

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

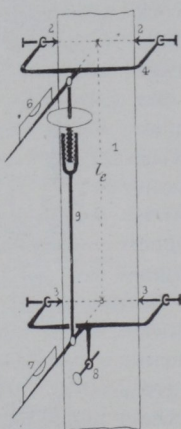


Fig. 471.

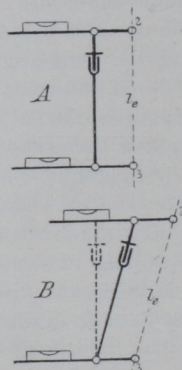


Fig. 472.

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-

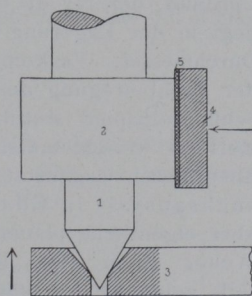


Fig. 473.

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.

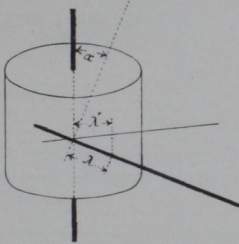


Fig. 474.

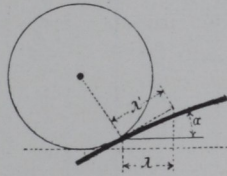


Fig. 475.

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

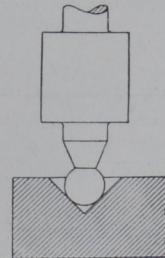


Fig. 476.

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	—	—
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	} 5 Einheiten
wie gewöhnlich	10	1351	
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⁾

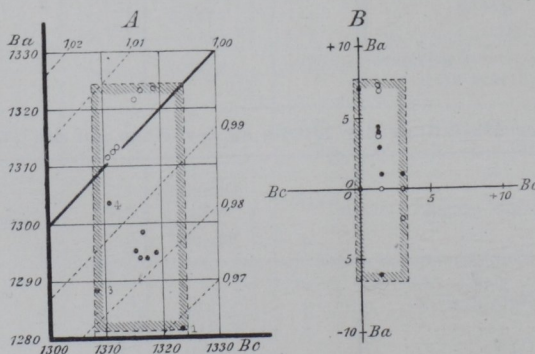


Fig. 477.

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:

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

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,

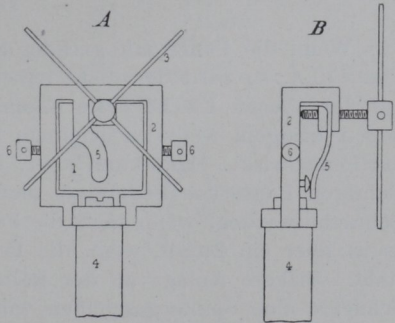


Fig. 478.

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.

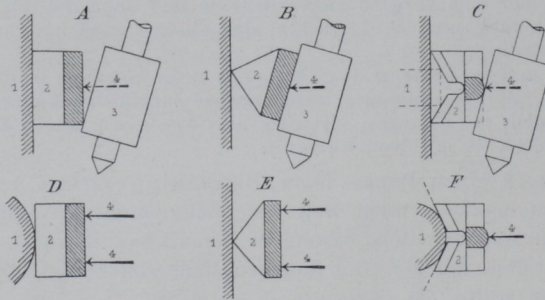


Fig. 479.

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.

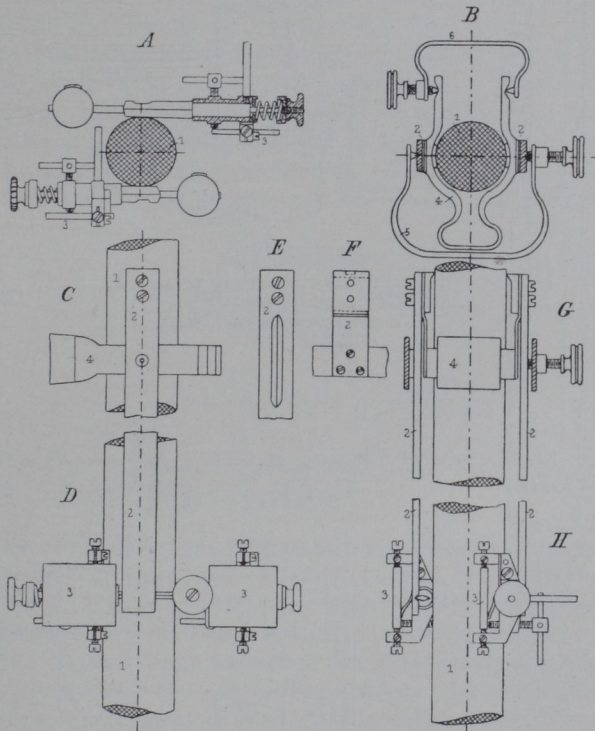


Fig. 480.

