Zeigerhebel 5 bildet und seinerseits durch die Spitzschrauben 1 mit der linken Feder 6 verbunden ist. Der Zeiger 5 zeigt also im vergrösserten Maassstabe die Längenänderungen von l_e an und schreibt die von seiner Spitze zurückgelegten Wege auf die um ihren Aufhängepunkte schwingende Tafel 9. Die Wage wird durch Aufsatzgewichte stufenweise belastet und der Hebel 12 schliesst

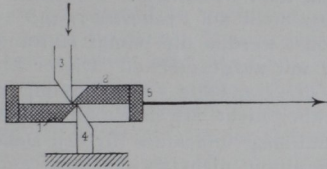


Fig. 453.

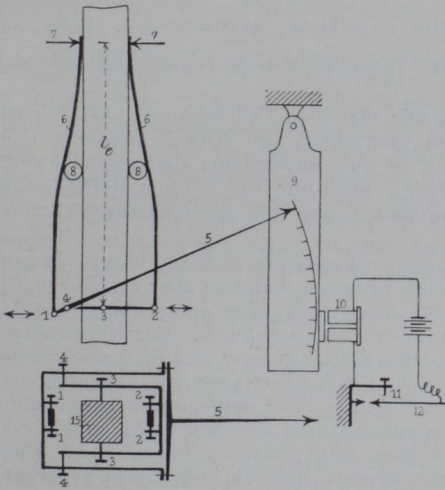


Fig. 454.

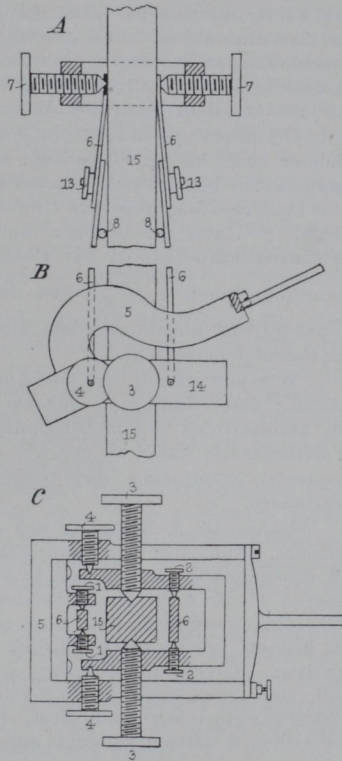


Fig. 455.

dann beim Einspielen den Kontakt 11; der Magnet 10 veranlasst nun einen kleinen Ausschlag von 9, so dass der Zeichenstift eine Marke macht. Der Abstand der Marken giebt für jede Laststufe die Längenänderung von l_e .

Dieser Apparat erfuhr in der oben angegebenen Quelle eine, meiner Meinung nach, überschwängliche Kritik, die mich zu der folgend abgedruckten Entgegnung veranlasste.

Der Gedanke für die Aufzeichnung ist unbedingt geistreich und eigenartig zu nennen, wenn er auch nicht ganz ohne Vorgänger ist. Dem eigentlichen Dehnungszeichner aber stehen einfachere und zweckmässigere gegenüber, unter denen ich, ganz abgesehen von den Spiegelapparaten, den Dehnungszeichner von Kennedy und Unwin nenne; der Kennedysche lässt sich als Ablesungsapparat noch wesentlich verbessern (675).

Das Uebersetzungsverhältniss des Dehnungszeigers, die Konstante C , wird unter der Voraussetzung, dass Hebel $23 = 34 = c$ und die Zeigerlänge $= b$ sei,

$C = \frac{2b}{a} = \frac{500}{1}$ angegeben. Die Länge für den Hebel $\overline{14} = a$ würde also bei der Anwendung eines 250 mm langen Zeigers 1 mm betragen, ein Maass, das an sich praktisch anwendbar ist. Gegen den allgemeinen Grundsatz des Dehnungszeigers liesse sich nur einwenden, dass die am Bogen 9, Fig. 454, gemessene Verlängerung einer Umrechnung bedarf, wenn man genaue Werthe erzielen will; indessen das lässt sich durch Tabellen leicht machen und ist nicht von Belang.

Schwerwiegender aber sind die Einwendungen, die vom versuchstechnischen Standpunkt aus erhoben werden müssen.

Der Referent sagt in seiner Beschreibung nicht, an welcher Stelle die schwingende Glastafel 9 aufgehängt ist; das ist aber wesentlich. Es können merkbare Fehler entstehen, wenn die Aufhängung nicht am Probestab, und zwar in den Markenpunkten, selbst geschieht, denn sonst werden die immer stattfindenden Verschiebungen der Markenpunkte im Raum mit aufgezeichnet. Dieser Einwand würde also grundsätzlicher Natur sein, wenn die gemachte Voraussetzung zutrifft, was ich nach dem Referat wohl vermuthen, aber nicht als sicher annehmen darf.

Die praktische Ausführung des Konstruktionsgrundsatzes für den Dehnungszeichner kann ich, im Gegensatz zu dem Referenten, nicht als geschickt und nachahmenswerth bezeichnen. Ausserdem habe ich die Ueberzeugung, dass eine genaue Fehlerbestimmung ihre Unzulänglichkeit für ein Messwerkzeug leicht ergeben würde. Soll aber der Apparat nur als Bildzeichner dienen, so ist die Bestimmung der Elasticitätszahl [oder der Dehnungszahl = Dehnung der Längeneinheit für die Spannungseinheit $a = \frac{1}{E}$] aus dem Bild unzulässig, weil ungenau. Selbst für diesen Fall ist aber ausserdem die ganze Vorkehrung recht schwerfällig, wie sich aus Folgendem ergibt.

Wie mir scheint, ist der Apparat nur für einen Fall bestimmt, nämlich zur Prüfung eines Stabs von quadratischem Querschnitt von etwa 20 mm Seite [für den Rundstab bis 20 mm Durchmesser ist er wohl anwendbar, aber noch schwerer zu befestigen]; dabei ist er, wie es scheint, auch nur für 200 mm Messlänge (l_0) konstruirt, wenigstens sieht man keine Vorkehrung für die Benutzung kürzerer Messfedern.

Ueber die Anbringung des Apparats am Probestab ist keine nähere Angabe gemacht. Nach der Zeichnung Fig. 455 zu urtheilen, kann er aber bei Stäben, die mit Einspannköpfen versehen sind, nicht angesetzt werden, ohne wenigstens den unteren Theil, d. h. das Hebelwerk, auseinander zu nehmen. Der Konstrukteur giebt dies gewissermassen auch schon dadurch zu, dass er alle Spitzenschrauben mit breiten [geränderten?] Köpfen versieht. Wie kann aber ein Apparat genau arbeiten, in dem die Hebelbewegungen durch 4 Paar Spitzenschrauben bedingt sind, von denen meistens zwei [die Spannschrauben 3] jedesmal gelöst und in rohe Körnerpunkte oder, ohne diese, in den Stab eingepresst werden müssen? Diese Schrauben 3 müssen so stark angespannt werden, dass die Bügel ihre Federkraft geltend machen, denn wenn das nicht geschieht, so wird in Folge der Quersammenziehung des Probestabes während des Versuches, der Apparat in den Punkten 3 lose, und mit der Genauigkeit der Messung ist es vorbei. Wenn aber die Schrauben 3 jedesmal in unkontrollirbarer Weise angezogen werden müssen, sodass der Bügel, der ihre Muttern bildet, nach aussen aufgespannt wird, so müssen die Spitzenschrauben des Zeigerhebels immer eine unkontrollirbare Druckvergrößerung erfahren; wo bleibt da die Genauigkeit der Hebellängen, und wo bleibt die Gleichheit der Reibungswiderstände? Und nun gar erst, welche Zustände treten ein, wenn man jedesmal das ganze Hebelwerk öffnen muss, um den Probestab in das Innere zu bringen? Die Federn 6 werden, durch zwischen sie und den Probestab gespannte Rollen 8, nach der Seite aufgebogen und beanspruchen die Spitzenschrauben in Richtung der Doppelpfeile (Fig. 454), während des Versuches mit wechselnder Spannung. Die Anspannung durch die Rollen ist bei jedem Versuch eine andere. Was wird werden, wenn man die beim Ansetzen nöthigen Arbeiten in einem Hüttenlaboratorium ausführt?

Aber damit sind meine Einwendungen nicht zu Ende. Man hält es allgemein für nothwendig, die Messungen der elastischen Formänderungen an zwei [gegenüberliegenden] Fasern des Stabes vorzunehmen, um wenigstens angenähert

die mittlere Dehnung des Stabes zu bestimmen [genau ist dies ja auch dann nicht möglich, weil die Innenfasern eines homogenen Stabes eine andere Dehnung haben als die Aussenfasern, die allein der Messung zugänglich sind]. Es giebt nun Apparate, die die getrennte Messung beider Fasern vermeiden und durch mechanische Einrichtungen direkt die mittlere Dehnung zur Ablesung bringen wollen [Unwin (704), Hartig (703) u. A.], zu diesen ist der Neel-Clermontsche zu rechnen. Ist diese Lösung vom versuchstechnischen Standpunkt, wenigstens solange es sich um genaue Messungen handelt, auch als schwierig und einstweilen noch als überhaupt bedenklich zu bezeichnen, so muss von dem hier besprochenen Apparat gesagt werden, dass er diese Aufgabe geradezu unglücklich löst [ich bin sicher, dass eine genaue Untersuchung der Fehlerquellen diese meine aus der Zeichnung gewonnenen Anschauungen rechtfertigen wird]. Dies wird einleuchten, wenn man bedenkt, dass die oberen Markenpunkte um 90° gegen die unteren versetzt sind. Es ist, selbst wenn man die Körnerpunkte in den Stäben in einem besonderen Markirkörper ankörnen wollte, schlechterdings unmöglich, den Dehnungszeiger so anzusetzen, dass der obere Theil keinen Zwang auf den unteren, d. h. in erster Linie auf die Körnerspitzen der Hebelwerke, ausübt; wo bleibt da die Genauigkeit der Anzeige? Man hat, wie ich schon sagte, den Grundsatz aufgestellt, dass die Messungen an zwei Aussenfasern stattfinden müssen; dies ist doch nur geschehen, weil man weiss, dass beide Fasern sich sehr häufig verschieden dehnen. Wenn dieser Umstand eintritt, so muss auch hierdurch ein Zwang auf die Hebelspitzen ausgeübt werden, und die unkontrollirbare Beeinflussung des Genauigkeitsgrades kann also auch dann auftreten, wenn der Apparat ursprünglich tadellos angesetzt war.

Die Befestigung der Federn am oberen Ende mittelst der Spitzschrauben ist auch bedenklich, weil sie nicht unter allen Umständen sicher geschieht. Die Schrauben müssen nämlich so stark angezogen sein, dass sie die Löcher in den Federn richtig füllen; zugleich sollen sie aber auch fest in den Körnern sitzen.

Für die grobe Einstellung des Zeigers auf Anfangsstellung ist allerdings Sorge getragen [Schrauben 13], aber wie die Zeigerspitze genau auf die Russchicht der Glasplatte eingestellt wird, ist nicht angedeutet.

Ich habe hier nur ganz flüchtig die Einwendungen geschildert, die man ohne weiteres aus der Konstruktion ableiten kann, und kann mich gar nicht darauf einlassen, näher auf die Fehlerquellen einzugehen, die die mechanische Ausführung bei einer solchen Konstruktion, wie sie hier vorliegt, mit sich bringen muss; man braucht ja nur an die Excentricitätsfehler der Schrauben u. s. w. zu denken, um sich ein Bild hiervon zu machen.

Der Neel-Clermontsche Apparat kann, wie ich zeigte, nicht den Anspruch erheben, ein einwandfreier Messapparat zu sein; er kann höchstens als ein Schaulinienzeichner, von allerdings interessanter Konstruktion nach beachtenswerthen Grundsätzen, bezeichnet werden, aber bevor er zu Messungszwecken benutzt wird, müsste doch eine genaue Bestimmung der Fehlerquellen jedes einzelnen Apparates und zwar vor jedem Versuch vorgenommen werden.

678. Zu den zuletzt (670—677) beschriebenen Apparaten sind auch die früher beschriebenen Einrichtungen zu zählen:

- Abs. 77. Rollenapparat von Bauschinger [wenn mit Schnur benutzt 193, Fig. 136; 204, Fig. 150].
- „ 192. Bauschingers Fühlhebel für Knickversuche (Fig. 135).
- „ 194. Martens, Aufzeichnung mit dem Bauschingerschen Fühlhebel für Knickversuche (Fig. 137).
- „ 195. Ingenieur-Laboratorium, Boston, Mass. Aufzeichnung für Knickversuche (Fig. 138).
- „ 421. Martens, Messung der Umfangänderungen an Gefässen bei der Wasserdruckprobe (Fig. 292).
- „ 532. Martens, Kraftanzeiger für die Pohlmeier Maschine (Taf. 9, Fig. 19—27). [Fehlerbesprechung siehe Abs 534 a—e].

Abs. 543. Wendler, Kraft- und Dehnungszeiger.

„ 544, 545, 548, 549. Leuners Einrichtungen für Kraft- und Dehnungsmessung.

679. Besonders mit Rücksicht auf das in Abs. 534 *k* über die Fehler der Schnuraufwicklung Gesagte möchte ich hier auf die sehr hübsche Lösung in dem Apparat von G. Boley-Esslingen hinweisen, die Bach mitgeteilt hat (*L* 27, 1890, S. 1042). Er benutzt ein V-förmig zugeschnittenes, sehr feines Metallbändchen 1, Fig. 456, das sich in Schraubengängen neben einander um die Achse 2 des Zeigerwerkes legt. Hierdurch ist mehrmaliger Umlauf ermöglicht ohne Erzeugung von Fehlern, wie sie in Abs. 534 behandelt wurden; etwaige Fehler aus der Seilsteifigkeit bleiben natürlich bestehen (676).

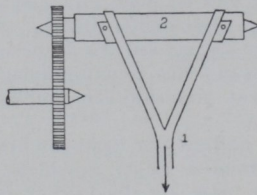


Fig. 456.

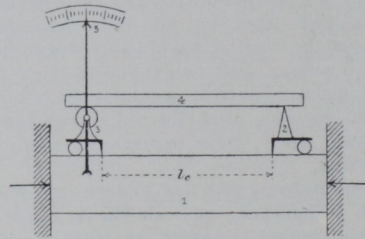


Fig. 457.

680. Die namentlich von Bauschinger zur Geltung gebrachte, an sich wohl schon sehr alte Art der Messung mit Rollengefühlhebeln, Abs. 77 u. 677, verdient wegen ihrer Einfachheit und wegen der Sicherheit der Messungen noch weit mehr Beachtung, als man ihr im Allgemeinen in den Kreisen der Praxis entgegenbrachte. Man kann recht leicht bis auf 0,01 mm Schätzung die Lageänderungen zweier Punkte feststellen. Man kann sogar noch weiter gehen, wenn man eine genau bestimmte Abgrenzung der Messlängen vornimmt, womöglich an mehreren Fasern misst und feinere Rollen anwendet. Wie diese bestimmte Abgrenzung etwa für den Druck- oder Knickversuch anzuwenden ist, deutet Fig. 457 an. Die Stützkörper 2 u. 3 für Schneide und Rolle sind auf einer Seite mit Schneiden in die Endmarken von l_e eingesetzt und an der anderen Seite durch Rollen gegen den Probekörper abgestützt; dadurch ist erreicht, dass diese Körper genau den gegenseitigen Markenverschiebungen folgen und diese durch Stange 4 in Drehbewegung der Rolle 3 auf die Skala übertragen. Ähnliche Stützkörper liess ich für die 500 000 kg Maschine von Hoppe (591—597) anfertigen, welche, als Rollen- und Skalenträger, Apparate aufnehmen können, wie sie in Fig. 458 gezeichnet sind. Dabei habe ich Rollen von etwa 2 mm Durchmesser verwendet und die Theilung so eingerichtet, dass mit zwei gegenüberstehenden Nonien 0,01 mm abgelesen werden können. Durch die Ablesung an beiden Nonien wird der Excentricitätsfehler der Theilung ausgeglichen.

681. Bei den bis jetzt besprochenen Apparaten war die Rollenachse fest in Zapfen oder Spitzen gelagert. Man hat aber auch nach dem Schema Fig. 459 Dehnungsmesser konstruirt, bei denen die Rolle 1 durch Reibung frei schwebend zwischen den beiden Messfedern 2 und 3 erhalten wird. Man kann auf diese Weise ausserordentlich empfindliche, wenn auch nur rohe

Messwerkzeuge mit Hilfe eines Stückchens feinen Stahldrahtes und eines Grashalmes herstellen. Ein Draht von 0,5 mm Durchmesser mit einem Zeiger von 500 mm Länge giebt die Uebersetzung von 1/1000. Unter Umständen sind solche rohen Vorrichtungen ganz nützlich. Der Dehnungsmesser von Strohmeyer ist nach dem in Fig. 459 gegebenen Grundsatz gebaut; Strohmeyer hat gelegentlich Drähte von nur 0,1 mm Durchmesser als Rollen

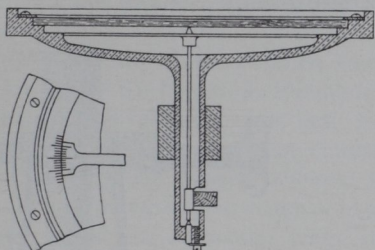


Fig. 458.

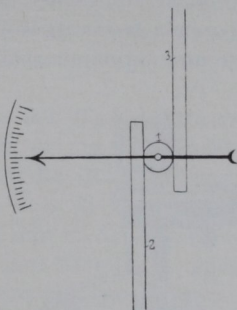


Fig. 459.

verwendet. Bei den Apparaten mit freilaufender Rolle nach Schema Fig. 459 wird aber nur die halbe Relativbewegung der Marken von l_e in Drehbewegung umgesetzt, was nicht ausser Acht gelassen werden darf.

682. Wenn die Messfedern mit Hilfe von Metallbändern oder von Fäden zwangsläufig mit der Rolle verbunden werden (676, Fig. 452), so bekommt man einen sicheren Apparat. Man kann aber auch ganz und gar mit Fäden und Rollen konstruieren und die Rollen ohne jede Zapfen- oder Spitzenführung laufen lassen, wie in Fig. 460 schematisch angedeutet. Die Rolle wird von den Schnurpaaren 2 u. 3 sehr sicher bewegt und in ihrer Lage gehalten, die Spannung wird durch die an die Rollen 8 u. 9 angreifenden Spiralfedern erzeugt. Von Einfluss auf die Drehbewegungen von Rolle 1 sind nur die Längenänderungen zwischen den Punkten 6 u. 7. Sollen genaue Messungen erzielt werden, so muss man selbstverständlich mit zwei Apparaten arbeiten. Man wird wahrscheinlich mit nach diesem Plan gelegentlich benutzten Apparaten ganz leicht für praktische Zwecke brauchbare Ergebnisse erhalten können, wenn andere Hilfsmittel nicht zur Verfügung stehen. Nach den mit einem Kraftanzeiger für die Pohlmeier-Maschine gewonnenen Erfahrungen erwarte ich von der in Fig. 460 angegebenen Uebertragungsweise sogar ganz besonders sichere Ergebnisse, wenn auch nicht zu verkennen ist, dass die Anbringung der Kreistheilung Schwierigkeiten bereitet; indessen lässt sich auch diese Frage lösen. Man kann eine Skala aus dünnem Aluminiumblech auf einen an der Achse 1 angedrehten Zapfen lose aufhängen

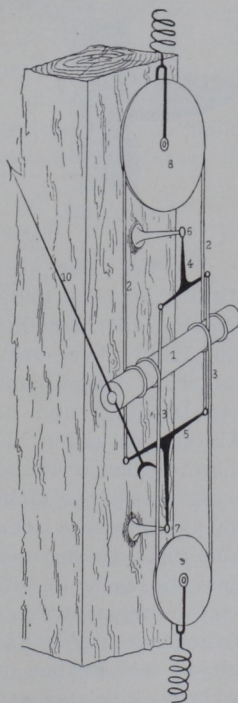


Fig. 460.

und hat dann nur Sorge zu tragen, dass die Skala während des Versuches keine Drehung erfährt, selbst wenn sie mit der Rolle 1 Bewegungen in der Fadenrichtung machen muss. Man kann auch den Kunstgriff brauchen, dass man die Aluminiumskala fest mit der Rolle 1 verbindet und einen parallel zu den Fäden 2 u. 3 vor die Scheibe gespannten Faden als Zeigermarke benutzt. Wenn man die photographische Abbildung zu Hilfe nehmen kann, bedarf es keiner Ablesung und keiner Bogenskala; man kann dann aus den mit fest aufgestelltem Apparat hintereinander gewonnenen Bildern die Drehbewegungen später jederzeit feststellen.

