

## 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

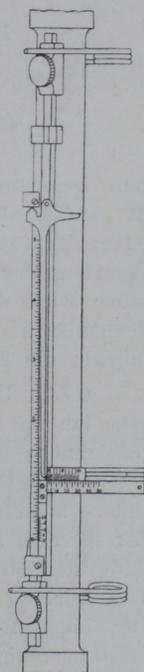


Fig. 449b.

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 Hebel Drehpunkt 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.

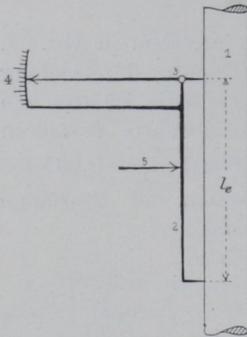


Fig. 450.

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  $\pm 2$  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-

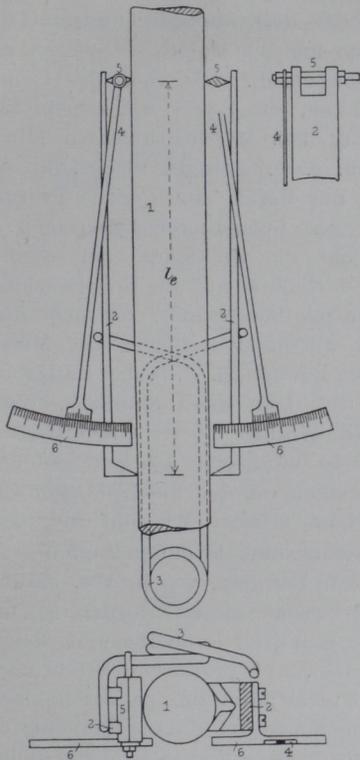


Fig. 451.

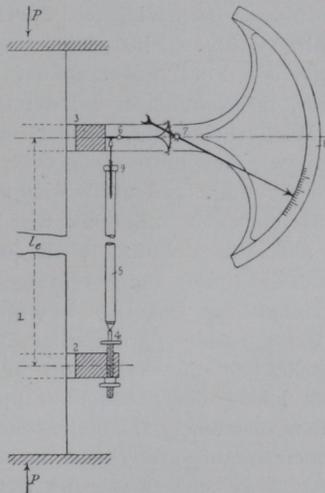


Fig. 452.

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

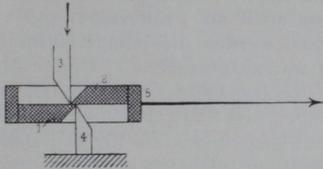


Fig. 453.

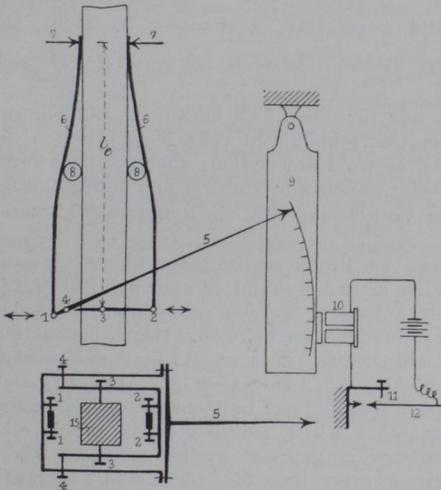


Fig. 454.

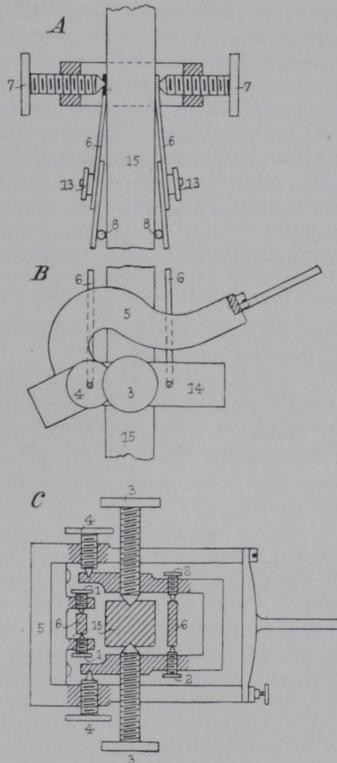


Fig. 455.

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 Versuchs 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  $90^\circ$  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).

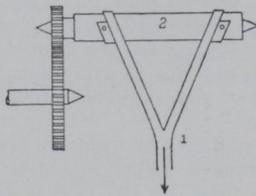


Fig. 456.

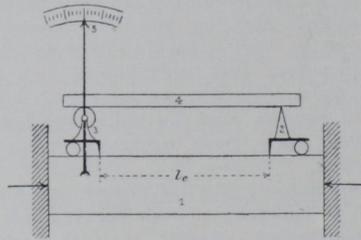


Fig. 457.

**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 konstruiert, 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

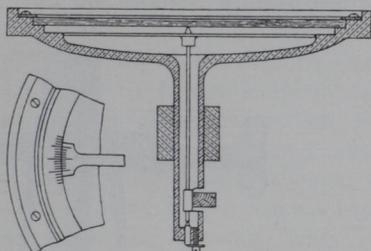


Fig. 458.