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.

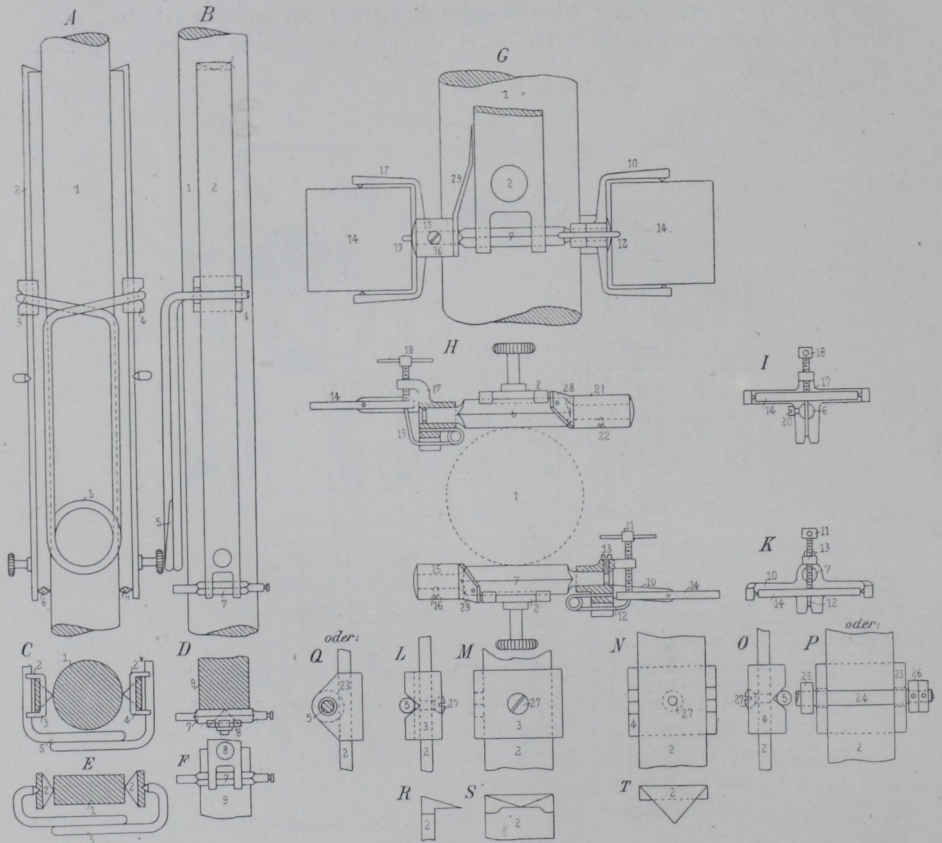


Fig. 481.

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

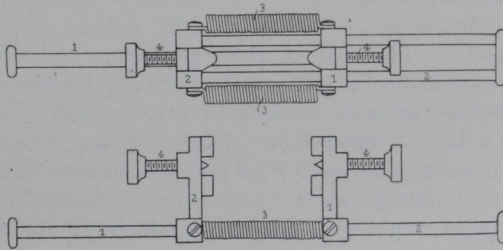


Fig. 481 a.

in die schmalen Glasflächen-ingebohrte 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 Maassstabauflstellungen 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].