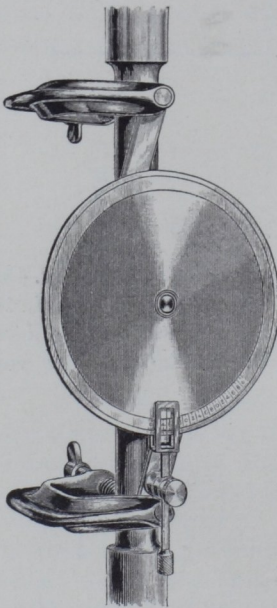


Fig. 461.

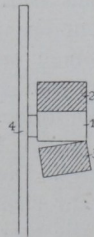


Fig. 462.

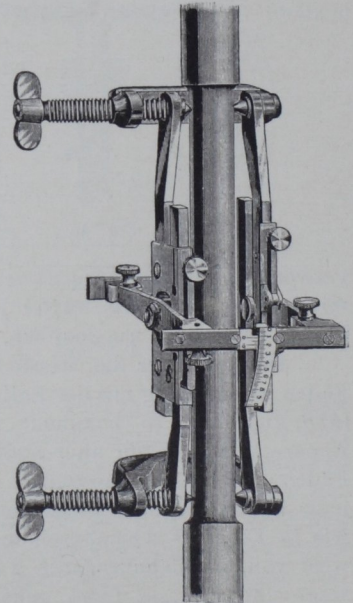


Fig. 463.

683. Der in Fig. 461 abgebildete Dehnungsmesser von Riehle-Buzby ist nach dem Schema Fig. 459 konstruiert. Bei ihm ist die Theilscheibe mit der Rolle 1 fest verbunden, während für die Ablesung ein Haar über einem Spiegelchen von der Skala parallel zur Probestabachse ausgespannt ist. Man bringt das Haar mit dem Spiegelbild zur Deckung und liest nun ohne Parallaxe an der Theilung ab. Die Ablesungen sollen bis auf $1/1000$ Zoll = $0,025$ mm gehen; man wird Zehntel daran schätzen können. Das Instrument misst nur einseitig und kann zweiseitig überhaupt nicht angebracht werden, wenn man nicht zwei Beobachter an die Maschine stellen will. Die Scheibe belastet die Rolle sehr stark und einseitig. In stehenden Maschinen hat man mit dem Umstande zu rechnen, dass die Rolle nur durch Reibung in ihrer Lage gehalten ist. Durch Erschütterungen wird die Reibung vermindert, und deswegen ist man vor Lagenänderungen kaum sicher, die leicht auch von Drehbewegungen begleitet sein können und dann das Ergebniss arg trüben müssten. Sehr wahrscheinlich wird man aus den vorgenannten Gründen in stehenden Maschinen, bei mehrfachem Hinundhergehen zwischen zwei Laststufen, fort-

während Veränderungen der Ablesungen haben, als Zeichen dafür, dass die Uebertragung wegen der Wirkung des Eigengewichtes von Rolle und Scheibe nicht ganz sicher ist. Es wird kaum möglich sein, die Klemmbügel des Apparates so genau anzusetzen, dass die beiden Federn die Rolle sicher zwischen sich aufnehmen, in der Regel wird die Anlage nach Fig. 462 stattfinden. Diesem Uebelstande sucht man zwar, wie beim folgenden Apparat, durch Einschieben der Federenden und beweglichen Theile in ein Gehäuse Einhalt zu thun, aber das giebt dann wieder Zwang und Reibungen, die unübersehbaren Einfluss auf das Messungsergebniss ausüben müssen.

684. Nach dem gleichen Grundsatz wie der Buzby-Messer wird von der Firma Riehlé Bros.-Philadelphia, Pa., ein in Fig. 463 abgebildeter Dehnungsmesser gebaut. Bei ihm ist wenigstens die Grundbedingung für eine zuverlässige Formänderungsmessung erfüllt, dass die Messung an zwei gegenüberliegenden Fasern erfolgen muss. Das mir in der Ausstellung in Chicago vorgelegte Instrument war sehr sauber [aus Aluminium] gearbeitet. Die eine Rolle des Apparates trägt die als Bogenstück gearbeitete Kreistheilung und diejenige des anderen Apparates die Zeigermarke, einen Nonius. Es sind zwei solcher Theilungen und Nonien vorhanden; wie ich mich zu entsinnen glaube, sind die beiden Kreisbögen an der einen, die beiden Nonien an der anderen Rolle angebracht. Die Messfedern sind so gelegt, dass die beiden Rollen sich in entgegengesetztem Sinne drehen. Abgesehen von den Fehlern, die der auf die Federn ausgeübte Zwang, wie beim Buzby-Apparat, verursacht, und abgesehen von der auch hier vorhandenen, immerhin starken einseitigen Rollenbelastung, kommt noch der Umstand störend hinzu, dass die beiden Drehachsen, obwohl sie in der Mitte der Messlänge l_e liegen und deswegen ihren Ort nicht verändern sollten, doch wohl nur sehr selten zu Anfang des Versuches genau in eine Linie fallen oder während des Versuches in einer Linie bleiben. Eine Excentricität zwischen Kreistheilung und Alhidade, wie sie im Schema Fig. 464 in übertriebenem Maasse dargestellt ist, wird also immer vorhanden sein.

Ist sie klein, so wird dies nicht viel auf sich haben; sie wird durch die Doppelablesung ausgeglichen werden. An Stelle der Ablesung $b'b'_1$ macht man bei Eintritt der Excentricität die Ablesungen bb_1 . Hierbei ist natürlich die sicher nicht zutreffende Voraussetzung gemacht, dass keine Excentricitätsfehler der beiden Kreistheilungen und der beiden Nonientheilungen gegen ihre eigenen Rollenachsen vorhanden sind. Da die Kreistheilungen und die Nonien bei verschiedenen dicken Probestäben gegen einander in ihren Schlittenführungen verschoben werden müssen, so ändert sich die Excentricität der Theilungen von einem Versuch zum andern. Das ist mindestens ein sehr unerwünschter Uebelstand, der die Messungsergebnisse unkontrollirbar beeinflusst. Ein Fehler, der bei Eintritt starker Excentricität entstehen muss, ist dadurch bedingt, dass die Ablesungen am Nonius an Zuverlässigkeit einbüßen, weil dann die getheilten Flächen des Kreises und des Nonius Winkel mit einander bilden, oder die einen gegen die anderen zurücktreten, denn beide Theilungen sind auf der Mantelfläche angebracht. Der Apparat ist nach

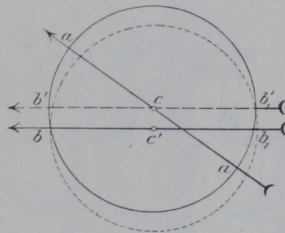


Fig. 464.

1/1000 Zoll geteilt und gestattet mit dem Nonius Ableseungen bis zu 1/10000 Zoll = 0,0025 mm. Die Ableseungen verlangen zwei Beobachter, oder dass der eine Beobachter bei jeder Laststufe um die Maschine herumgeht, um beide Ableseungen machen zu können.

b) Dehnungsmesser mit Mikrometerschrauben.

685. Trotz der früher (80, 653—659) schon mehrfach hervorgehobenen Unbequemlichkeiten, die mit der Benutzung von Mikrometerschrauben für die Formänderungsmessungen im Materialprüfungswesen verbunden sind, erfreuen sich diese Instrumente immer noch weitverbreiteter Benutzung. In einzelnen Ländern scheinen sie sogar den Vorzug zu besitzen, wie aus der nachfolgenden Zusammenstellung hervorgehen wird.

Hier ist nochmals hervorzuheben, dass man die in den Abs. 653—659 entwickelten Dinge sorgfältig beachten muss, wenn man zuverlässige Ergebnisse mit Mikrometerschrauben erzielen will.

686. Von der Firma Riehlé Bros.-Philadelphia, Pa., wird der in Fig. 465 abgebildete Dehnungsmesser angefertigt. Er besteht aus zwei starken Metallringen, die mit Spitzschrauben in den Körnermarken am Probestab befestigt werden. Sie werden durch je zwei Federn in senkrechter Lage zum Probestab erhalten, die Entfernung der beiden Ringebenen wird durch ein Mikrometer-Stichmaass zwischen den Messflächen an den

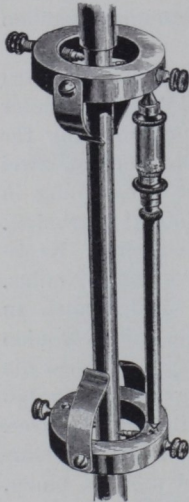


Fig. 465.

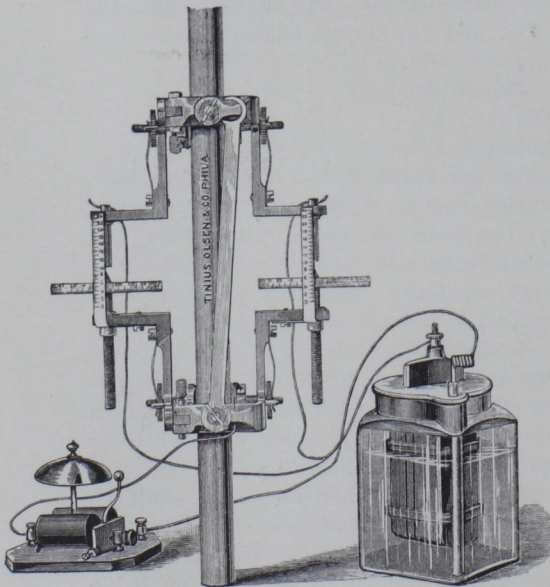


Fig. 466.

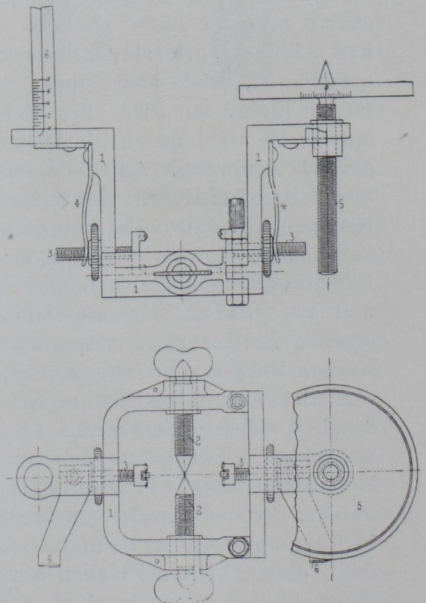


Fig. 467.

Ringen nach jeder Belastung festgestellt. Man hat es also mit nur einem Mikrometer zu thun, den man auf beiden Seiten benutzt. Dabei wird das Strichmaass warm und ändert seine Länge für jeden C^0 und je 10 cm Länge:

$$l \cdot \beta = 10 \cdot 124 \cdot 10^{-7} = 0,0000124 \text{ cm.}$$

Wenn das Mikrometer 0,001 cm ablesen und 0,0001 cm schätzen lässt, so beeinflusst die Erwärmung um $1 C^0$ bereits die Schätzung. Als Fehlerquelle ist, abgesehen von den Schraubenfehlern, zu nennen: dass die Spitzenschrauben keine Federung haben [sie werden schnell lose werden] und dass die Markenflächen für die Mikrometermessung nicht in der Ebene der Befestigungsspitzen liegen. Der durch den letzteren Umstand mögliche Fehler wird indessen wegen seiner Kleinheit im vorliegenden Falle aus der Messung verschwinden, umsomehr als wesentliche Drehungen der Ringe in der Meridianebene, in welcher die Messungen erfolgen, ausgeschlossen sind. Bequem kann man den Apparat wohl nicht nennen, und für feine Messungen reicht er nicht aus.

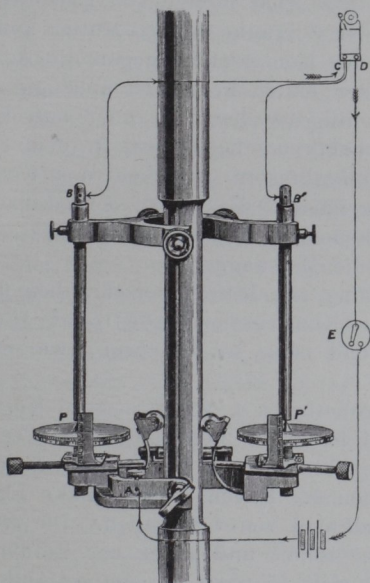


Fig. 468.

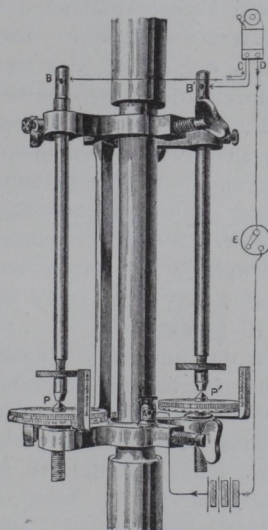


Fig. 469.

687. Drei einander ganz ähnliche Instrumente werden in Amerika benutzt, die in der angeführten Reihenfolge aus einander entstanden sein dürften. Fig. 466 und 467 stellen den Dehnungsmesser von Henning dar, Fig. 468 giebt den Dehnungsmesser von Marshall und 469 den Yale-Apparat wieder. Der Henningsche Apparat wird von Tinius Olsen, die beiden anderen Instrumente werden von Riehlé Bros. geliefert. Henning datirt den Ursprung seines Apparates aus 1884.

Allen gemeinsam ist der Grundsatz der Mikrometerschraube mit elektrischem Fühlwerk. In der Anordnung, namentlich in der Befestigungsart, sind Unterschiede vorhanden. Alle haben Klemmbügel mit Spitzenschrauben

ohne Federspannung. Die Apparate von Henning und Marshall haben daneben Einrichtungen, um die Klemmbügel durch federnde Einstellvorrichtung senkrecht zur Stabachse zu erhalten. Beim Yale-Apparat soll die Stange von rechteckigem Querschnitt, links neben dem Probestab (Fig. 469) die beiden Klemmbügel parallel erhalten und zugleich auch den Apparat beim Ansetzen auf richtige Lage und Messlänge am Probestab bringen. Beim Apparat von Henning wird die Messlänge ebenfalls durch eine nach dem Ansetzen umzuklappende Feder eingestellt; man muss beim Ansetzen beide Bügel öffnen. Bei den beiden anderen Instrumenten kann man die Bügel ohne weiteres über den Probestab schieben, da sie seitlich offen sind. Henning legt den Berührungspunkt seiner Mikrometerschrauben in die Mitte der Messlänge, die beiden anderen Konstruktionen legen sie näher an die Konstruktionsebene des unteren Bügels.

Was die Fehlerquellen anlangt, so sind diese, ausser in den früher besprochenen Fehlern der Schrauben, in dem Umstande zu suchen, dass selbst bei den Apparaten mit Sicherungsvorkehrungen für die Klemmbügelartige Verschiebungen des Berührungspunktes der Mikrometerspitze in der Kontaktfläche vorkommen müssen, und zwar infolge von Excentricität der Spitze, infolge von todttem Gang der Schraube in der Mutter und infolge von Verschiebungen der Achsen der Kontaktstäbe gegen die Achsen der Mikrometerschraube. Die Grösse der ersten Fehler ist abhängig von der Güte der Arbeit des Mechanikers, die des letzteren aber ausserdem noch durch die Eigenschaften des Probekörpers beeinflusst, in dem Falle nämlich, dass die gegenüberliegenden Stabfasern zwischen den Körnerspitzen sich verschieden dehnen. Dann müssen die beiden Kontaktflächen sich gegen die Mikrometerspitzen verschieben, und dann haben die Gestaltfehler der Kontaktflächen Einfluss auf die Messung.

688. Wenn ich schon zur Messung mit Mikrometerschrauben übergehen wollte, so würde ich bei der Konstruktion möglichst jeden Zwang zu vermeiden suchen und etwa so verfahren, wie es in Fig. 470 gezeigt ist.

In der unteren Endmarke des Probestabes 1 wird in zwei Körnern der Ring 10 mit Spitzschraube 11 und Feder 12 befestigt, sodass er um die Spitzen frei schwingen kann. Der seitlich offene Ring trägt die Kontaktflächen für die Mikrometerschrauben 4. Davon ist die linke Fläche noch mit einer Führung 16 für die Endkugel von 4 versehen. Die rechte Kontaktfläche 13 ist durch Hartgummi isolirt und dient zur Zuführung des elektrischen Stromes. Das Gegengewicht 15 sorgt für stetiges Anliegen der linken Kontaktfläche an 4.

In der oberen Endmarke wird ein Cardanisches Ringsystem 2, 3 mit Spitzschraube 6 und Spannfeder 7 befestigt, das die Mikrometerschrauben 4 und die Ableseskalen 5 trägt. Beide Ringe sind offen, sodass der Probestab von der Seite eingeführt werden kann; sie können mit einander durch die Schraube 9 fest verbunden werden, damit zum Aufsuchen der Nullstellung ein ganz bestimmter Zustand geschaffen werden kann.

Dies geschieht, nachdem beide Schrauben 4 auf Null eingestellt sind; dann wird Schraube 9 angezogen, zwischen Federgehäuse und Endmutter ein Passtück 17 geklemmt, das so bemessen ist, dass die Spitze 7 nahezu um die halbe Probestabdicke aus der Ringmitte steht; Schraube 6 wird

zurückgedreht. Hierauf kann der Obertheil als Ganzes über den Stab geschoben und mit den Kugeln auf die Kontaktflächen an Ring 10 gestellt werden. Das obere Ringsystem wird nun nach dem Augenschein centriert, dann Schraube 6 angezogen, bis beide Spitzen 6 und 7 sich am Stab markieren; wenn nöthig, sind die Marken durch Nachkörnen zu verstärken. Der Apparat giebt also ohne weiteres die Endmarken für die Messlänge l_e selbst an. Nachdem Schraube 6 so fest angezogen ist, dass das Passstück 17 herausfällt und der Apparat mit Element und Galvanoskop oder Klingel verbunden ist, ist er gebrauchsfertig. Ich ziehe das bequem aufgestellte Galvanoskop, dessen Zeiger in der Nulllage gegen einen in dem Apparat eingeklemmten Kork schlagen mag, der störenden Klingel vor. Beim Versuch wird man innerhalb der Fließgrenze die linke Schraube nach Gutdünken etwa um den halben Betrag der Dehnungsstufe, also ganz roh einstellen. Dabei schwingt der untere Ring 10 um die Schraubenspitzen und man kann nun mit der rechten Schraube die Feineinstellung machen. Die Summe beider Ablesungen wird notirt. Da die Drehachse des Ringes ungefähr in die Kontaktebene fällt, so hat die jedesmalige Einstellung des Ringes 10 keinen nennenswerthen Einfluss auf das Ergebniss, man hat also nur dafür zu sorgen, dass die Ablesungen an beiden Schrauben nahezu gleich bleiben. Die Stellung des oberen Cardanischen Ringsystems ist durch die Führung bei 16 genau geregelt und so beschaffen, dass auch bei ungleichen Dehnungen der Fasern kein Zwang im Apparat entstehen kann. Fehler in der Bestimmung der Messlänge l_e ergeben sich von selbst aus der ersten Ablesung; sie können meistens vernachlässigt, aber auch leicht in Rechnung gestellt werden. Fehlerquellen würden in der Wirkung der Spitzen liegen, es ist aber kaum zu erwarten, dass sie einen grossen Betrag haben werden, weil die Spitzen konstant belastet und immer in einer Richtung beansprucht werden.