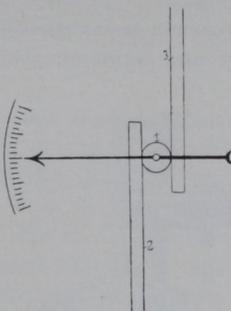


Fig. 459.

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

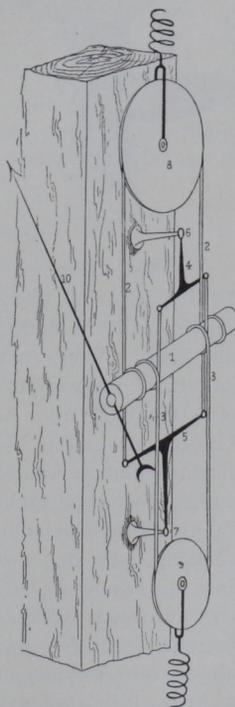


Fig. 460.

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.

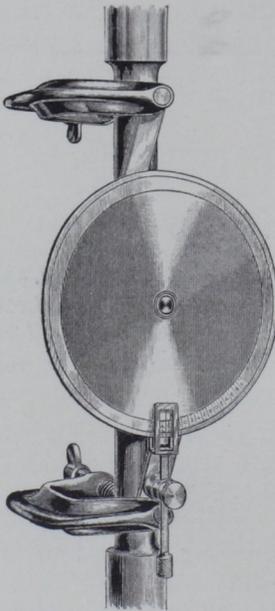


Fig. 461.

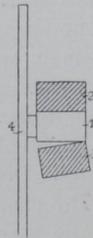


Fig. 462.

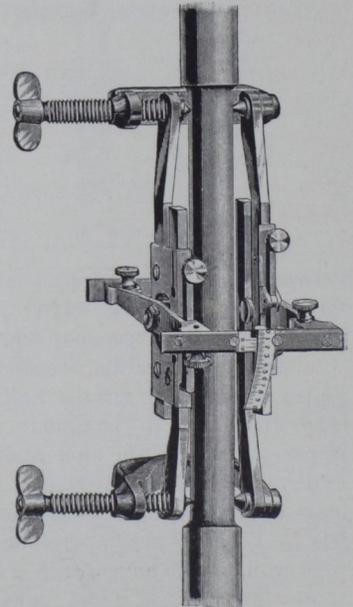


Fig. 463.

**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 verschieden

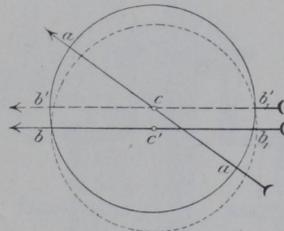


Fig. 464.

dicke 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

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

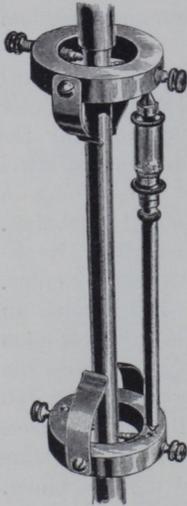


Fig. 465.

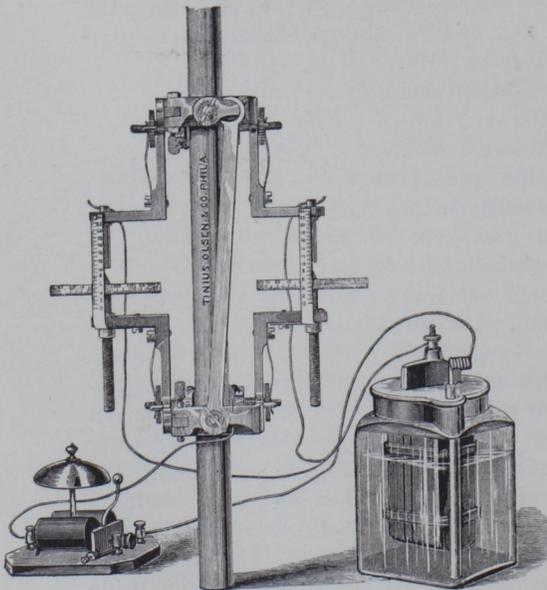


Fig. 466.

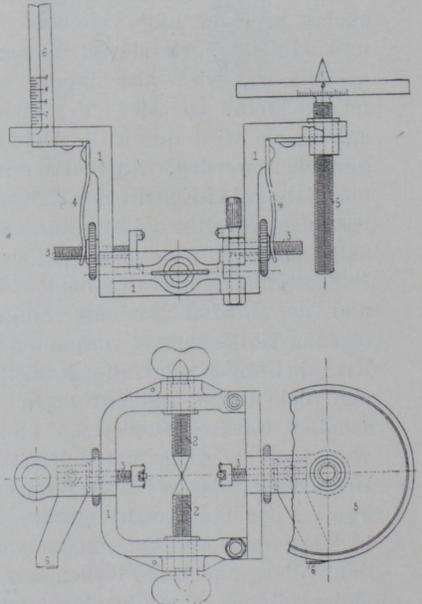


Fig. 467.