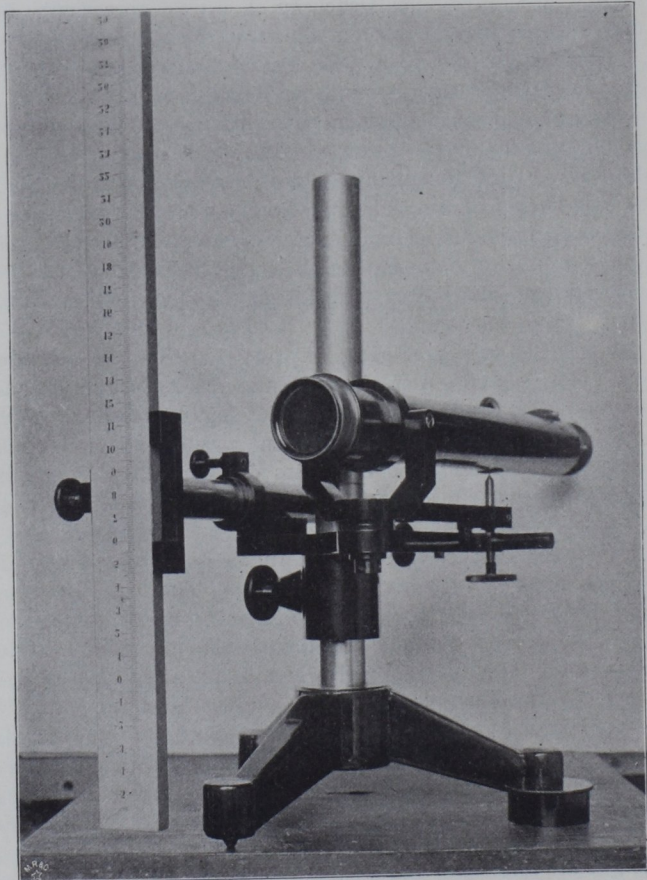


Fig. 482.

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

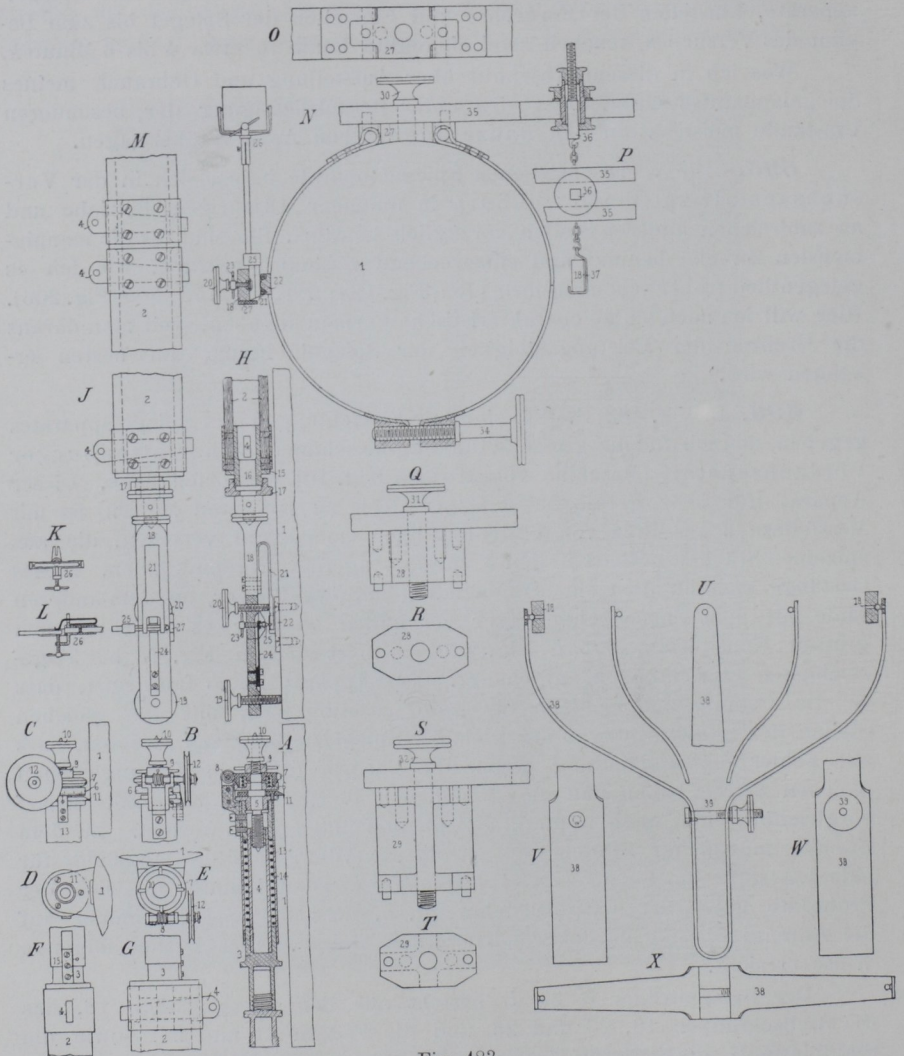


Fig. 483.

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.