689. Eine sehr hübsche Form des Dehnungsmessers mit Mikrometerschraube hat Unwin angegeben (*L 240*, S. 208), bei der die Fehlerquellen der amerikanischen Apparate vollständig vermieden sind, aber die Ablesungsarbeit dadurch schwieriger gemacht wird, dass zwei Libellen und eine Mikrometerschraube abgelesen werden müssen. Der Apparat ist nach dem Schema Fig. 471 gebaut. Die Hebel 4 und 5 sind mit den Spitzschraubenpaaren 2 und 3 in den Endmarken der Messlänge l_e befestigt. Die Hebel 4 und 5 tragen die empfindlichen Libellen 6 und 7 und sind in der zu der Ebene der Punktepaare 2, 2 und 3, 3 senkrechten Meridianebene des Stabes 1 durch die Mikrometerschraube 9 gegen einander ab-

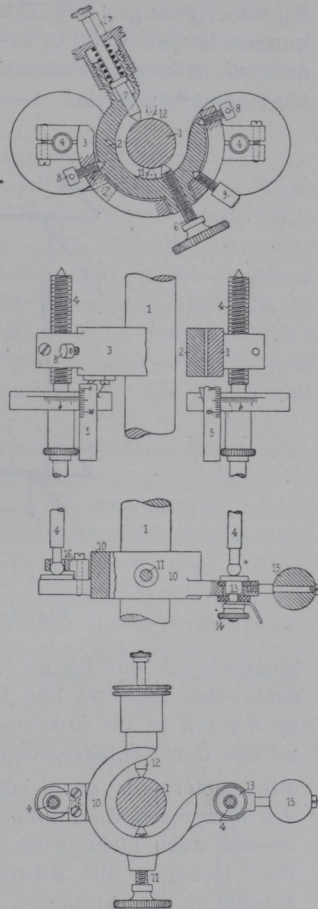


Fig. 470.

gestützt, wobei Hebel 5 durch Schraube 8 gegen den Stab so festgelegt werden kann, dass Libelle 7 einspielt. Wenn nun mit dem Mikrometer 9 die Libelle 6 ebenfalls zum Einspielen gebracht wird, so giebt die Mikrometerablesung die Länge l_e des Stabes zwischen den Verbindungslinien der Spitzen 2, 3, und zwar gemessen in der Mittellinie des Stabes. Dabei muss freilich vorausgesetzt werden, dass die Mittellinie des Mikrometers immer parallel zur Stabmittellinie bleibt, wie in Fig. 472 A gezeigt. Wenn die Mikrometerstange, wie Unwin sie zeichnet, fest mit dem Hebel 5 verbunden ist [unter 90° , wie in Fig. 472 B punktiert angedeutet], so misst zwar die Mikrometerschraube den senkrechten Abstand zwischen den beiden Horizontalebene und dessen Veränderungen, aber diese Längen sind nur

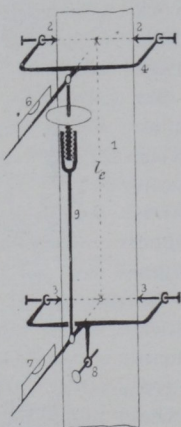


Fig. 471.

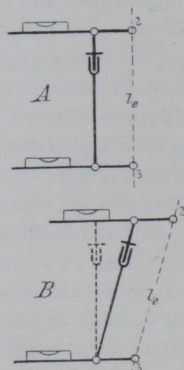


Fig. 472.

identisch mit der Länge l_e und deren Aenderungen, wenn l_e ebenfalls die senkrechte Lage zu den Horizontalebene behält. Ist das nicht der Fall, so würden in die Mikrometermessung auch noch die Fehler eingehen, die infolge der Kontaktpunktverschiebung eintreten. Diese müssen bei festem Mikrometerwerk auch entstehen, wenn die Linie 22 (Fig. 471) während des Versuches eine Winkeländerung erfährt. Wenn die genannten Fehlerquellen auch nicht gross sein werden, so erscheint es mir im Allgemeinen doch richtiger, die Mikrometerstange so oben und unten mit Spitzen oder Kugeln in Körnermarken laufen zu lassen, dass sie zwanglos den Winkelbewegungen von l_e folgen muss und parallel dazu bleibt, wie in Fig. 472 B durch die ausgezogenen Linien angedeutet ist. Selbstverständlich muss dann die Drehung der Stange um sich selbst durch eine geeignete Vorkehrung verhütet werden. Immerhin dürfte aber auch das Unwünsche Instrument für den praktischen Gebrauch etwas unbequem sein.

c) Spiegelapparate.

690. Bauschinger darf wohl als derjenige bezeichnet werden, der durch seine bahnbrechenden Arbeiten den Spiegelapparat in das Materialprüfungswesen zum wohlverdienten Ansehen gebracht hat. Durch den

Spiegelapparat sind die Messungen zu einer Feinheit und Bequemlichkeit geführt worden, die von den bisher besprochenen Apparaten bei weitem nicht erreicht werden. Dabei kann man bei geschickter Benutzung und sorgfältiger Bestimmung der Konstanten zugleich grosse Genauigkeit der Messungen erhalten, die in gleicher Weise von den früher beschriebenen Instrumenten nicht geleistet werden dürfte.

691. Nachdem die allgemeine Beschreibung und die Theorie des Bauschingerschen Spiegelapparates bereits früher (81—86 u. 90—98) gegeben worden ist, erübrigt es hier, die Konstruktion im Besonderen zu besprechen und auf die Fehlerquellen noch einzugehen, die aus der Einrichtung des Instrumentes selbst sich ergeben [der Leser wolle die oben angegebenen Absätze nachlesen].

a. Der erste Apparat wurde von Bauschinger im Jahre 1873 entworfen und von seinem Assistenten, dem Mechaniker C. Klebe in München, angefertigt, der auch heute noch alle Bauschingerschen Messinstrumente fertigt und liefert. Ich will hier nicht auf die lehrreiche Entwicklung des Apparates eingehen, die Bauschinger selbst in seinen Veröffentlichungen (*L 2, 9 u. 11* versch. Jahrgänge) gab, und über die ich auch durch briefliche Mittheilungen des Herrn Klebe in dankenswerther Weise unterrichtet worden bin, sondern will mich an die endgültig ausgebildete Einrichtung halten. Diese ist abgebildet in Fig. 32—34, 3 und 18 auf Taf. 3.

Beide gemeinsam zu benutzende Spiegelapparate sind an einem nach Art des Parallelschraubstockes konstruirten Bügel angebracht. Die beiden Spiegel können also gemeinsam mit einander mittelst der beiden neben den Rollen sitzenden Schneiden in der Endmarke des Probestabes festgeklemmt werden. Die Schraube des Bügels erzeugt, da sie über 100 mm von den Schneiden entfernt ist, ein erhebliches Biegemoment in den Spiegelhaltern; die Spiegelachsen bleiben nicht parallel. Die Schneiden sitzen ausserhalb der senkrechten Ebene der Mitte der Spanschraube; die Spiegelständer erfahren deswegen ein Verdrehungsmoment. Die Spanschraube muss sehr fest angezogen werden, wenn der 1790 gr schwere Apparat bis zur Erreichung der Streckgrenze am Probestabe festsitzen soll. Um den Sitz sicherer zu machen und die Formänderungen der Ständer auf ein möglichst kleines Maass zu bringen, wird bei den Apparaten der Charlottenburger Versuchsanstalt durch die länglichen Oeffnungen des Ständers neben der Rollenachse noch eine zweite Hilfsklemmschraube gezogen. Die vorbesprochenen, zu schwer kontrollirbaren Formänderungen führenden Spannungen sollten bei Messapparaten grundsätzlich vermieden werden, wenn auch der Bauschingersche Apparat trotz dieser Mängel glänzende Ergebnisse geliefert hat. Die Lagerung der Rollenachsen erfolgt in den Spitzen 1 (Fig. 473), die in Körnern mit feinen cylindrischen Bohrungen [von etwa 0,5 mm Durchmesser] im Grunde laufen, von denen der untere in einer Feder 3 sitzt. Die Feder drückt die Achse nach oben und sorgt für sattes Anliegen der Spitzenkegel in den Rändern zwischen Hohlkegel und Hohlcylinder; hierdurch ist der todte Gang ver-

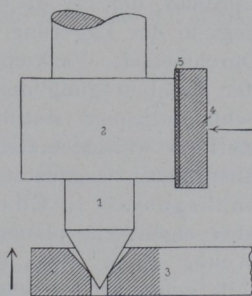


Fig. 473.

mieden und die Möglichkeit gegeben, die Rollen 2 durch die Messfedern 3 mit namhaftem seitlichen Druck zu beanspruchen. Die Messfedern sind zur zuverlässigen Erzeugung von Reibung mit feinstem Schmirgelpapier 5 belegt.

b. Die Rollen 2 werden in der Regel aus Hartgummi gefertigt. Die Charlottenburger Anstalt hat mit ganz gutem Erfolge auch Stahlrollen benutzt, die noch von Professor Spangenberg beschafft worden sind, um mit magnetisirten Messfedern arbeiten zu können.¹⁾ Die Rollen des Spiegelapparates müssen genau cylindrisch und centrisch zur Drehachse sein. Wenn sie das nicht sind, so wird je nach der Stelle, die gerade zur Wirkung kommt, der Halbmesser r (82) und damit das Uebersetzungsverhältniss, sich ändern. Früher (91) wurde nachgewiesen, dass die Ausmessung von r bis auf $1/5000$ cm genau erfolgen muss.

Die Ausmessung geschieht auf dem Bauschingerschen Dickenmesser (669), der für die Messung der Excentricität besondere Einrichtung hat. Die Rollennachse wird zu dem Zweck in zwei Böckchen genau so, wie im Spiegelapparat, aber wagerecht gelagert. Man misst zuerst den Durchmesser an verschiedenen Stellen und nach verschiedenen Richtungen mit dem lose aufgehängten Taster und stellt dann mit dem nach geschehener Einstellung festgeklemmten Taster die Excentricität durch Drehen der Rolle um die eigene Achse fest. Vorher war die Mikrometerschraube (Fig. 448) zurückgedreht. Beim Drehen der Rolle muss der Fühlhebel seine Stellung gesetzmässig ändern, wenn Excentricität vorhanden ist, deren Maass aus der Theilung dann leicht festzustellen ist.

c. Man hat oft Zweifel laut werden lassen, ob die Uebertragung durch Reibung, wie sie Bauschinger anwendete, wohl absolut sicher sei (676 Bach, L 27, 1895, S. 481). Diese Zweifel sind unter Umständen voll berechtigt (683, 684). Bei dem Bauschingerschen Spiegelapparat steht aber die Drehachse senkrecht und alle Gewichte der Achse u. s. w. sind auf die Spitze übertragen; Drehmomente aus dem Eigengewicht sind also äusserst gering. Aus der Trägheit der Massen können sie nur bei Stössen und Erschütterungen in der wagerechten Ebene entstehen, oder wenn die Spiegelbewegungen sehr schnell vor sich gehen müssen. Ein Umstand, der für die Gleitung noch in Anspruch genommen werden könnte, liegt in der Lagerung der Spitzen in dem Hohlcylinder von etwa 0,5 mm Durchmesser. Es kommt aber wohl hauptsächlich in Frage, ob nicht bei der Drehbewegung der Rollen ein Kriechen der Rollenfläche gegenüber dem Schmirgelpapier stattfindet, was namentlich bei Bewegungsumkehr bemerkbar werden müsste. Ich weiss nicht, ob besondere Untersuchungen über diesen Gegenstand sonst irgendwo ausgeführt worden sind; die Versuchsanstalt in Charlottenburg hat ihn gelegentlich wohl mit geprüft, aber eigentliche planmässige Untersuchungen sind nicht ausgeführt worden. Weiter unten gebe ich eine früher gefundene Versuchsreihe. Jedenfalls geht aus der umfangreichen täglichen Erfahrung mit einiger Sicherheit hervor, dass diese Schlüpfbewegungen unter den gewöhnlichen Verhältnissen klein sein müssen und bei den laufenden Arbeiten nicht bemerkt werden. Die Fehler, die aus anderen Ursachen [Wärmewechsel, Spannungen im Apparat, Ungenauigkeit der Rollen, ungenaue Einstellung der Wage u. s. w.]

¹⁾ Dass durch die Magnetisirung keine Erfolge erreicht werden konnten, war wohl vorauszusehen; sie sind auch nicht gefunden worden [vergl. Tab. 46].

entstehen, scheinen die etwaigen Fehler wegen des Schlüpfens stark zu überwiegen.

d. Fehler von namhaftem Betrage können aber eintreten, wenn die Spiegelachsen schief gegen den Probestab gerichtet sind, so dass die Federbewegung nicht mehr in der Aequatorebene der Rolle, sondern geneigt dazu erfolgt. Nach Fig. 474 wird dann für die Federverschiebung λ die Rollenbewegung am Umfang λ' und bei einem Neigungswinkel α der Achse gegen die Senkrechte wird der Fehler 1% betragen, wenn:

$$\cos \alpha = \frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{0,99}{1,00}, \text{ d. h. } \alpha = 8^\circ 6' \text{ ist, was schon mit blossem Auge sicht-}$$

bar sein würde. Für die gewöhnlich vorkommenden Verhältnisse würde bei dieser Neigung die Ablesung um etwa 1,5 Einheiten [10^{-5} cm] zu klein ausfallen.

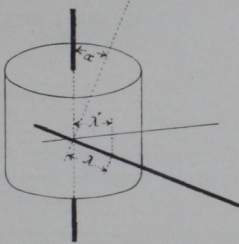


Fig. 474.

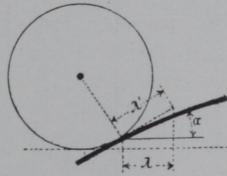


Fig. 475.

e. Ein gelegentlich beim Versuch störend bemerkbarer Fehler tritt ein, wenn die Messfedern zu schwach sind und dann durch Anspannen stark gekrümmt werden müssen, damit die Spannung zur Uebertragung der Bewegung auf die Rolle gross genug ist. In solchen Fällen wollen die Beamten der Versuchsanstalt bei der Ablesung von etwa 150 Einheiten für die Laststufe einen Einfluss von etwa 4 bis 5 Einheiten bemerkt haben. Dieser Fehler entsteht, wie in Fig. 475 angedeutet. Die gebogene Feder nimmt den Winkel α gegen die Verschiebungsrichtung [gestrichelte Linie] an, daher wird die Umfangverschiebung der Rolle nicht λ , sondern λ' . Es würde also zu den beobachteten Werthen $\lambda = 150$ und $\lambda' = 155$ ein Winkel α gehören:

$$\cos \alpha = \frac{150}{155}, \text{ d. h. } \alpha = 14^\circ 35'.$$

Man erkennt hieraus, dass es fehlerhaft ist, die sogenannten Messfedern wirklich federnd und den Spannbügel, mit dem sie angespannt werden, steif zu machen. Gerade das umgekehrte Verfahren ist zu empfehlen.

f. Um einen Ueberblick zu gewinnen, wie gross unter ungünstigen Verhältnissen die Wirkungen zwischen Rolle und Feder werden, will ich in Tab. 46 S. 472 u. 473 einige Versuchsreihen anführen, die gelegentlich der Untersuchung eines veränderten Bauschingerschen Apparates im Jahre 1890 gefunden wurden, wenn auch die eigentliche Schlüpfbewegung nicht im Besonderen Gegenstand der Untersuchung war.

Die Untersuchungen beziehen sich auf den von Spangenberg beschafften Apparat (Ba) mit Stahlrollen und magnetischen

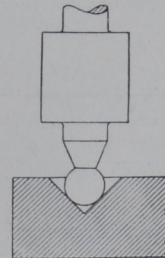


Fig. 476.

Tabelle 46. Vergleich der Spiegelapparate mit dem Kontrolstabe OU durch gleichzeitige Ablesung der beiden Apparate.

Benutzt werden Bauschinger-Apparat mit Stahlrollen = *Ba* und Martens-Apparat = *Bc* (V. u. VI.). Beide Apparate am gleichen Stab befestigt. Werdermaschine (mit etwa 0,5% Fehler); Beobachter: Rauh u. Tingberg. Messlänge $l_e = 15$ cm.