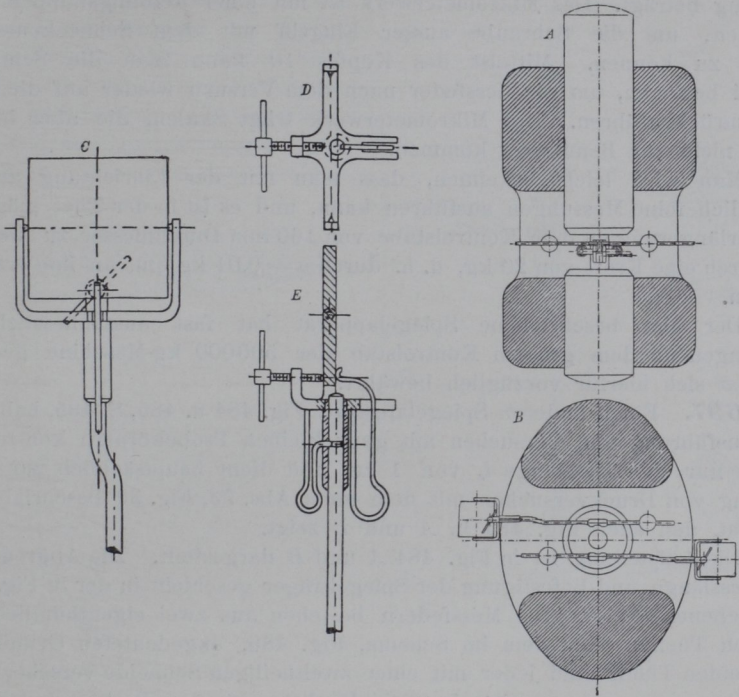


Fig. 484.

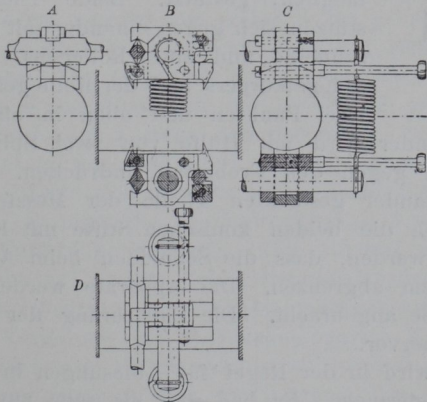


Fig. 485.

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 $\sigma = 0,01 \text{ kg/qm}$, 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

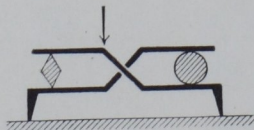


Fig. 486.

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 $1/200000 \text{ cm}$ 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,

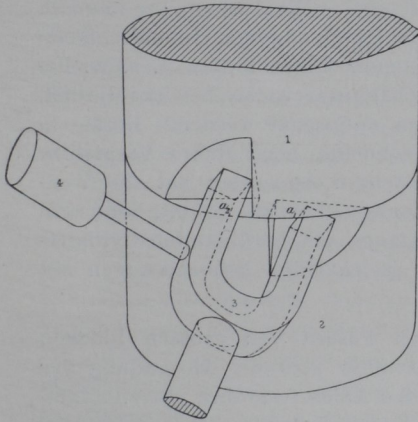


Fig. 487. [$\frac{1}{1}$ n. Gr.]

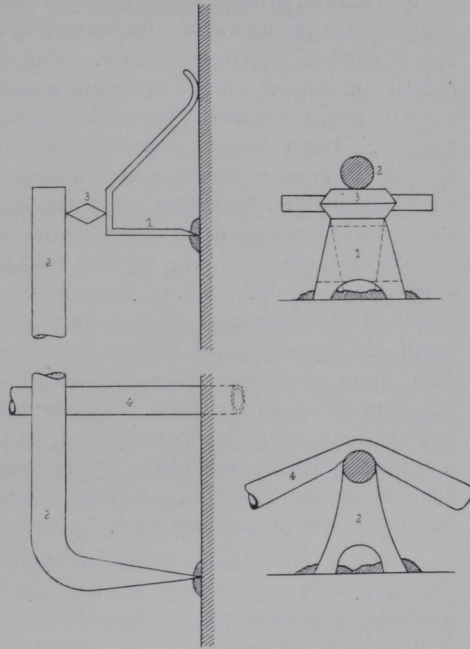


Fig. 488.

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 zugeschrärf 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

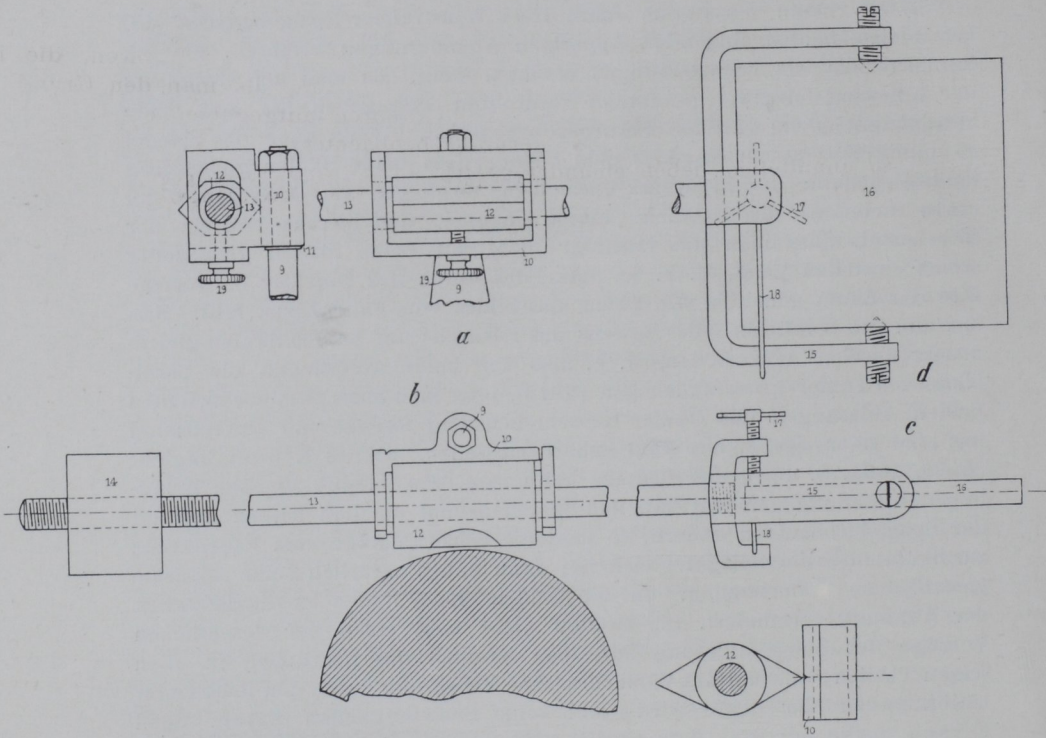


Fig. 489.

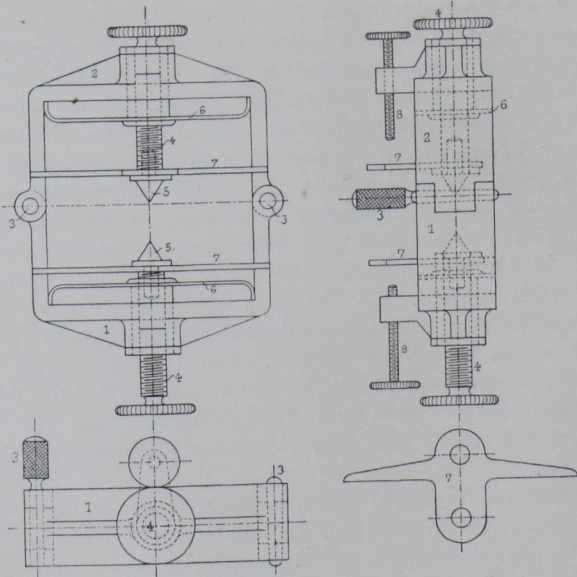


Fig. 490.

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.

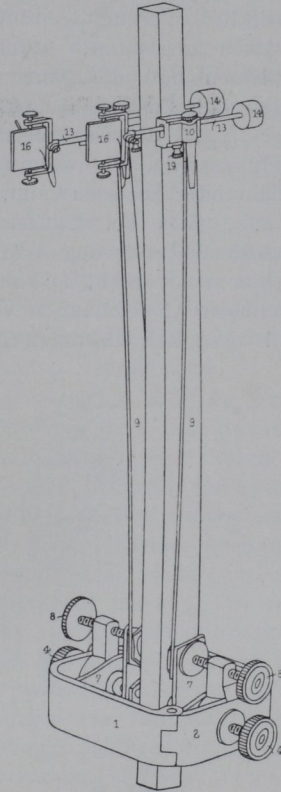


Fig. 491.