A. Versuchsergebnisse.

Stab No. Datum 1890 Zeit	Kraft <i>P</i> <i>t</i>	Gesamt- Dehnungen		Bemerkungen zum <i>Ba</i>
		<i>Ba</i> cm 10^{-5}	<i>Bc</i> cm 10^{-5}	
OU 19./8. 12 ¹⁰	1	0	0	Federn mit Schmirgel, mässig fest angespannt
	10	1282	1323	
	1	1	1,5	
12 ⁵⁰	1	0	0	andere Federn ohne Schmirgel
	10	1294	1317	
	1	7	0	
1 ³⁰	1	0	0	
	10	1294	1317	
	1	4	1,5	
2 ¹⁵	1	0	0	Federn (magnetische) ohne Schmirgel, rutschen langsam herab; mässig angespannt
	2	151	148,5	
	1	4	0	
	6	805	733,5	
	1	320	1,5	
20./8. 9 ¹⁰	1	0	0	Federn ohne Schmirgel, Fläche polirt; linke Feder berührt Rolle in Punkt
	10	1298	1317	
	1	1	3	
9 ³⁵	1	0	0	ebenso; Federn besser angesetzt
	10	1295	1318,5	
	1	3	1,5	
10 ⁰	1	0	0	Federn (magnetische) nicht besonders sorgfältig angesetzt, nicht lange gewartet; Kolben undicht
	10	1324	1318,5	
	1	7	1,5	
11 ¹⁰	1	0	0	
	10	1323	1317	
	1	4	1,5	
11 ⁵⁵	1	0	0	Federn am Ende polirt
	10	1288	1308	
	1	0	0	
12 ⁵⁵	1	0	0	Federn am Ende geschliffen
	10	1304	1311	
	1	4	1,5	
1 ⁴⁰	1	0	0	ebenso und magnetisirt
	10	1295	1315,5	
	1	— 6	1,5	
2 ³⁰	1	0	—	Federn magnetische
	10	1332	—	
	1	73	—	
22./8. 10 ⁰	1	0	0	Maschine justirt $\Delta P = -0,5\%$; Federn wie vorher, Bügelstellung <i>C</i>
	10	1313	1312,5	
	1	0	1,5	
10 ¹⁵	1	0	0	ebenso Bügelstellung <i>A</i>
	10	1312	1312,5	
	1	— 2	3	
10 ³⁰	1	0	0	ebenso Bügelstellung <i>B</i>
	10	1312	1311	
	1	0	3	

B. Zusammenfassung gleicher Zustände.

Art der Federn für Apparat <i>Ba</i>	Dehnungen für $\Delta P = 9t$		Bleibende Dehnungen		<i>Ba/Bc</i>
	<i>Ba</i> cm 10^{-5}	<i>Bc</i> cm 10^{-5}	<i>Ba</i> cm 10^{-5}	<i>Bc</i> cm 10^{-5}	
Federn:					
1. mit Schmirgel	1282	1323	1	1,5	0,9690
2. ohne Schmirgel	1294	1317	7	0	9825
	1294	1317	4	1,5	9825
3. desgleichen Ende polirt . . .	1298	1317	1	3	9856
	1295	1318,5	3	1,5	9822
	1288	1308	0	0	9847
4. desgleichen Ende geschliffen	1304	1311	4	1,5	9947
5. desgleichen und magnetisirt	1295	1315,5	-6	1,5	9844
Mittel	1293,8	1315,9	—	—	0,9832
6. magnetische 20./8	1322	1315,5	7	1,5	1,0049
	1324	1318,5	7	1,5	0042
	1323	1317	4	1,5	0046
Mittel	1323,0	1317,0	—	—	1,0046
Bügelstellung <i>C</i> 22./8	1313	1312,5	0	1,5	1,0004
" <i>A</i> "	1312	1312,5	-2	3	0,9996
" <i>B</i> "	1312	1311	0	3	1,0008
Mittel	1312,3	1312,0	—	—	1,0004

C. Einfluss der Einstellung der Libelle an der Wage auf die Ablesung an *Ba*.

Einstellung der Libelle	Kraft <i>P</i> <i>t</i>	Dehnung in cm 10^{-5}	Bemerkungen
19./8. 1890			
ganz niedrig	3	354	} grösster Unterschied 6 Einheiten
scharf	"	356	
etwas zu hoch	"	360	
auf erste Einstellung	"	355	
angehoben und scharf	"	357	
wie gewöhnlich	10	1351	} 5 Einheiten
angehoben, etwas zu hoch	"	1354	
Kolben undicht; sinkend, etwas zu tief	"	1349	

Federn. Die Achsen dieses Apparates laufen nicht in Spitzen, sondern in Kugeln, Fig. 476, S. 471; die untere Lagerung ist nicht federnd, sondern fest, und die obere ist in einer Stellschraube angebracht. Deswegen ist es ausserordentlich schwer, die Achse genau ohne todten Gang einzustellen, und die Konstruktion ist minderwerthiger als die Bauschingersche. Die Prüfung wurde so vorgenommen, dass der Achsenträger des Bauschinger-Apparates (*Ba*) an dem Kontrolstab *OU* verblieb, während die Federn gewechselt wurden. Der Stab *OU* war ausserdem mit dem Martensschen Spiegelapparat (*Bc*) versehen, der nicht verändert wurde, um auf diese Weise eine Kontrolle für die Wirkung der an *Ba* vorgenommenen Veränderungen zu haben. Die Ergebnisse sind in Tab. 46 *A* in der Reihenfolge zusammengestellt, wie sie gewonnen wurden. Um die Uebersicht zu erleichtern, ist unter *B* eine Zusammenstellung der Ergebnisse mit den gleichen Federn gegeben, und in *C* ist gezeigt, welchen Einfluss die Einstellung der Wage auf die Ablesungen hat. Fig. 477, S. 474, endlich giebt eine zeichnerische Darstellung der Werthe aus Tab. *C*.

Aus Tab. *B* ersieht man zunächst, dass die Zustände 1 bis 5 für den Apparat *Ba* kleinere Werthe lieferten als Apparat *Bc* sie zeigt, während bei Zustand 6 das umgekehrte Verhältniss eintritt. Fig. 477 *A* zeigt, wie sich die Punktgruppen um die ausgezogene Linie für das Verhältniss $Ba/Bc = 1,00$ vertheilen; die Kreise entsprechen dem Zustand 6. Verfolgt man zunächst die Zahlen der Dehnungen für 9 t, wie sie *Bc* anzeigt, so erkennt man, dass Schwankungen von 1308 bis 1323 Einheiten [$\text{cm} \cdot 10^{-5}$] vorkommen, wenn man die letzten drei Werthe, die einem anderen Zustand der Maschine entsprechen, fortlässt. Die beiden Mittelwerthe ergeben $1-5 = 1315,9$ und $6 = 1317,0$. Bildet man aus diesen beiden Zahlen unter Berücksichtigung ihres Gewichtes den Mittelwerth, so ergibt sich $\frac{1315,9 \cdot 8 + 1317 \cdot 3}{11}$

$= 1316,2$; hiervon weichen die beiden äussersten Werthe um $-8,2 = 0,62\%$ und $+6,8 = 0,52\%$ ab. Bei den Entlastungen zeigte *Bc* fast durchweg bleibende Dehnung von 1,5 oder 3 Einheiten. Diese Ablesungen können nur von Wärmewirkungen oder von todtm Gang im Apparat herrühren. Eine Entscheidung darüber zu treffen, welche von beiden Quellen wirksam war, ist schwierig, da für Wärmeeinflüsse die Differenz zwischen den Ausdehnungszahlen für den Stab *OU* und für die Messfedern des Apparates *Bc* [die wohl verschwindend klein sein dürften] oder die Schwankung im Wärmeunterschied zwischen Stab *OU* und Feder von *Bc* in Frage kommt. Da vom Morgen bis zum Mittag die Wärme im Versuchsraum steigt, so muss ein fortwährender Wechsel im Wärmeunterschied allerdings stattfinden, aber er dürfte [August] auch nicht gerade gross gewesen sein. [Aus Abs. 95 folgt für einen Wechsel von $\frac{1}{20} \text{C}^0$ ein Ablesungsunterschied von einer Einheit.]¹⁾

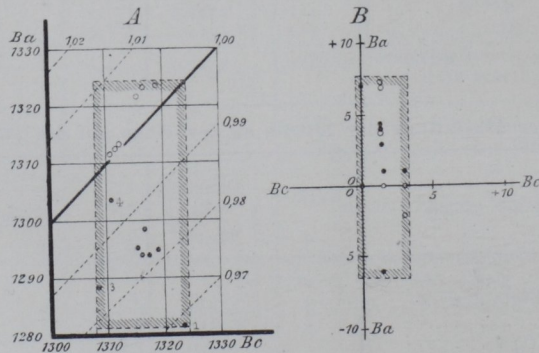


Fig. 477.

Betrachtet man in Tab. 46 *B* das Verhalten des Apparates *Ba* beim Wechseln der Federn in den Zuständen 1–5, so ergeben sich Schwankungen von $-11,8 = 0,91\%$ und $10,2 = 0,79\%$ vom Mittelwerth 1293,8. Trotz dieser nicht zu grossen Unterschiede erscheint das Verhältniss zwischen beiden Apparaten *Ba* und *Bc* viel stärker beeinflusst, weil nahezu die grössten und kleinsten Werthe sich einander gegenüberstehen, daher kommen die Zahlen 0,9690 und 0,9947, die aber den Mittelwerth 0,9832 nicht wesentlich beeinflussen.

Obwohl man in der ersten Gruppe [Zustand 1–5] die Arten der Federn stark wechselte und von der ganz rauhen Fläche [Schmirgel] zu der ganz glatten [polirten] Berührungsfläche überging, sind die gefundenen Zahlenwerthe für 9 t Belastung nicht gesetzmässig beeinflusst. Wahrscheinlich macht der Spannungszustand der Feder, und zwar besonders der Umstand, ob die Feder sehr biegsam ist oder nicht, mehr aus als die Beschaffenheit der Berührungsfläche. Wenn auch

¹⁾ In den letzten Jahren wird in der Versuchsanstalt die Zimmerwärme vor und nach dem Versuch bei allen wichtigen Messungen notirt. Man wird aus dem auf diese Weise gehäuften Material den Wärmeeinfluss wohl ermitteln können. Er macht sich namentlich im Winter stark geltend, wenn bei überheiztem Raum gelüftet werden muss.

die Restablesung nach Entlastung beim Apparat *Ba* im Ganzen beträchtlich ist, so kann doch aus den Zahlen noch kein Gesetz abgelesen werden, zumal die Versuche nicht zahlreich genug sind. Ganz besonders warnen die Ergebnisse für Zustand 6 vor übereilten Schlüssen, denn die Federn, die scheinbar den grössten Einfluss ergeben haben [die alten magnetischen Federn von Spangenberg], zeigen einmal starke Restablesungen und später sehr geringe. Ob der auffallende Unterschied im gegenseitigen Verhalten der Apparate *Ba* und *Bc* in der ersten und in den beiden letzten Gruppen von Tab. 46 *B* allein durch die Federn begründet ist, kann aus den Protokollen nicht mehr entschieden werden. Die Veränderung der Maschine ergibt sich aus der Gegenüberstellung der Mittelwerthe in beiden Gruppen unter Zustand 6 wie folgt:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Apparat } Ba \quad \frac{1323,0}{1312,3} = 1,0081 \\ \text{Bc} \quad \frac{1317,0}{1312,0} = 1,0038 \end{array} \right\} \text{im Mittel } 0,6\%.$$

In der letzten Gruppe sind immer andere Radien der Rolle benutzt, indem man die Federn vor dem Versuch zurückdrückte und dann die Bügel der Spiegelachsen in die Stellungen *A*, *B*, *C* brachte; der Einfluss liegt innerhalb der Fehlergrenzen der Ablesung.

Aus den mitgetheilten Ergebnissen erkennt man leicht, wie nothwendig es ist, die Messapparate unter ebenso sorgfältige Kontrolle zu stellen, wie die Maschinen, wenn man Ergebnisse erzielen will, die Anspruch auf Zuverlässigkeit machen können.

g. Auf noch einen Punkt beim Bauschingerschen Apparat möchte ich aufmerksam machen, nicht weil die nachgenannten Fehler beim Bauschingerschen Apparat sich besonders bemerkbar machen, sondern des Grundsatzes wegen, der bei der Konstruktion von Spiegelapparaten mehr beachtet werden sollte, als es zu geschehen pflegt. Der Bauschingersche Spiegel, Fig. 478, ist in einer Metallfassung angebracht und in Rahmen 2 um die Spitzenschrauben 6 durch die Stellschraube drehbar; die Schraube 3 wirkt der Feder 5 entgegen. Die Metallfassung hat andere Wärmeausdehnungen als das Glas und giebt daher leicht zu Spiegelkrümmungen, d. h. Bildverzerrung und Verschiebung, also zu Ablesefehlern Anlass. Man darf den Spiegel in Metallfassungen nur so befestigen,

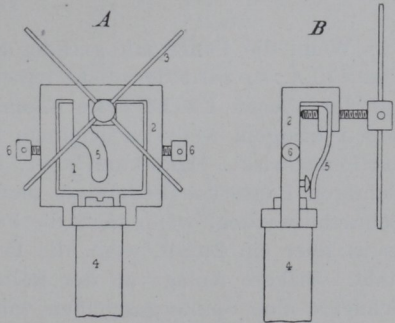


Fig. 478.

dass keine Verbiegungen vorkommen können.¹⁾ Biegemomente werden aber durch Schraube 3 und Feder 5 erzeugt, und zwar doppelter Art. Erstens streben beide, Schraube und Feder, die Spiegelfassung um die Achse $\overline{66}$ zu biegen; [das hat nur Skalenbildverschiebungen und Verschlechterung des Bildes im Gefolge, wenn sich die Biegung auf den Spiegel überträgt]. Zweitens streben beide, Schraube und Feder, da beide Drucke gleich gerichtet sind, das Spiegelgehäuse nach vorn gegenüber den Spitzen 6 durchzudrücken; das kann Ablesungsfehler verursachen, wenn der Spiegel eine entsprechende

¹⁾ Das Spiegelglas ist sehr dick (etwa 3 mm) und wahrscheinlich mit der Metallfassung nur auf den Seitenflächen verkittet, so dass unmittelbare Verspannungen, wie sie oben angedeutet sind, beim Bauschinger-Apparat in der That nicht störend hervortreten; aber man sollte überhaupt nicht so konstruieren.

Krümmung erfährt. Aus den hier angedeuteten Gründen habe ich bei meinen Spiegelapparaten das Spiegelglas ohne Gehäuse zwischen den Spitzen angebracht und die Gegenfeder zur Stellschraube so eingerichtet, dass sie dem Schraubendruck in der gleichen Achse entgegenwirkt, also Biegungen nicht erzeugen kann.

h. Für verschiedene Messlängen bis herunter zu etwa 2 cm kann man den Bauschingerschen Apparat benutzen, wenn man die Messfederlängen entsprechend abändert und dafür sorgt, dass die vorgenannten Fehlerquellen möglichst vermieden werden. Das ist natürlich um so schwieriger, je kürzer die Federn werden. Beachtet man aber nicht alle Umstände, so können sich leicht Fehler in die Messung einschleichen. Hier ist besonders noch darauf aufmerksam zu machen, dass Feder und Spannbügel so konstruiert sein sollten, dass gute Anlage an der Rolle stattfindet.

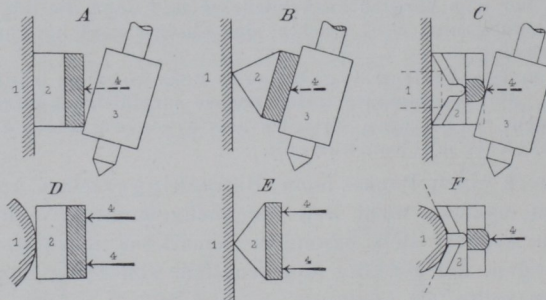


Fig. 479.

Wenn die Feder mit gerader Schneide am Ende konstruiert ist, wie in Fig. 479 A, so wird der dicht neben der Schneide befindliche Spannbügel auf der ebenen Fläche eines Flachstabes die Schneiden 2 sicher zum Anliegen bringen, wenn er in einem Punkt [ein Pfeil 4] nahe der Mittellinie der Feder wirkt. Dann kann aber, bei Abweichung der Rollenachse aus der richtigen Lage, das Federende nicht zum vollen Anliegen an der Rolle 3 gebracht werden, wenn nicht die Feder Verdrehungsspannung erfahren soll; es ist aber ein Zufall, wenn die Rollenachse parallel zur Schneidenanlage steht. Sichere Anlage an der Rolle würde man erzielen, wenn statt der Schneide eine Spitze geschaffen würde, Fig. 479 B. Dann würde aber der mit einem Punkt drückende Spannbügel Kippen der Feder bewirken und dadurch noch bedenklichere Unsicherheit erzeugen. Gleiches würde natürlich bei einer Schneide am Rundstab eintreten, wenn man nicht nach Fig. D dafür Sorge trägt, dass der Bügel in zwei Punkten [zwei Pfeile 4] zur Wirkung kommt und so das Kippen hindert. Ebenso könnte man im Falle B verfahren [siehe E], dann würde aber der unter A geschilderte Zustand wieder eintreten. Selbstverständlich ist das auch bei D der Fall, da ja nun die Anlagelinie der Bügeldruckpunkte parallel zur Rollenachse sein müsste. Die Stützung eines Körpers gegen zwei Flächen anderer Körper in je zwei Berührungspunkten ist nur in sehr wenig Fällen möglich, während die Stützung in zwei Punkten an dem einen und in einem Punkt am andern Körper in sehr vielen Fällen möglich ist. Aus diesem Grunde sollte die Feder für den Bauschingerschen Apparat, wie in Fig. 479 C gezeichnet, gestaltet werden. Dann ergibt sich

sowohl für den Flachstab als auch für den Rundstab (*F*) am Stabe stets Stützung in zwei und an der Rolle in einem Punkte, wie auch aus den punktierten Stabumrissen zu erkennen ist. Bei sorgfältiger Behandlung und gut gehaltenen Apparaten dürfte auch in diesem Falle die Uebertragung auf die Rolle noch völlig sicher sein. Will man die Sache verwickelter machen, so könnte man ja die Feder mit sich selbstthätig an die Rollen anlegenden Flächen versehen, wobei man ebenfalls den besprochenen Grundsatz über die Vermeidung überflüssiger Stützung zu beachten hätte; aber die Vermehrung beweglicher Theile in einem Messapparate ist immer genau zu überlegen.

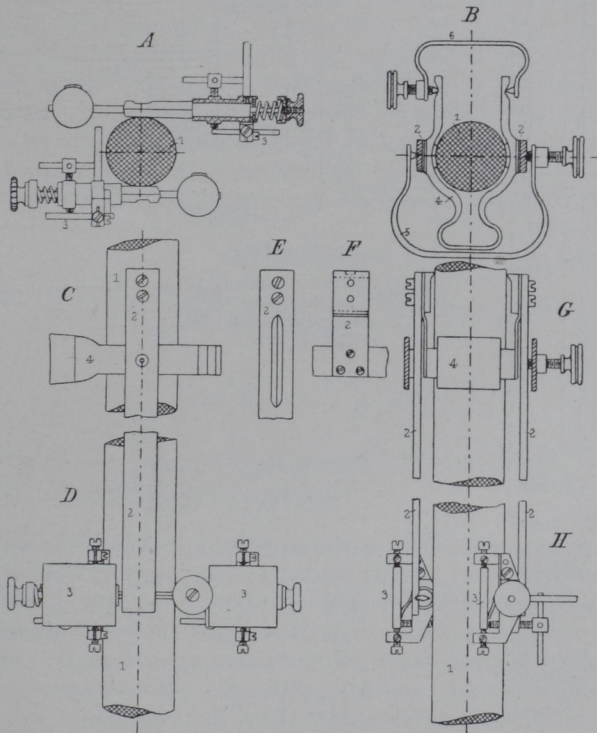


Fig. 480.

692. Der Spiegelapparat von Martens entstand im Jahre 1884 aus dem Bedürfniss heraus, die von Bauschinger für die Werder-Maschine eingeführte Ablesungsmethode von Gauss auch für die stehend gebaute 50 000 kg-Maschine Martensscher Bauart nutzbar zu machen. Zugleich kam es mir bei dem Entwurf darauf an, einen möglichst leichten Apparat von thunlichst gleicher Leistungsfähigkeit, wie sie der Bauschingersche Apparat hatte, zu erzielen.

Meine Spiegelapparate, sowie die sonst in der Charlottenburger Versuchsanstalt entstandenen Apparate, sind von dem Anstaltsmechaniker E. Böhme in vorzüglicher Arbeit gefertigt worden.

693. Die älteste Form meines Spiegelapparates beschrieb ich in (*L 162*); sie ist in Fig. 480 abgebildet. Ich verweise hier nur auf diese

Abbildung, weil sie aus der folgenden Beschreibung der neuesten Form ohne weiteres verständlich sein wird, und bemerke nur, dass ich anfangs glaubte, das Ansetzen wesentlich zu erleichtern, wenn ich die Messfedern 2 durch den federnden Bügel 4 fest mit einander verband. Es erwies sich später aber als sehr viel praktischer, die einzelnen Theile grundsätzlich lose zu lassen, um ganz zwanglosen Aufbau zu ermöglichen.

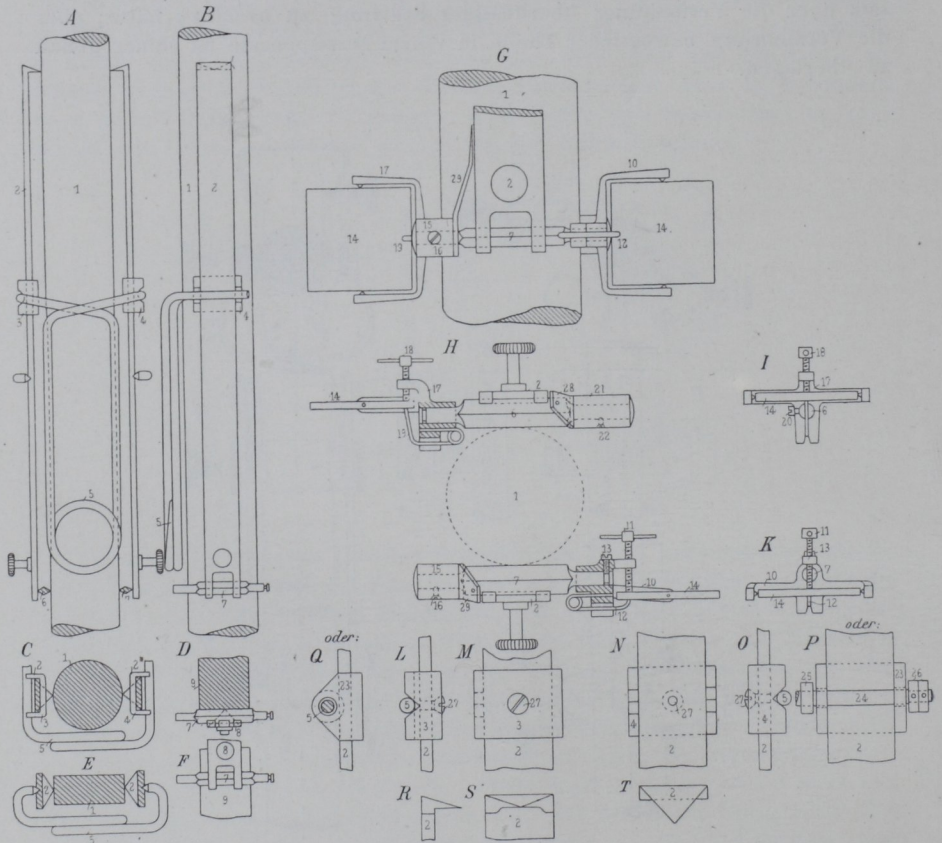


Fig. 481.

Spiegelapparat, neue Form (1897) von A. Martens.

Fig. A—E = $\frac{1}{2}$, Fig. F—S = $\frac{1}{1}$ nat. Gr.

Hierzu je 2 Messfedern für die Messlängen $l = 5,0; 10,0; 15,0$ und $20,0$ cm.

694. Die neueste Form des Martensschen Spiegelapparates ist in Fig. 481 dargestellt (L 254. 255). Dieser Apparat wiegt etwa 120 bis 130 gr; bei ihm sind alle im Laufe der Jahre gewonnenen Erfahrungen hinsichtlich der Stützung und Anspannung* der Messfedern benutzt und thunlichst auch der nach Abs. 89a aus der unbekanntenen Anfangsstellung sich ergebende Fehler beseitigt worden, so dass nunmehr der wegen der Abweichung der Theorie von der Näherungsrechnung sich ergebende Fehler (89) auf sehr bequeme Weise durch Tabellen berücksichtigt werden kann, wenn man dies für nöthig hält.

a. Die Schneidenkörper 6 und 7 haben jetzt keine Unterbrechung der einen Kante (Fig. 480 A); sie sind vielmehr mit geraden parallelen Schneidenkanten ausgeführt, die besser unter dem Bauschingerschen Dickenmesser in einer besonderen, von mir konstruirten Kontrolvorrichtung und unter einem Zeisschen Objektisch-Schraubenmikrometer ausgemessen werden können als die alten Schneiden. In Zukunft werde ich auch den neuen Zeisschen Dickenmesser noch für diese Kontrolle herrichten lassen. Die Spiegelträger 10 und 17 sind jetzt einfach auf cylindrischen Zapfen drehbar und durch eine kleine Rinne mit eingreifender Schraube gegen Seitenverschiebung gesichert, sie sind so gut ausgeglichen, dass es völlig ausreichend ist, die an sich ganz lose gehenden Träger mit einer ziemlich steifen Wachsschmiere aufzusetzen. Die Spiegel sind aus etwa 1 mm dicken Planparallelplatten gefertigt und liegen mit der spiegelnden Schicht genau in der Drehachse des Schneidenkörpers [in der in der Feder 2 gelagerten Kante]. Diese Anordnung macht es nothwendig, dass man zwei verschiedene Modelle von Spiegelträgern benutzen muss. Deswegen sind die Spiegelkörper auf den Gegengewichten 15 und 21 mit *V* und *H* [vorn und hinten] bezeichnet. Die Befestigung der Spiegel geschieht durch kleine

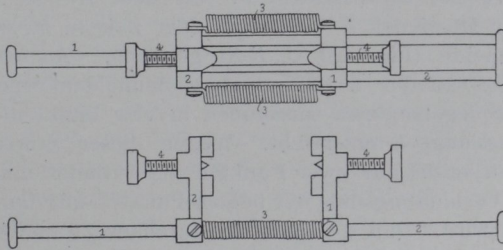


Fig. 481 a.

in die schmalen Glasflächen-eingebohrte Körner mit den Spitzen der federnden Arme von 10 und 17. Den Stellschrauben 11 und 18 wirken die schwachen Drahtfedern 12 und 19 entgegen, ohne irgend ein Biegemoment auf die Spiegel auszuüben. An den Gegengewichten sind noch einfache cylindrische Stifte von etwa 25 mm Länge oder noch besser zweckentsprechend gekröpfte Zeigerarme angebracht, die die Anfangsstellung der Schneide erkennbar machen. Dies geschieht entweder durch Parallelstellung des Stiftes, oder besser durch das Einstellen der Zeigermarke auf eine Kante der Feder 2. Da man jetzt den Winkel β auf Bruchtheile eines Grades genau einstellen kann, so wird der Fehler gegen $\beta=0$ (Tab. 7, Abs. 89a) verschwindend klein werden; der für $\beta=0$ verbleibende Fehler kann aber, wie gesagt (86), aus einer Tabelle entnommen und daher durch Korrektur beseitigt werden. Selbstverständlich kann man die Herstellung der Zeigerhebel 28 und 29 ein für allemal auch so wählen, dass stets der günstigste Anfangswinkel β (Fall II, Abs. 89a) als Ausgangspunkt benutzt wird.

Die Spiegelachsen sind in Fig. 481 so kurz wie möglich gezeichnet. Ihre Länge kann natürlich grösser gemacht werden, und es ist zweckmässig sie derart zu wählen, dass die Entfernung von Mitte zu Mitte Spiegel den Fernrohr- und Maassstabaufstellungen entsprechend so bemessen ist, dass die Spiegelebenen nicht allzusehr gegen die Drehachsen geneigt zu werden brauchen.

b. Auch bei den neuen Apparaten habe ich dafür Sorge getragen, dass die Berührung der Schneidenkanten mit der Messfeder 2 (Fig. 481 *B, D, F, G* u. *H*) immer so in zwei Stellen stattfindet, dass die Schneiden am einen Körper [Feder *E*] in zwei und am anderen [Rundstab] in einem Punkt gestützt sind. Die Nuthen in der gegabelten Feder *E* werden möglichst rechtwinkelig zur Längsachse der Feder zuerst scharf eingefeilt; dann wird der Grund durch Eintreiben einer scharf und ganz geradlinig geschliffenen Meisselschneide so eingeprägt, dass ganz saubere Berührungsf lächen für die Spiegelschneiden geschaffen werden, deren Schneidenwinkel natürlich erheblich kleiner ist als der Winkel der Nuthen in den Federn.

Man erkennt, dass die Lage der Spiegeldrehachse in der Feder *E* ein für allemal genau gegen die Feder festgelegt ist; der hierbei begangene Fehler ist also eine Konstante, die, wenn nöthig, genau bestimmt werden kann. Die Lage der Feder parallel zur Probestabachse ist in der Regel schon durch die beträchtliche Länge der Messfeder gesichert und kann mit ziemlicher Sicherheit durch Augenmaass festgestellt werden. Es kommt demnach jetzt noch darauf an, die parallele Lage der Drehachsen in der senkrechten Ebene zur Probeachse zu sichern. Dies geschieht beim Rundstabe mit Hülfe der Spannfeder 5. Zu dem Zwecke habe ich dem andern Ende der Messfeder *E* die Form einer nahezu zu einer Spitze verschmälerten Schneide (Fig. 481 *C, R-S*) gegeben. An einem Rundstabe liegt daher die Messfeder 2 sammt dem Schneidenkörper nur in zwei Punkten [beide Spiegelapparate zusammen in vier Punkten] an, deren Entfernung der Messlänge l_e entspricht. Wegen dieser Stützung von Feder und Schneidenkörper in nur zwei Punkten am Cylinder muss natürlich ein Kippen um die Verbindungslinie der beiden Punkte eintreten, wenn letzteres nicht verhindert wird. Dies geschieht in durchaus zwangloser Weise durch die Spannfeder 5.¹⁾ Sie ist einfach aus Stahldraht gebogen und zwar so, dass die beiden Enden möglichst parallel zu einander sind. Diese Enden legen sich wie aus Fig. 481 *L* bis *O* erkenntlich, in die Vertiefungen der Brücken 3 und 4, die auf die Messfedern aufgeschraubt sind (siehe *A* u. *B*). Brücke 4 trägt zwei dreieckige Nuthen, in die sich der Cylinder des Federendes 5 zwanglos einlegt, dieser Feder dadurch eine bestimmte Lage anweisend; sie kann sich jetzt noch so lange um die Cylinderachse drehen, bis das andere Federende in die Nuthe der Brücke 3 einfällt, worauf die damit verbundene Messfeder sich um die beiden Stützpunkte am runden Probestab so lange dreht, bis der gerade Rücken der Brücke 3 zum Anliegen an den Cylinder des anderen Endes der Spannfeder 5 kommt. In diesem Zustande bildet das Ganze ein starres System, in dem alle Bewegungen ausgeschlossen sind, so lange der Probestab seinen Spannungszustand nicht verändert.

Bei Anbringung des Spiegelapparates an einen Flachstab

¹⁾ Herr Böhme macht statt der Drahtfeder eine etwas schwerere Klemmrichtung, Fig. 481a, aus zwei Schiebern 1 und 2, die durch zwei Spiralfedern 3 zusammengehalten, durch Druck mit der Hand auf die beiden Endplättchen der Stangen auseinandergedrückt werden. Die Böcke 1 und 2 tragen die Vorsprünge, die sich an Stelle der Drahtfeder 5 (Fig. 481 *L—O*) in die Nuthen der Brücken 8 und 4 einlegen. Für Flachstäbe werden die Schraubenspitzen 4 vorgedreht und wie in Fig. 481 *E* benutzt. Diese Klemme arbeitet gut und sicher. Ich für meine Person ziehe aber die einfachere, aus einem Stück bestehende Drahtfeder vor.

ändert sich der Stützungszustand, und demgemäss muss die Wirkung der Spannfeder 5 eine andere werden, wenn der Apparat frei von unkontrollirbaren Nebenspannungen bleiben soll; man wird der Feder nach Fig. 481 *E* zwei Spitzen geben. Hier legt sich die Schneide des Spiegelträgers auch an den Probestab in einer Linie an. [Am besten würde es sein, die Fläche an der Stützstelle etwas hohl zu machen, damit Anlage sicher in zwei Punkten erfolgt]. Dann findet an der Probestabfläche Stützung in drei Punkten statt, damit ist jedes Kippen ausgeschlossen so lange der Spannfederdruck innerhalb der durch die drei Stützpunkte gebildeten Dreiecksfläche erfolgt. Man wird den Druckpunkt etwas ausserhalb des Schwerpunktes dieser Dreiecksfläche gegen die feste Spitze der Feder 2 hin verschieben. Hier ist ein Korn in jede Feder eingbohrt. In diese Körner legen sich die Spitzen der Spannfeder 5 ein [vergl. Fig. 481 *A* und *E*]. Auch hier ist nun ein starres System erzeugt, welches Bewegungen nur bei Spannungsänderungen am Flachstabe erfährt.

Während bei der Einspannung des Spiegelapparates am Rundstabe die beiden Spiegeldrehachsen sich von selbst parallel zu einander einstellen, wenn die Spannfederenden einmal entsprechend zurecht gebogen sind, ist die Stellung der Achsen beim Flachstab durch die Beschaffenheit der beiden Stabflächen bedingt; sind diese parallel zu einander, so werden auch die Drehachsen parallel werden.

c. Das Ansetzen der Spiegelapparate geht schnell und einfach von statten. Man setzt in den oberen Endmarken des Stabes die Spitzen der Messfedern 2 ein und bringt dann die Spannfeder 5 an. Darauf hebt man mit den unten angebrachten Knöpfen eine Feder vom Stab ab und legt nun die Spiegelschneide so ein, dass die Marke am Zeiger 28 oder 29 auf die Federkante einspielt. Ist dies auch für die andere Seite geschehen, so grenzt der Apparat ganz ohne weiteres die Messlänge l_e am Probestab ab, da die Längen der Messfedern hiernach bemessen sind. Die Länge der Messfedern kann aber ganz nach Wunsch bemessen werden, so dass der mit verschiedenen Federn versehene Apparat weiten Anforderungen gerecht wird. Die beiden Knöpfe an den Messfedern 2 haben den Zweck, beim Ansetzen der Apparate so viel wie möglich die Erwärmung der Messfedern durch die Hand zu vermeiden.

Bei dem alten Apparat musste man am Stabe besondere Marken anbringen und die Schneiden der Federn und der Spiegelträger in diese Marken einsetzen, wenn man einigermaßen zuverlässig die Länge l_e festhalten wollte; das fällt beim neuen Apparat fort. Man braucht bei diesem überhaupt keine Marken, aber man wird immerhin gut thun, wenigstens am oberen Ende die Federspitzen in Marken einzusetzen; am unteren Ende jedoch bei dem neuen Apparat keine Marken angewendet werden, wenn man nicht die Güte der Beobachtung trüben will. Die Bewegung der Spiegelschneiden in den Markenstrichen ist immer von Zufälligkeiten begleitet, die aus Form und Beschaffenheit der Strichmarken und aus den Zufälligkeiten der Lage der Schneide und den Markenstrichen entspringen.

d. Nachdem die Spiegelapparate angesetzt und die beiden Ablesefernrohre auf einem sicher stehenden Dreifuss in ungefähr richtiger Entfernung und in lothrechter Richtung zu den Drehachsen vor den Spiegeln aufgestellt sind, sind zunächst die Abstände *A* (88 Fig. 46) der Skalen von

den Drehachsen der Spiegel einzustellen. Dies geschieht am besten mit Hilfe von dünnen Holzlättchen, die etwa 30—50 mm kürzer als A geschnitten sind und die man am Ende mit einem Streifen aus Aktendeckelkarton auf das richtige Maass von A verlängerte. Diesen Maassstab stellt man mit dem festen Ende wagrecht gegen die senkrecht aufgestellte Skala (Fig. 482) und verrückt diese mit den Schiebern solange, bis der Kartonstreifen mit der spiegelnden Fläche abschneidet [oder die Vorderfläche des Spiegels berührt, wenn man den Streifen um die Spiegeldicke kürzt].

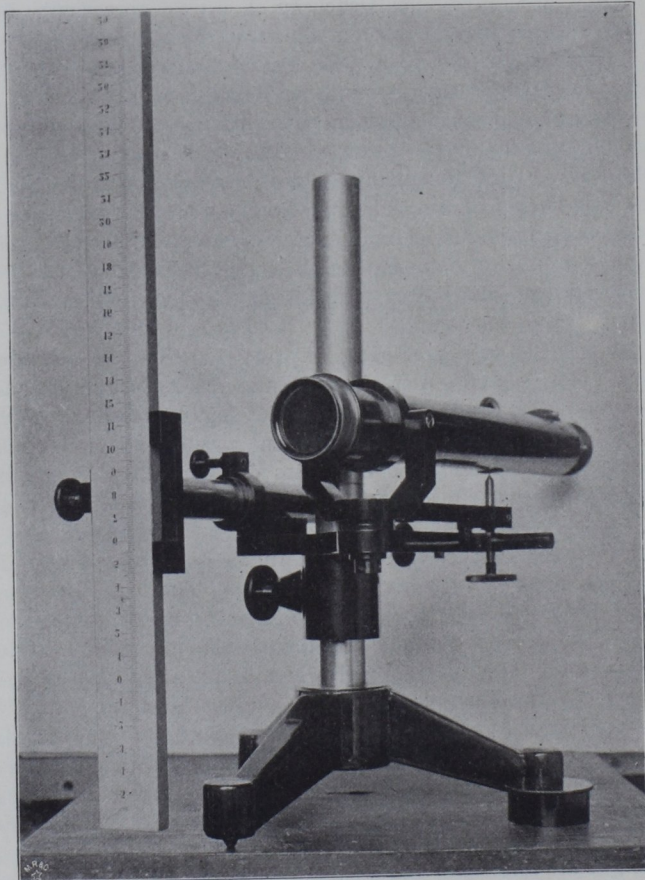


Fig. 482.

Nun sind die Okulare der Fernrohre scharf auf Fadenkreuz und dann die Fadenkreuze auf Mitte Spiegel einzustellen. Darauf wird durch Hinsehen über das Fernrohr jeder Spiegel durch einen Gehülfen um die senkrechte Achse gedreht [Schrauben 11 u. 18, Fig. 481], bis die richtige Skala mitten über dem Fernrohr erscheint. Dann wird das Fernrohr auf die Skala eingestellt und die Spiegeldrehung so weit fortgesetzt, bis der senkrechte Kreuzfaden mitten auf der Skalenthellung liegt. Dem Gehülfen wird hierauf die Ablesung an der Skala zugerufen, und er versucht nun durch

Drehen um die Trägerachse den Spiegel, zuletzt durch ganz leichtes Anschlagen, so einzustellen, dass eine vorher vereinbarte Ablesung [Nullablesung] nahezu zum Einspielen mit dem wagerechten Kreuzfaden kommt. Die letzten feinen Einstellungen beider Kreuzfäden geschehen mit Hilfe der Feinbewegungsschrauben an den Fernrohren.

Die ganze Arbeit: Einsetzen des Probestabes, Anbringen der Spiegelapparate, Einstellen der Fernrohre und Einstellen der Spiegel bis zum Beginn des Versuches, machen zwei eingeübte Leute in etwa 4 bis 6 Minuten.

Was ich in diesem Abschnitt über Aufstellung und Gebrauch meines Spiegelapparates sagte, lässt sich unter Berücksichtigung der besonderen Umstände meistens auf den Bauschingerschen Apparat übertragen.

695. Die vorbeschriebenen Spiegelapparate haben sich in der Versuchsanstalt zu Charlottenburg in nunmehr 13jährigem Betriebe und an zahlreichen anderen Stellen vorzüglich bewährt. Sie sind für die mannigfachsten Zwecke benutzt und entsprechend verändert worden, wie ich es gelegentlich früher schon anführte (181, Fig. 128; 206, Fig. 153; 300, Fig. 206). Hier will ich noch einige charakteristische Formen angeben, weil man daraus die Grenzen der Leistungsfähigkeit der Spiegelablesung am besten erkennen wird.

696. In Fig. 483, S. 484, sind die Einrichtungen des Spiegelapparates gegeben, den ich für die grosse 500000 kg-Maschine der Charlottenburger Versuchsanstalt [Maschine von Hoppe Taf. 10] entworfen habe. Dieser Apparat [für sehr grosse Messlängen l_e , bis zu mehreren Metern] ist mit Messfedern 2 aus Holz von kastenförmigem Querschnitt versehen, die aus einzelnen Stücken mittelst Keilen 4 zusammengefügt werden können. Dieses Gestänge kann an dem einen Ende mit dem Spiegelträger, an dem anderen Ende mit dem Endschneidenträger verbunden werden; es wird an dem grossen Kontrolstab (595 *i*, Fig. 420) mittelst der in Fig. *N* bis *T* gezeichneten Einrichtungen angehängt. Der Apparat ist so konstruiert, dass er die Dehnungsunterschiede für jede Laststufe stets mit den gleichen Stellen der Skalen und von der gleichen Spiegelstellung aus so misst, dass alle Fehler der Annäherung gegen die Theorie für jede Messung genau gleichen Betrag haben und die gefundenen Werthe ohne Korrektur scharf vergleichbar sind, auch wenn die Spiegelausschläge gross werden. Zu dem Zwecke musste die Einrichtung getroffen werden, dass die Messfeder für jede Laststufe um genau so viel verlängert werden konnte, als sich der Probestab unter der Last ausdehnt, d. h. dass der Spiegel immer auf die Anfangsablesung zurückgestellt werden konnte. Dies ist auf folgende Weise erreicht.