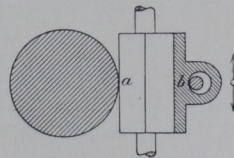


Fig. 492.

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.

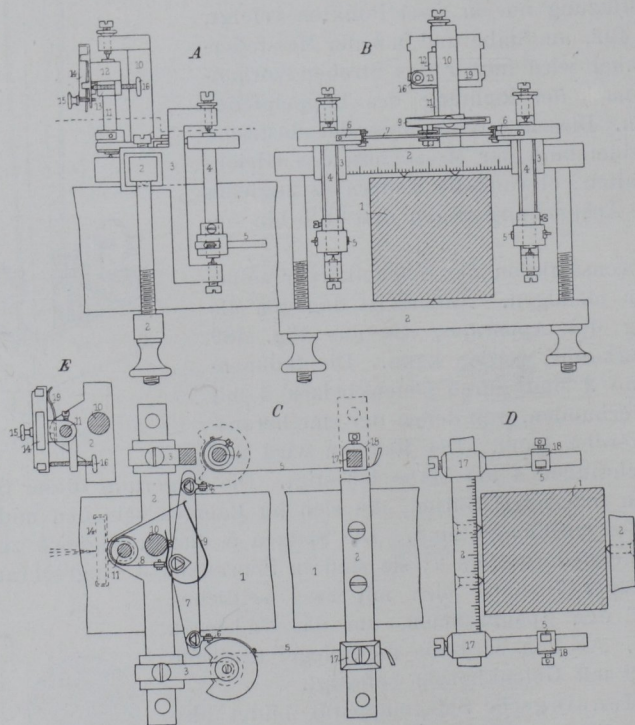


Fig. 493.

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,

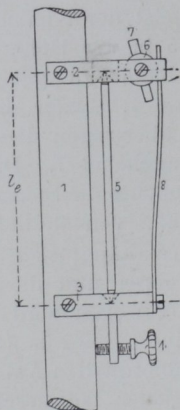


Fig. 494.

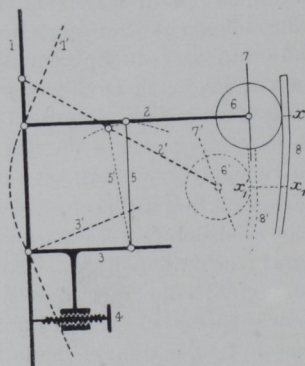


Fig. 495.

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 Unwischen Apparat, es gilt davon das früher Gesagte (86 u. 94). Man erkennt aus dem Angeführten, dass der Unwische 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.

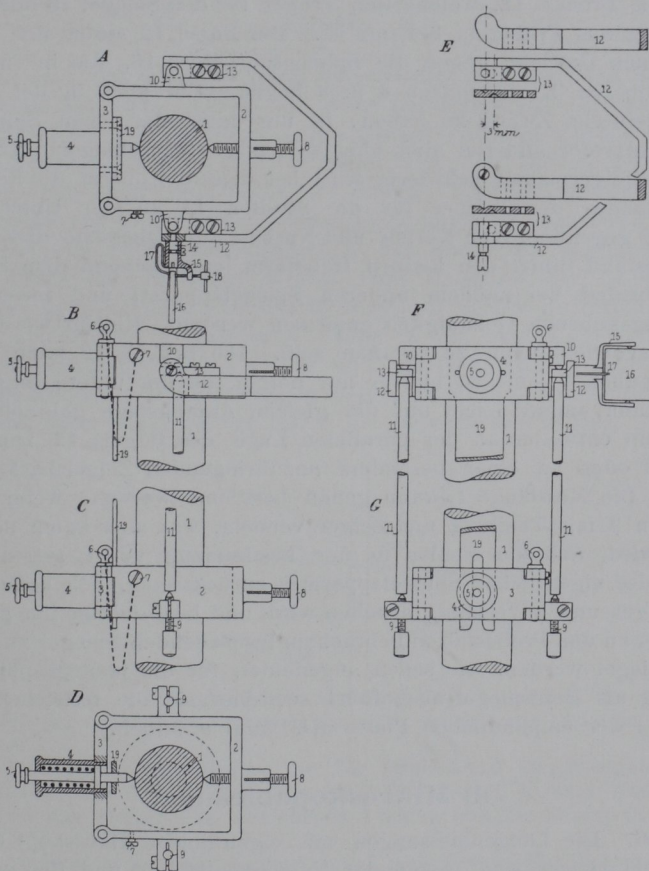


Fig. 496.

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.