Der Spiegelträger *H* bis *L* besteht aus dem Messingstück 18, das die Stellschrauben 19, 20 und 23 und die Federn 21 und 24, sowie die Stahlplatte 27 zur Stützung des Schneidenkörpers 25 aufnimmt. Schneidenkörper und Spiegel 25 sind in *K* bis *N* gezeigt. Die Schneide ist unten schräg abgeschnitten so, dass die Drehkante durch das Plättchen 27 gestützt wird, wenn der Spiegelkörper zwischen die Federn 22 und 24 eingesetzt wird. Um dies auszuführen, wird, nach dem Einhängen des Gestänges in die Aufhängevorrichtung, zunächst die Schraube 19 soweit vorgeschraubt, dass 18 in gehöriger Entfernung vom Probestab 1 erhalten wird. Dann wird Schraube 23 vorgeschraubt, bis Feder 24 ganz aus der Vertiefung

in 18 heraustritt. Darauf treibt man mit Schraube 20 Feder 21 so weit vor, bis die Spiegelschneide ganz leicht in die Nuthen der beiden Federn gleitet und sicher darin steht.

Nun werden mit Hilfe von zwei Spannfedern *U* 38, die mit ihren Kugeln an 18 [und 13, *A* bis *C*] angreifen, beide Gestänge an beiden

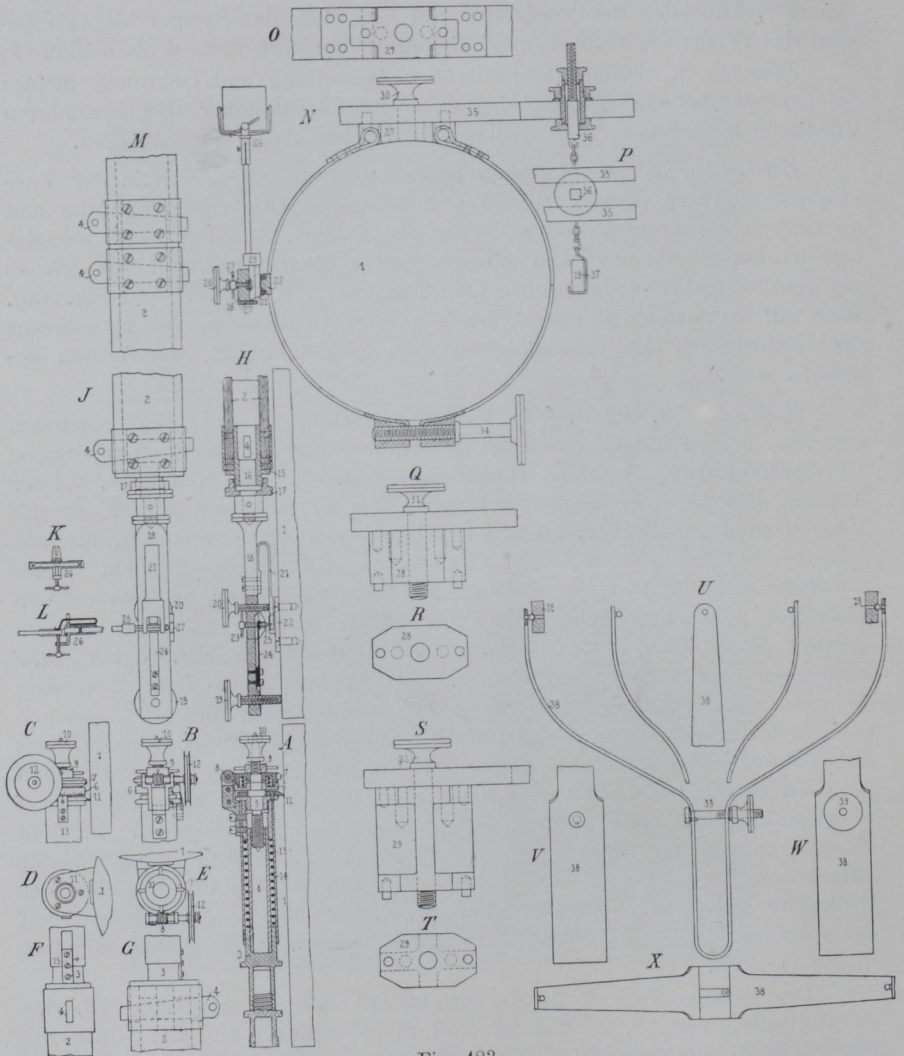


Fig. 483.

Enden gegen den Probestab 1 mit sanftem Druck angelehnt. Durch das Gehänge *N* 36, 37 wird die richtige Einstellung auf Höhe u. s. w. bewirkt, bis Schneide 11 [*A* bis *C*] in eine Marke am Stabe 1 eingreift. Dann kommt die Spiegelschneide dem an dem Probestab befestigten Körper 22 gegenüber zu liegen. Wenn jetzt Schraube 20 zurückgedreht wird, so legt sich die Spiegelschneide fest in die Nuthen der Federn 21 und 24

ein; sie kommt also für jeden Versuch immer wieder in die gleiche Anfangslage gegenüber dem Körper 18, wenn nun auch noch die Schraube 23 zurückgedreht wird und dadurch die Schneide zum Anliegen an 18 gebracht wird. Jetzt ist man im Stande, durch Zurückdrehen von Schraube 19 die andere Schneidenkante zum Anliegen an die gewölbte Kontaktfläche von 22 zu bringen.

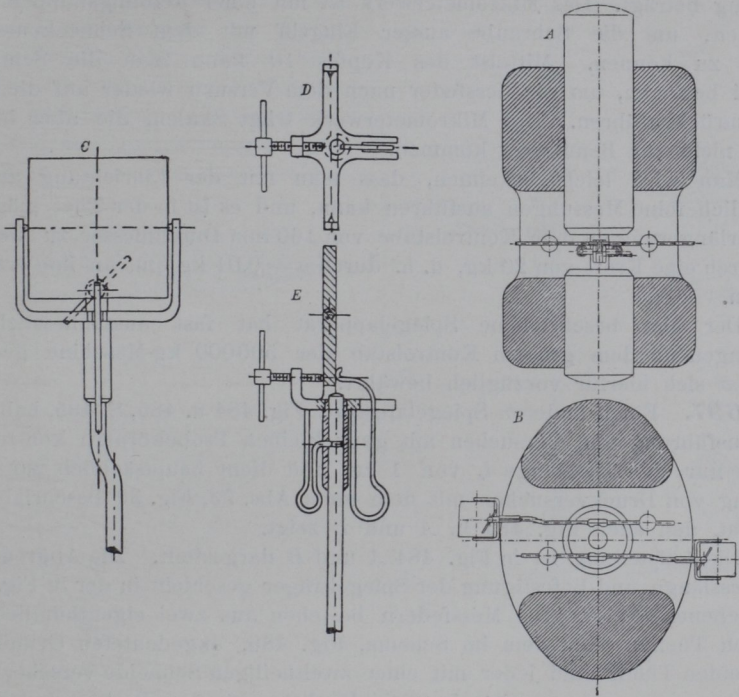


Fig. 484.

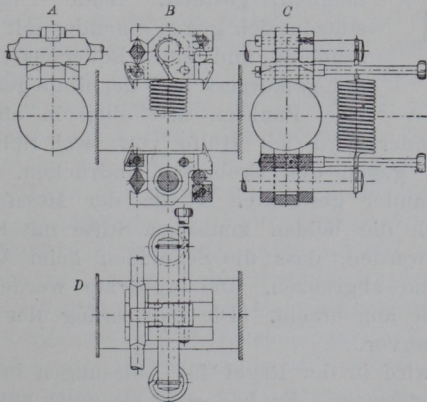


Fig. 485.

Nachdem Fernrohr und Spiegel auf Skala und Anfangsablesung wie in Abs. 694 angegeben, eingestellt sind, kann der Versuch beginnen. Nach dem Einspielen der ersten Last liest man ab und stellt nun mittelst zweier bis zum Sitz des Beobachters geführter Schnurzüge, die über die Rolle 12 des Schneckentriebes 8 am Endschneidenträger [A bis E] laufen, den Spiegel dadurch auf die Anfangsablesung zurück, dass man mit der Mikrometerschraube 5 die Messfeder E um soviel verlängert, als die Probestabdehnung beträgt. Das Mikrometerwerk ist mit einer Reibungskuppelung 6 versehen, um die Schraube ausser Eingriff mit dem Schneckenrad 7 setzen zu können. Mittelst des Kopfes 10 kann man die Schraube schnell bewegen, um die Messfeder nach dem Versuch wieder auf die Nulllage zurückzuführen. Das Mikrometerwerk trägt Skalen, die aber in der Regel nicht zur Benutzung kommen.

Man wird leicht erkennen, dass man mit der Einrichtung ausserordentlich feine Messungen ausführen kann, und es ist in der That möglich, die Verlängerung an dem Kontrolstabe von 160 mm Durchmesser zu messen, die durch eine Kraft von 20 kg, d. h. durch $\sigma = 0,01$ kg/qm, an ihm erzeugt werden.

Der hier beschriebene Spiegelapparat hat fast ausschliesslich zu Messungen an dem grossen Kontrolstab der 500000 kg-Maschine gedient und hat sich hierfür vorzüglich bewährt.

697. Einen anderen Spiegelapparat, Fig. 484 u. 485, S. 485, habe ich zur Ausführung von Versuchen mit ganz kleinen Probekörpern konstruirt; er hat nur eine Messlänge l_e von 1 cm und dient hauptsächlich zur Ausführung von Druckversuchen mit dem unter Abs. 73, Fig. 39 beschriebenen Apparat, den auch Fig. 484 in A und B zeigt.

Die Aufstellung ist in Fig. 484 A und B dargestellt. Die Abgrenzung der Messlänge und Befestigung der Spiegelträger geschieht in der in Fig. 485 angegebenen Weise. Die Messfedern bestehen aus zwei eigenthümlich geformten Theilen nach dem im Schema, Fig. 486, angedeuteten Grundsatz. Die beiden Theile sind jeder mit einer zweitheiligen Schneide versehen, die sich in zwei Punkten an den Probecylinder anlegen; dadurch ist jeder Spiegelapparat an dem Cylinder in vier Punkten, also so vollkommen wie möglich, gestützt. Beide Theile der Messfeder stützen sich gegen einander mit Hilfe der Spiegelschneide und eines Röllchens. Die Stützung des Spiegelkörpers und der Rolle geschieht unten in je zwei Punkten und oben in einem. Die Anlage

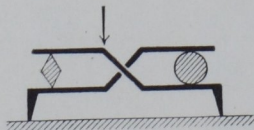


Fig. 486.

aller Theile aneinander wird mit Hilfe von zwei Spiralfedern bewirkt, die beide Apparate gegen den Probestab andrücken. Die beiden sonst ganz lose durcheinander gesteckten Theile der Messfedern können vor dem Ansetzen durch die beiden konischen Stifte mit Knöpfen so gegen einander befestigt werden, dass die Schneiden beim Ansetzen genau die Messlänge von 1 cm abgrenzen. Die Apparate werden also ohne jede Marke an dem Stabe angebracht. Die Einrichtung der Spiegel geht aus Fig. 484 C bis E hervor.

Der Apparat wird in der Regel für Ablesungen in $1/200000$ cm als Schätzungseinheit gebraucht. Er hat sich als sehr zuverlässig erwiesen, da die Ablesungen für die Laststufe bei Körpern mit gleich-

bleibendem α höchstens um 2 bis 3 Einheiten schwanken, wie dies auch bei den übrigen Spiegelapparaten der Bauschingerschen oder Martensschen Bauart der Fall ist.

698. Dass man bei Anwendung des Martensschen Grundsatzes beim Bau der Spiegelapparate leicht bis auf die Messlänge $l_e = 0$ zurück gehen kann, zeigt Fig. 487 im Schema. Der dargestellte Apparat hat dazu gedient, die Dicke einer Schicht von Schmieröl festzustellen, die sich zwischen zwei ebenen Flächen unter verschiedenen Drucken bei wechselnder Wärme bildet. Wenn man sich bei Messung dieser Schichtendicken unabhängig von den elastischen Zusammendrückungen der Körper 1 und 2 machen wollte,

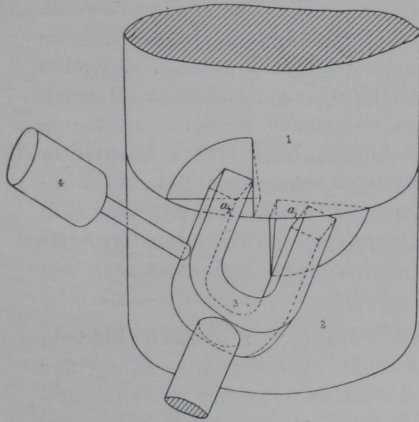


Fig. 487. [$\frac{1}{1}$ n. Gr.]

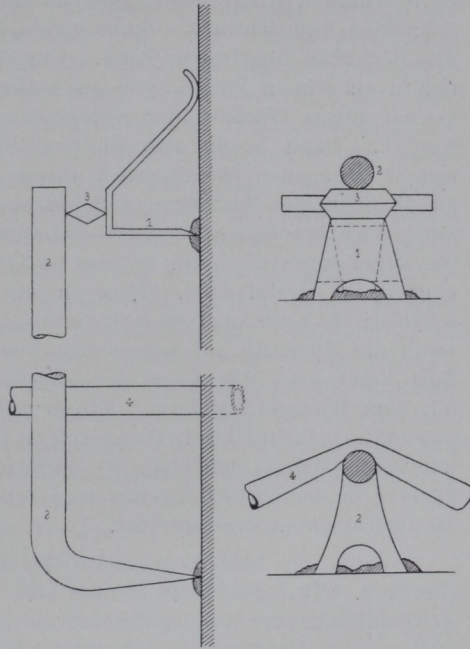


Fig. 488.

so musste man die Messung unmittelbar an den beiden Körperendflächen, zwischen denen die Schichtenbildung erfolgte, vornehmen. Zu dem Zwecke ist gewissermassen ein negativ ausgebildeter Schneidkörper benutzt worden, nämlich die Gabel 3 aus gehärtetem Stahl, deren Schneidkante a_2 in dem Ausschnitt am Körper 1 sich auf die Endfläche vom Körper 2 stützt. Das Gegengewicht 4 veranlasste dann die Stützung der Schneidkante a_1 im Ausschnitt des Körpers 2 gegen die Endfläche des Körpers 1. Die Gabel 3 trägt den Spiegel in bekannter Weise und wird ebenso, wie es in Fig. 206 (300) gezeigt ist, mittelst einer dritten Schneide gestützt. Wenn sich also die beiden Endflächen an 1 und 2 von einander entfernen, so muss die Kippbewegung an 3 mittelst des Spiegels die Grösse dieser Entfernung anzeigen. Der Apparat ist für Schätzungen bis auf $1/200000$ cm mit bestem Erfolg benutzt worden.

699. Bei der Prüfung von Gesteins- und Betonwürfeln jeder Grösse auf ihr elastisches Verhalten sind die Spiegelapparate Martensscher Bauart in der Charlottenburger Versuchsanstalt benutzt worden, wie es die schematischen Darstellungen in Fig. 488 zeigen. Um den Spiegel frei an einer grossen Fläche so anbringen zu können, dass man die Formänderung

bestimmter Strecken in beliebiger Richtung, längs oder quer zur Kraft-richtung, an jedem Ort der Fläche messen kann, werden in der einen Endmarke kleine, aus dünnem Stahlblech aufgebogene Böckchen 1 angebracht. Sie stehen mit zwei in einer Linie liegenden Schneiden in der Endmarke auf und finden ihren dritten Stützpunkt in dem umgebogenen Schwanz des Böckchens. Die scharfen Schneiden haben mehr Reibung als das Schwanzende und daher müssen die Schneiden sich an der Ansatzstelle erhalten, während das Material unter dem Schwanzende seine zwischen Schneiden und Schwanz stattfindenden geringen Formänderungen nicht auf das Böckchen übertragen kann. Um das Böckchen zunächst ohne Spannfedern an seinem Platze auch an senkrechten Flächen zu erhalten, kann es mit etwas Wachs- oder Koloophoniumkitt an den Schneiden vergossen werden. Dann lassen sich die aus Stahldraht von etwa 6 mm Durchmesser gebogenen Messfedern 2 ansetzen, die mit ihrem runden Ende sich an die Schneiden 3 anlegen und am anderen Ende zu einer breiten in der Mitte durchbrochenen Schneide zugeschräfft sind. Die Anspannung kann in der Regel durch einen um Apparat und Probe geschlungenen Gummischlauch oder durch Drahtfedern, Hölzchen mit Gummischlauchfedern u. s. w. geschehen; sie kann auch einfach durch aufgehängte Gewichte bewirkt werden, wenn die Apparate auf wagerechte Flächen aufgesetzt werden. Nöthigenfalls kann man die Lage der Messfederschneide noch durch Vergiessen mit dem Wackskitt sichern. Mit so aufgestellten Apparaten hat die Versuchsanstalt in Charlottenburg an Gelenkquadern aus Granit, Sandstein und Beton [Würfel von etwa 70 cm Kantenlänge mit berührenden Cylinderflächen] in der 500000 kg-Maschine schon gleichzeitige Beobachtungen mit 10 Instrumenten durchgeführt.

Wenn an beiden gegenüberliegenden Fasern von grossen Blöcken [Beton u. s. w.] gemessen werden soll, so muss man bei Anwendung der gewöhnlichen kurzen Spiegelachsen die beiden Ableserfernrohre getrennt aufstellen und zweckmässig mit zwei Beobachtern arbeiten. Man kann bei Anwendung langer Achsen nach Fig. 206 (300) auch die einseitige Aufstellung beibehalten, muss dann aber, wie dort, jeder Achse einen direkten Stützpunkt geben. Wenn auf die Anwendung zweier Apparate kein Werth gelegt zu werden braucht, so kann man doch bei Anwendung nur eines Apparates die Bewegungen der Probe [Drehungen bei beweglichen Einspannteilen] durch gleichzeitige Ablesungen an einem mit dem Probekörper fest verbundenen Spiegel bestimmen und durch Korrektur der Formänderungsablesung unschädlich machen.

Auch um Formänderungen im Inneren eines Probekörpers zu messen, kann man die Spiegelapparate meiner Konstruktion ganz leicht anwenden, wenn an dem Körper ein Loch von etwa 10 mm Durchmesser angebracht werden kann. Man macht dann für jeden Spiegelapparat zwei Messfedern aus Stahldraht, etwa wie in Fig. 488 gezeigt. Die Schneiden werden mit an den Messfedern angebrachten Gegenfedern gegen die Lochwandungen angedrückt und der Spiegel wird dann nach Maassgabe von Fig. 205 und 206, (300), zwischen beiden Messfedern angebracht. Die Messlänge ist nun gleich dem Abstand beider Messfederschneiden von einander. Fig. 205 und 206 zeigen, wie man den Spiegelapparat herrichten kann, wenn die Stabmarken nicht unmittelbar zugänglich sind.

700. Mein bereits im Jahre 1884 konstruierter Spiegelapparat (88) hat in den beiden folgenden Apparaten Abänderungen erfahren, die ich insofern nicht als Verbesserungen erachten kann, als man den Grundsatz der Ablesung mit zwei getrennten Fernrohren aufgegeben hat und beide Spiegel mit einem einzigen Fernrohr beobachtet. Wenn auch die Spiegel so unmittelbar neben einander gelegt sind, dass beide Skalen gleichzeitig im Gesichtsfelde des Fernrohrs erscheinen, so liegen sie doch immer um etwas mehr als die Stabdicke hinter einander, und hieraus entsteht der Uebelstand, dass man das Fernrohr nicht auf beide Skalen gleichzeitig scharf einstellen kann, d. h. so, dass das durch das Objektiv entworfene Bild der Skala genau in die Ebene des Bildes vom Fadenkreuz fällt. Man hat nun die Wahl, entweder erstens das Fernrohr auf beiden Skalen gleichmässig unscharf einzustellen, d. h. also für beide Ablesungen die paralaktischen Fehler gross zu machen (694d), oder man muss zweitens zwischen beiden Ablesungen das Okular verschieben und fortwährend abwechselnd das eine oder das andere Bild scharf einstellen, wie es Kirsch angiebt (*L 23*, 1891, S. 139), und drittens kann man, wie Kirsch es nach mündlicher Mittheilung gemacht hat, den Skalenabstand um den halben Abstand der Spiegeldrehachsen ändern, so dass die Sehstrahlänge vom Fadenkreuz zur Skala für beide Spiegel gleich ist; dann haben natürlich beide Apparate verschiedene Uebersetzung. In den beiden ersten Fällen ist die Sicherheit der Ablesung vermindert, im zweiten giebt man einen der wesentlichen Vorzüge der Spiegelablesung auf, dass nämlich das Instrument in allen seinen Theilen während des Versuches ohne Berührung durch den Beobachter bleibt. Auch der dritte wird wohl seine Schwierigkeiten haben, denn Kirsch theilte mir mit, dass er die Ablesungen mit einem Fernrohr aufgegeben habe und jetzt ebenfalls 2 Instrumente benutzt.

701. Die Apparate von Kirsch-Wien (*L 23*, 1891, S. 139) und von Henning-New York benutzen je zwei Spiegelapparate meiner Bauart mit gleichzeitiger Ablesung durch ein Fernrohr.

Der Spiegelapparat von Kirsch unterscheidet sich nur darin von meiner Konstruktion, dass die Messfedern, statt einer Schneide, am feststehenden Ende zwei Spitzen haben, mit denen sie sich in die Strichendmarken von l_e sowohl am Rundstab, als auch am Flachstab ansetzen. Dass dies nur bedingungsweise als eine ideale Konstruktion bezeichnet werden kann, geht aus dem in Abs. 691k und 694b Gesagten wohl hervor. Kirsch hat, wie er mir mündlich mittheilte, in Erkennung dieser Umstände, die Spitzen als einstellbare Schrauben ausgebildet; ich halte das nicht für einen Vorzug, weil an der Feder unnöthiger Weise bewegliche Theile geschaffen werden. Im Uebrigen hatte Kirsch die Skalen durch allerdings durchsichtige Glasskalen ersetzt, die mit diffusem Licht von hellen Flächen von hinten beleuchtet wurden. Dabei ist man von den Lichtverhältnissen im Laboratorium abhängig; deswegen dürften die bei der Gauss'schen Ablesung vielfach benutzten Milchglasskalen den Vorzug verdienen, die sich sehr gut durch eine Anzahl kleiner Flämmchen von hinten beleuchten lassen.

702. Die Aenderungen, die Henning (*L 44*, 1897, Mai) an meinem Apparat vornahm, gehen aus Fig. 489 und 491 hervor. Im Wesentlichen bestehen sie darin, dass er dafür Sorge trug, dass die Anfangsstellung der Spiegelachse zwischen Stab und Feder stets genau dieselbe ist. Das ist

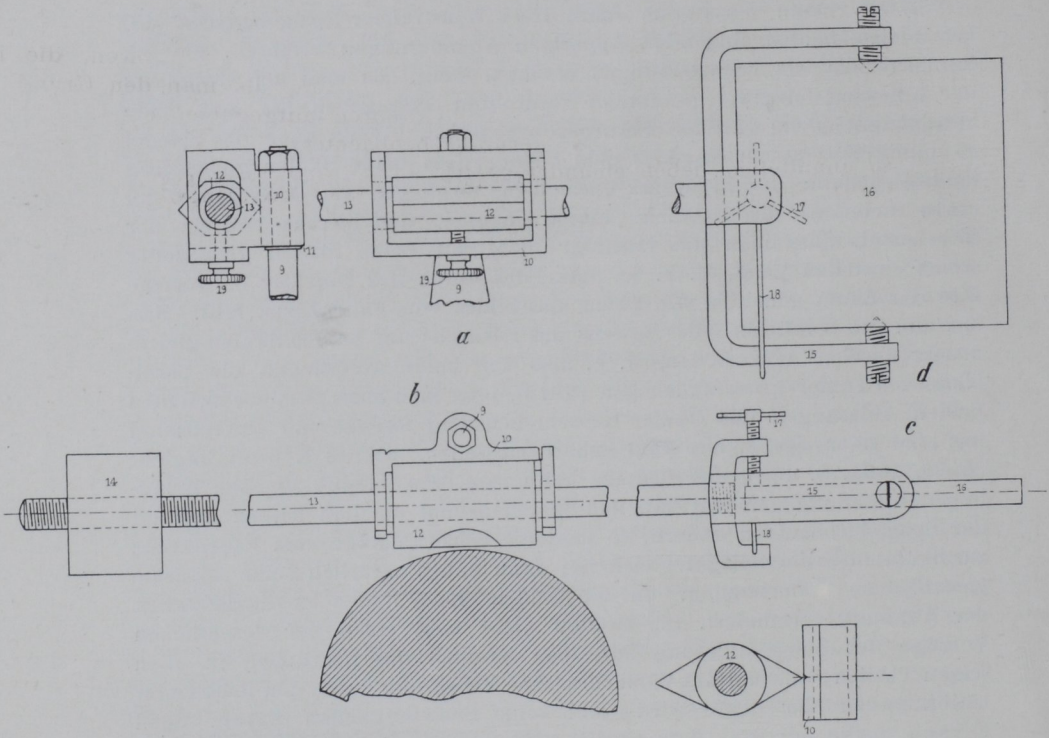


Fig. 489.

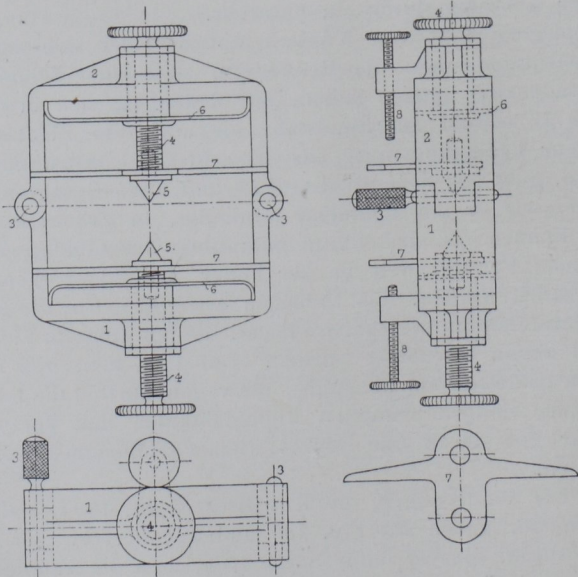


Fig. 490.

ein sehr wesentlicher Punkt, wie aus der von mir früher (88—98) entwickelten Theorie und aus den vorausgehend gegebenen (690—699) Besprechungen der für mich leitend gewesenen Grundsätze hervorgeht. Diese Anfangseinstellung wird dadurch erreicht, dass die Spiegelschneiden 12 vor dem Ansetzen mittelst des Schraubchens 19 in dem Schneidengehäuse 10 befestigt werden. Auf diese Weise wird seine Lage gegen die Messfeder 9 genau festgelegt. Der ganze Spiegelkörper ist mit der Feder 9 vereinigt, deren oberes Ende einen cylindrischen Fortsatz trägt, auf dem 10 mittelst einer federnden Unterlagscheibe 11 und eines Schraubchens befestigt ist. Die Spiegelachse kann sich also um die Federachse so drehen, dass die Schneide sich unter allen Umständen an einen Flachstab vollkommen anlegt. Beim Rundstab besteht dagegen labile Stützung des Schneidenkörpers, weil die Stützung nur in zwei Punkten erfolgt, in *a*, Fig. 492, am Stabe und in *b* der Messfederachse. Daher wird immer das Streben vorhanden sein, nach der Richtung des Doppelpfeiles abzukippen. Diesem Streben muss der elastische Biegungswiderstand der Messfedern das Gleichgewicht halten, obwohl die Federn es zugleich durch ihre Anspannung gegen den Stab hin befördert.

Die Konstruktion der Spiegelkörper selbst gleicht der meinigen. Anders ist dagegen die Befestigung des Apparates, die aus Fig. 489 und 491 erkannt werden kann. Die Rahmentheile 1 und 2 sind durch Gelenkbolzen 3 mit einander verbunden, von denen der eine herausgezogen werden kann. Der Rahmen wird mit den Spitzschrauben 4 am Stabe befestigt. Die Lagerung dieser Schrauben geschieht in federnden Hülsen, die sich im Rahmen schieben und mit den Federn 6 fest verbunden sind. Die Spitzen 5 dienen zugleich zur Befestigung des Messfederträgers 7; sie sind in Schrauben 4 eingeschraubt. Der Messfederträger 7 stützt sich mit zwei seitlichen Armen auf den Spanrahmen, um das Umkippen zu hindern. An ihm wird die die Spiegel tragende Messfeder 9 mit Gelenkbolzen befestigt.

Der Henningsche Spiegelapparat bildet also ein Ganzes, das nach Herausnahme des Vorsteckstiftes 3 aufgeklappt und dann am Probestab befestigt werden kann, ohne dass es nöthig wird, die Messlänge vorher abzugrenzen. Nach dem Ansetzen werden mit den Schrauben 8 die Messfeder angespannt, bis die Schneiden gehörig am Stab anliegen, dann sind die Schrauben 19 zu entfernen, um die Spiegel frei zu machen, und nun ist die Einstellung der Spiegel wie bei meinem Apparat zu bewirken.

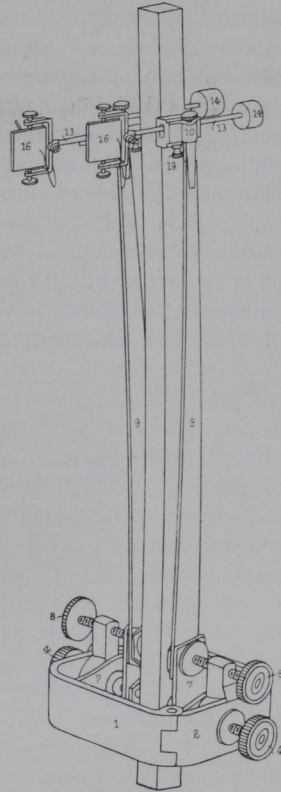


Fig. 491.

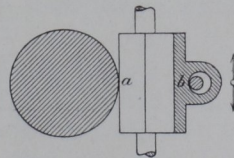


Fig. 492.

Das Ansetzen des Henningschen Apparates vollzieht sich wohl ohne allen Zweifel bequemer als bei dem meinigen. Ich kann mich aber nicht davon überzeugen, dass die Konstruktion vollkommener ist als mein einfacher Apparat mit losen Messfedern, denn es ist der meines Erachtens wesentliche Vorzug der Einfachheit und Starrheit der maassgebenden Theile verloren gegangen, welche jede unkontrollirbare Nebenspannung ausschliessen und die ganze Befestigung auf einfache Stützung aller Theile gegen den Probestab und gegen einander zurückführen. Da auf $\frac{1}{100\,000}$ oder $\frac{1}{200\,000}$ des Centimeters gemessen werden soll, so sind in jeder Verbindungsstelle, die während der Messung Bewegungen von dieser Grösse zulässt oder zulassen kann, Unsicherheiten gegeben. Wenn ich auch nicht glaube, dass bei achtsamer Behandlung des Henningschen Apparates schädliche Aenderungen in den Verbindungstheilen während des Versuches vorkommen werden, so halte ich mich doch für verpflichtet, auf die grundsätzlichen Abweichungen von der ursprünglichen Konstruktion hinzuweisen, weil diese Betrachtungen zugleich lehrreich sind.

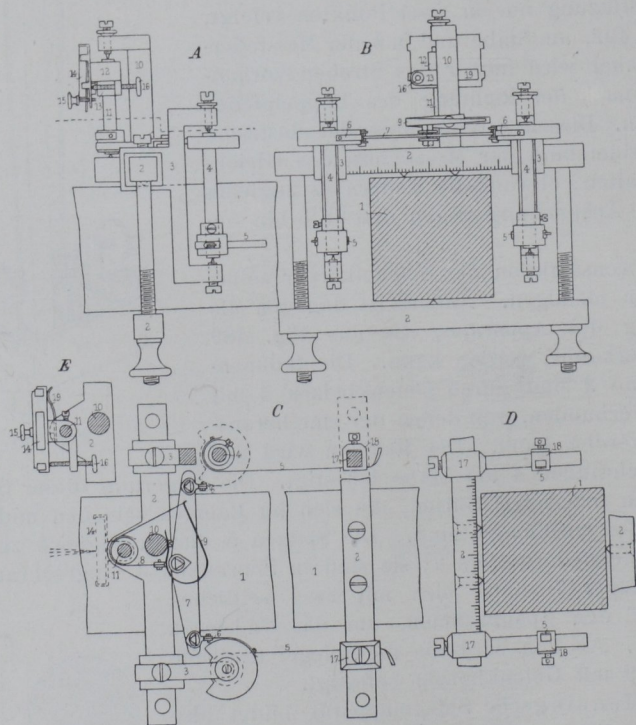


Fig. 493.

703. Hartig hat (*L 9*, 1893, H. 6) von dem einfachen Apparat ausgehend, wie er von Leuner für seine Maschine mit Stangenfeder (*549*) übernommen worden ist, einen Spiegelapparat mit nur einem Spiegel konstruirt, der in Fig. 493 abgebildet ist. Bei diesem Apparat ist der in Abs. *549* besprochene Uebelstand der alten Konstruktion (*L 9*, 1893, H. 6, Taf. XIX) vermieden, dass nur mit einem Apparat gearbeitet

wird, der noch dazu weit ab vom Probestab angebracht war. Biegungen der Probe mussten in die Messungen eingehen; ausserdem geschah die Messung nicht einmal an einer bestimmten, am prismatischen Theil des Probestabes abgegrenzten Messlänge l_e , sondern zwischen Klemmen, die an den Köpfen angebracht wurden. Der neue Apparat misst die Formänderungen der Proben unter Vermeidung der Fehler, die aus der Biegung der Proben und aus der unbestimmten Messlänge entstammen.¹⁾ Die beiden Bügel 2 werden durch starre Schraubeklemmen in je drei Stützpunkten in den Ebenen der beiden Endmarken der Messlänge l_e befestigt. Der rechte Bügel trägt die Stützen 17, an denen mittelst der Klemmen 18 die aus ganz dünnem Metall bestehenden Zugbänder 5 in der Höhe der Mittellinie des Probekörpers befestigt werden. Die Bänder 5 gehen zu der kleinen Rolle auf der in Spitzen laufenden Achse 4, setzen die Längenänderungen der Probe in Drehbewegung um und übertragen diese, mittelst der oberen Rolle und des Bandes 6, auf den Wagehebel 7. Dieser giebt die mittlere Bewegung von 6 an das Band 8 ab, welches die Spiegelachse 11 dreht. Die Spiegelvorrichtung ist aus der Zeichnung verständlich.

Die Konstruktion ist recht verwickelt, und es drängt sich die Frage auf, ob die beabsichtigte Ersparniss eines Fernrohres und der mit dem Doppelapparat verbundenen Ablesearbeit nicht aufgewogen wird durch die Unzuträglichkeiten, die aus der Anwendung eines Spiegels (94 b) entspringen, sowie durch die vielen Punkte, die zu Fehlerquellen Anlass bieten; ich verweise auf die dünnen Metallbänder, die jeder Wärmeschwankung augenblicklich folgen müssen. Da ich mit dem Apparat nicht gearbeitet habe, darf ich hier nur auf einige Punkte aufmerksam machen, die nach meinem Ermessen beachtet werden müssen. Wenn der Apparat zu absoluten Messungen [Bestimmung von E oder α] benutzt werden soll, so ist vor allen Dingen das Uebersetzungsverhältniss genau festzustellen. Dazu würden die Durchmesser- und die Excentricitätsbestimmungen von fünf Rollen, und die Längen des Hebels 7 zu messen sein [sieben Fehlerquellen]. Dann wäre zu untersuchen, welchen Einfluss der in den drei Achsen 4 und 11 auftretende todte Gang etwa hat. Da die Achsen mit Körnern auf festen Schraubenspitzen laufen [nicht wie beim Bauschingerschen Apparat in Federn (691 a, Fig. 473)], so ist der todte Gang von der Einstellung der Spitzenschrauben abhängig und damit in schwer kontrollirbarer Weise veränderlich. Wie gross der Fehler der Ablesung in Folge der starken Excentricität des Spiegels wird, liesse sich wohl in Rechnung stellen. Bezüglich der Spiegelkonstruktion verweise ich auf das in Abs. 691 g Gesagte und ebenso wegen der Wirkung der Steifigkeit der Metallbänder auf die Andeutungen in Abs. 676.

704. Ein Spiegelapparat, der auch mit nur einem Spiegel arbeitet, ist in Fig. 494 schematisch dargestellt. Er ist von Prof. Unwin-London (*L 240*) konstruirt und verfolgt dessen bereits in Abs. 689, Fig. 471, besprochenen Grundsatz. In der Endmarke von l_e sind am Stabe 1 mit Spitzenschrauben die beiden Brücken 2 und 3 angebracht, von denen 3 mit Schraube 4 senkrecht zur Stabachse eingestellt werden kann. In Körner-

¹⁾ Die Messbänder 5 liegen in der wagerechten Achsenebene des Probestabes, daher haben Biegungen in der senkrechten Ebene keinen Einfluss auf das Ergebniss; Biegungen in der wagerechten Ebene werden durch den Hebel 7 ausgeglichen.

marken steht zwischen 2 und 3 die Steife 5, wodurch die Brücke 2 zu einer Kippbewegung um den Stützpunkt von Steife 5 veranlasst wird, sobald der Stab 1 eine Formänderung erfährt. Dadurch kommt Spiegel 7, durch Feder 8 veranlasst, in Drehung. Die Drehbewegung wird mit Fernrohr abgelesen. Der Apparat misst also die Formänderungen an zwei gegenüberliegenden Aussenfasern und gleicht die etwaigen Unterschiede in beiden Fasern aus, da die als Unveränderliche dienende Steife 5 in einer Meridianebene des Stabes senkrecht zu den Brückenspitzen liegt. Wenn,

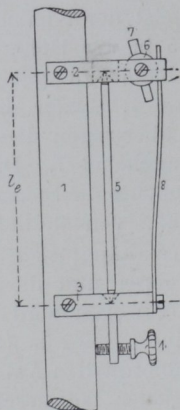


Fig. 494.

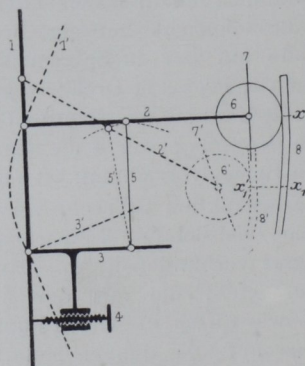


Fig. 495.

wie dies wohl als zutreffend anzunehmen ist, die Spitzen der Brücken und der Steife 5, sowie die Drehachse der Spiegelrolle in einer Ebene liegen, so kann allerdings die verschiedene Dehnung der beiden gemessenen Fasern keinen wesentlichen Einfluss auf das Messungsergebniss ausüben. Finden aber Biegungen des Probestabes 1 in dem durch die punktirte Linie 1', Fig. 495, angedeuteten Sinne statt, so muss die Brücke 3, an dieser Bewegung theilnehmend, die Spiegelablesung trüben. Wenn ich nicht irre, war an dem Unwilschen Apparat, den ich in Montreal-Canada sah, an Brücke 3 eine Libelle angebracht, um die Unveränderlichkeit von 3 zu überwachen. In diesem Falle würde man bei genauen Messungen diese Libelle bei jeder Spiegelablesung ebenfalls ablesen müssen oder wenigstens dann, wenn die Spiegelablesungen auffällige Werthe zeigen. Dies würde aber die Beobachtung doch wohl recht sehr erschweren, sodass man sich fragen muss, ob nicht die Anwendung zweier Spiegel schliesslich praktischer bleibt, namentlich wenn man bedenkt, was in Abs. 94b über die Folgen der Benutzung eines Spiegels gesagt wurde.

Ohne auf die Theorie des Apparates näher einzugehen, kann man aus dem Schema Fig. 495 schon einsehen, dass sie recht verwickelt ausfallen muss. Ich zeichnete in übertriebener Weise die Lagenänderungen der beweglichen Theile für den Fall ein, dass der Stab 1 eine wesentliche Dehnung erfährt; die neue Lage ist punktiert und mit gleichen Ziffern und Index bezeichnet. Es wird einleuchten, dass eine gewisse Besserung erzielt werden kann, wenn der Spiegel, statt an der beweglichen Brücke 2 an der gegen den Stab abgestützten Brücke 3 angebracht und die Feder 8 an 2 befestigt wäre. Dann wären wenigstens diejenigen Ablesungsfehler vermindert, die

aus der Lagenänderung der Spiegeldrehachse gegen die feststehende Absehlinie entstehen. Bei dieser Anordnung muss natürlich die Feder 8 an der Brücke 2 einen Drehpunkt bekommen und durch eine Feder von Brücke 2 aus gegen die Rolle angedrückt werden; die Steife 5 muss dann zwangsläufig mit den Brücken 2 und 3 verbunden sein.

Die Fehler wegen Ablesung am geraden Maassstabe bestehen natürlich auch für den Unwünschen Apparat, es gilt davon das früher Gesagte (86 u. 94). Man erkennt aus dem Angeführten, dass der Unwünsche Apparat einer sorgsam Prüfung der Theorie und seiner Fehlerquellen bedarf. Für die gesetzmässigeren Bewegungsvorgänge wird man, namentlich dann, wenn Brücke 3 mit einer Libelle versehen ist, Fehlertabellen, die nach der Grösse der Ablesung geordnet sind, aufstellen können. Ich konnte hier selbstverständlich nur auf die aus Ueberlegung zu fördernden Dinge eingehen und muss mich im Uebrigen des Urtheils enthalten, da ich mit dem Apparat bisher nicht gearbeitet habe.

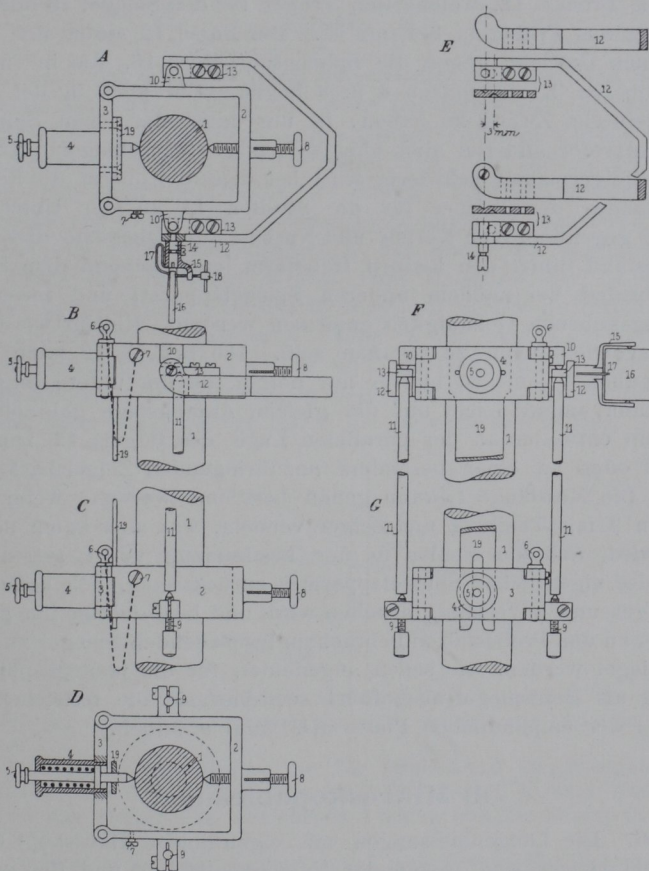


Fig. 496.

Spiegelapparat für Ablesung mit einem Fernrohr von A. Martens.

$\frac{1}{2}$ nat. Gr.

Hierzu: je 2 Stäbchen für die Messlängen $l = 5,0; 10,0; 15,0$ und $20,0$ cm.

4 Führungsfedern für $l = 5,0; 10,0; 15,0$ und $20,0$ cm und

3 Federgehäuse für Rundstäbe von $1,0-1,75$; von $1,75-2,25$ und von $2,25-3,0$ cm Durchm.

705. Obwohl ich, wie schon mehrfach hervorgehoben, kein Freund der Anwendung nur eines Spiegels bin, will ich hier doch in Fig. 496 eine eigene Konstruktion mittheilen, weil hierin versucht wurde, den Aufbau wiederum so durchzuführen, dass kein Zwang in den einzelnen Theilen erzeugt wird, und weil ich beabsichtige, diesen Apparat in einer später noch (716) zu besprechenden Weise unter Anwendung eines Hohlspiegels zur photographischen Aufzeichnung der Spiegelbewegungen bis zur Streckgrenze zu benutzen.

Der Probestab ist in den beiden Endmarken von l_e mit den in Spitzen 4 und 8 gehenden Rahmen 2 und 3 versehen, von denen der untere um die Spitzen frei beweglich, der obere mit der geschlitzten Feder 19 in seiner Lage ohne sonstigen Zwang erhalten ist. Der Schlitz von 19 legt sich mit ganz leichtem Spiel über den Hals der Spitze 4. Auf die Schrauben 9 des unteren Bügels stellen sich die beiden Streifen 11; die Spitzen von 4, 8 u. 9 liegen nahezu in einer Ebene. Die oberen Spitzen von 11 stützen die Brücke 12, welche den Träger für den Spiegel 16 bildet, dessen Einrichtung aus Früherem bekannt ist. Der Bügel 12 stützt sich frei unter dem eigenen Gewicht gegen die Spitzenschrauben 10, die in einer Ebene mit den oberen Klemmspitzen 4 u. 8 liegen. Um auch in der Lagerung von 12 keinerlei Zwang zu haben, ist nur unter der einen Spitze 10 ein Körner, unter der anderen aber eine V-förmig eingeschlagene Nuthe angebracht. Einigermassen schwierig wird bei diesem Apparat die Bestimmung des Abstandes der Körner für die Streifen 11 an der Unterseite von Brücke 12 gegenüber von Körner und Nuthe an der Oberseite dieser Brücke; dieser Abstand bildet den kleinen Hebelarm [entsprechend dem Schneidkanten-Abstand bei meinem anderen Spiegelapparat] und muss mit der früher angegebenen Genauigkeit gemessen werden. Hierfür werden besondere Messvorrichtungen zu schaffen sein. Die Brücke 12 kann mit Hilfe der Schrauben 9 [eine ist hierfür nur nöthig, da der untere Bügel ja frei kippen kann] immer leicht auf die gleiche Anfangslage gebracht werden. Diese kann entweder an der parallelen Lage des Bügels 12 zum Klemmrahmen 2 oder an einer besonders anzubringenden Zeigermarke erkannt werden. Die Messlänge l_e kann genau bestimmt werden, wenn man die Schrauben 9 mit Theilung und Zeiger versieht, was aber kaum nothwendig werden wird, weil die Fehler in der Bestimmung von l_e gegenüber den Fehlern des eigentlichen Spiegelapparates zurücktreten. Ich hoffe, dass der Apparat gut und zuverlässig arbeiten wird, und beabsichtige ihn gemeinsam mit einem an den Probestab angebrachten feststehenden Spiegel zu benutzen. Beide Spiegel werden, wie schon angedeutet, für die photographische Aufzeichnung als Hohlspiegel ausgeführt so, dass sie die feststehende Lichtquelle auf der empfindlichen Platte als Punkt abbilden.

d) Mikroskopablesung.

706. Die Längenmessungen mit eigentlichen Mikroskop- und Fernrohr-Kathetometern sind wegen der Unbequemlichkeit und der im Grunde doch geringen Leistungsfähigkeit dieser Apparate aus dem Materialprüfungswesen so gut wie verschwunden. Es wird nur wenige Laboratorien geben die im Besitz solcher Instrumente sind, und noch weniger, die sie laufend benutzen.

Anders ist es schon mit der Feststellung relativer Verschiebung von Messmarken mittelst des Mikroskopes. Diese Einrichtungen kommen dann schliesslich auf das Ablesemikroskop hinaus, wie es in den Mikrometereinrichtungen gebräuchlich ist. Ich nenne daher hier nur nochmals die Einrichtung Bauschingers für Knickversuche, wie sie in Abs. 196, Fig. 139 dargestellt ist, und beschränke mich darauf, die folgenden Instrumente zu beschreiben.

707. Für die Messung der Verkürzungen bei Druckversuchen hat Unwin (*L* 240, S. 226) das in Schema Fig. 497 dargestellte Instrument

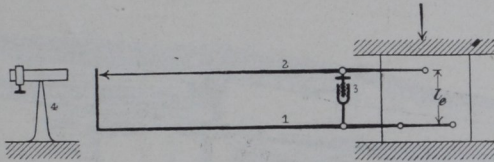


Fig. 497.

entworfen. Der Hebel 1, am Ende doppelarmig, umfasst den Körper so, dass er vorn mit zwei, hinten mit einer Spitzschraube in der unteren Begrenzungsebene der Messlänge l_e am Körper befestigt werden kann. Er trägt die Einstellschraube 3 und am langen Ende, dem Mikrometermikroskop gegenüber, eine feine Strichmarke auf Silber. Eine gleiche Marke ist an dem Hebelende von 2 angebracht, dessen Drehpunkt auf Schraube 3 liegt und dessen Gabel mit zwei Spitzschrauben in der Ebene der oberen Endmarke von l_e befestigt ist. Schraube 3 dient zum Einstellen der beiden Strichmarken vor dem Versuch. Die Entfernung der beiden Strichmarken wird mit dem Mikrometer 4 gemessen. Hebel 2 hat eine Uebersetzung von $1/2,5$; man kann bis auf $1/20\,000$ und $1/50\,000$ Zoll = $0,000125$ und $0,00002$ cm ablesen. Die Ablesungen stellen rein die Zusammendrückungen des Körpers ohne Beeinflussung durch die Maschinenteile dar.

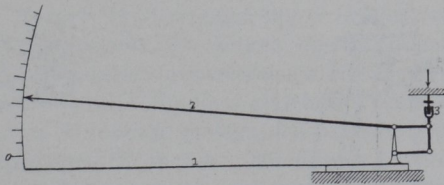


Fig. 498.

Hier sei noch auf einige andere Apparate kurz verwiesen, die äusserliche Aehnlichkeit mit dem vorgenannten haben, aber nach ganz anderem Grundsatz gebaut sind.

Olsen liefert einen Apparat, der für Druck- und Biegeversuche benutzt werden kann, nach dem Schema Fig. 498. Das Gestell 1 trägt eine Parallelführung, die den kurzen Arm des Hebels 2 bildet, und die Skala; in 3 ist eine Einstellschraube angebracht.

Ein anderes Instrument liefert Olsen nach der in Fig. 499 abgebildeten Konstruktion. Das Instrument stützt sich in zwei Punkten auf einen feststehenden Maschinenteil und mit den beiden unteren Tasterarmen auf die untere Druckplatte, unmittelbar neben dem Druckkörper. Die beiden Taster sind durch einen beweglichen Querriegel so mit einander verbunden, dass sie mit gleichem Druck sich anlegen. Die beiden oberen, ganz gleich konstruirten Taster legen

sich gegen die obere Druckplatte. Sie sind an einem Hebel befestigt, dessen Schneide durch eine Mikrometerschraube gehoben oder gesenkt werden kann, bis die am anderen Hebelende angebrachte Schraube einen elektrischen Kontakt schliesst. Der Kontaktpunkt macht die gleiche Bewegung, wie die Hebelschneide. Dies wird durch eine zweite Mikrometerschraube bewirkt, die wegen des zwischengeschalteten Zahnrades die gleiche Bewegung machen muss wie die erstgenannte Schraube. Die Schraubenwege werden an Skala- und Trommeltheilung abgelesen. Der Apparat zeigt $1/1000$ Zoll an. Grosse Zuverlässigkeit ist nicht zu erwarten, weil es sehr schwer sein wird genau gleiche Schrauben zu erhalten, wegen der Bewegungsübertragung durch Zahnräder und wegen der ungeschickten Lagerung des oberen Hebels auf den bewegten Mikrometerspindeln.

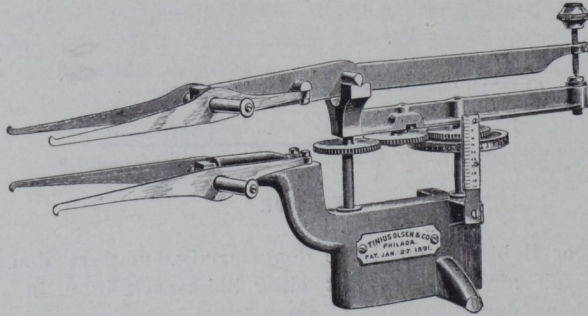


Fig. 499.

708. J. A. Ewing-Cambridge hat ein Instrument mit Mikroskopablesung konstruiert, das in den Fig. 500, 501 dargestellt ist; Fig. 502 gibt eine schematische Skizze des Apparates. Am Probestab sind mit Spitzschrauben die beiden Klemmbügel 2 und 3 in den Endmarken der Messlänge l_e befestigt; beide können frei um die Spitzen schwingen. Auf dem

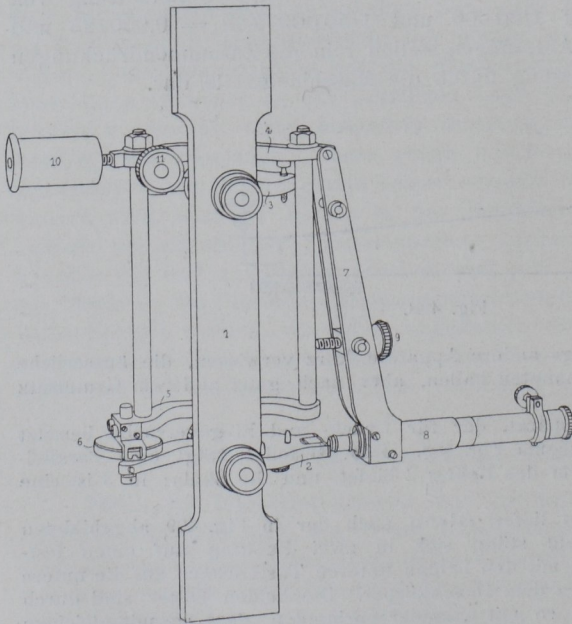


Fig. 500.

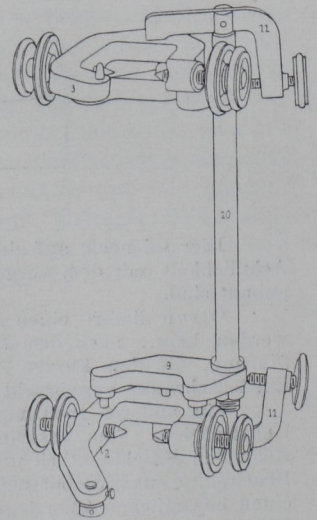


Fig. 501.

oberen Klemmbügel 3 ruht auf Spitzen [die in der Ebene der Spitzenschrauben liegen sollten] der Bügel 4, der mit 5 durch zwei Stangen starr verbunden ist. Bügel 5 trägt die Mikrometerschraube 6, deren Kugel sich in die kegelförmige Vertiefung am Klemmbügel 2 einlegt. In einem Gelenk drehbar, trägt Bügel 4 am Träger 7 das Ablesemikroskop 8, das mittelst Schraube 9 auf die am Klemmbügel 2 angebrachte Skala eingestellt werden kann. Die Skala ist auf Glas aufgetragen und wird von hinten durch ein Prisma beleuchtet. Mikroskop und die einseitig ausgebildeten Bügel 4 und 5 werden durch die Gegengewichte 10 und 11 auf den Spitzen

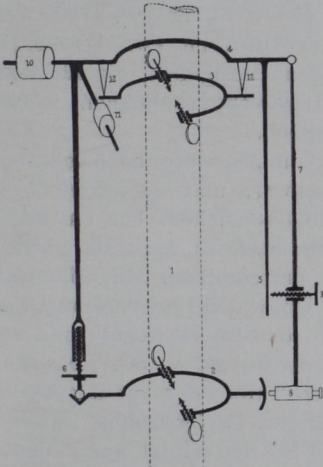


Fig. 502.

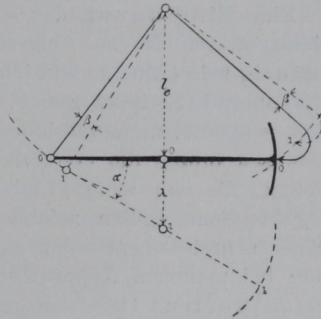


Fig. 503.

12 und in den oberen Spitzschrauben ausbalancirt so, dass der Kegel der Mikrometerschraube durch das Uebergewicht des Klemmbügels 2 ganz ohne Zwang in dem Kegeltrichter anliegt.

Wenn der Körper die Verlängerung λ erfährt, so wird, wie aus dem Schema Fig. 503 hervorgeht, die Kugel der Mikrometerschraube auf dem um die oberen Klemmspitzen beschriebenen Kreisbogen laufen müssen, den Winkel β durchschreitend. Um den gleichen Winkel β muss sich auch das Ablesemikroskop um die oberen Spitzen drehen. Die untere Brücke beschreibt dann den zu β gehörigen Winkel α . Die Grösse beider Winkel ist abhängig von den Konstanten des Apparates und von der Verlängerung λ des Stabes.

Die Mikrometerschraube 6 dient hauptsächlich zur Einstellung der Skala bei der Nullbelastung; während des Versuches ist es nicht nöthig sie zu verstellen, da die Abmessungen so gewählt sind, dass die Skala nicht aus dem Gesichtsfelde des Mikroskopes verschwindet.

Man erkennt leicht, dass die Theorie des Apparates verwickelt ist und dass Fehlerquellen in der Winkelbewegung von Mikroskopträger und beweglicher Brücke gegeben sind, weil die Schärfe der Einstellung wechselt. Wie weit die angedeuteten Fehler praktisch in Betracht kommen, kann ohne genaue Rechnung und ohne praktische Beobachtung am Instrument nicht beurtheilt werden. Der Autor giebt an, dass bei seinem Instrument die Schätzungen bis auf $1/50\,000$ Zoll = $0,000508$ mm geschehen können. (*L Proc. royal Soc. Bd. 58*).