

2. Das Wesen der Probirmaschinen und Messwerkzeuge.

61. Bisher wurde das Verhalten eines sehr langen Stabes betrachtet, der dem Zerreißversuch oder dem Druckversuch unterworfen ist. Zur praktischen Ausführung des Versuches muss aber der Stab auf geeignete Weise in die Maschine, mit deren Hülfe die Festigkeitsversuche auszuführen sind, befestigt oder eingespannt werden. Weil aber dieser Umstand, so wie die Art und Einrichtung der zur Versuchsausführung benutzten Maschine einen gewissen Einfluss auf das Versuchsergebniss haben, so ist es nothwendig, hier ganz kurz auf die Hauptanordnung der Maschinen und der Einspannvorrichtungen einzugehen. Aus gleichem Grunde ist es auch nöthig, schon an dieser Stelle einen ganz kurzen Ueberblick über das Wesen der Messwerkzeuge für die Formänderung zu geben, obwohl die eigentliche eingehende Besprechung dieser Dinge und der praktischen Versuchsausführung auf die letzten Abschnitte dieses Buches verschoben werden soll.

Da die an dieser Stelle gegebene Beschreibung im Wesentlichen nur Gesichtspunkte über die Versuchsausführung geben und als Ausgangspunkt für die Besprechung des Einflusses der Versuchsausführung auf das Ergebniss dienen soll, so gebe ich die Beschreibungen hier nur in schematischer Form, das nähere Eingehen für die späteren Abschnitte vorbehaltend.

a. Festigkeitsprobirmaschinen.

62. Die Festigkeitsprobirmaschine besteht in der Regel aus drei Haupttheilen, nämlich aus

- A) der Antriebvorrichtung oder dem Spannwerk; meistens eine Schraube mit Schnecken- und Wurmrad oder eine hydraulische Presse;
- B) der Kraftmessvorrichtung, Kraftmesser, Messwerk; meistens eine Balken-, hydrostatische oder Federwaage;
- C) dem Maschinengestell.

Die Aufgabe des Spannwerkes ist es, die Kraft auf den Probestab zu übertragen, die in ihm die Spannung σ erzeugt.

Aufgabe des Kraftmessers ist es, die Grösse dieser Kraft mit hinreichender Genauigkeit zu messen.

Aufgabe des Maschinengestells ist es, die von dem Kraftmesser aufgenommene Kraft wieder auf das Spannwerk zurückzuführen und so den Kreislauf zu schliessen.

63. Zwischen Spannwerk und Kraftmesser ist der Probestab einzuspannen. Zu dem Zweck sind sowohl Spannwerk als auch Kraftmesser mit Vorrichtungen, den Spannköpfen oder Mäulern versehen, welche die Probestäbe an deren Enden erfassen.

64. Um in der Ausdrucksweise kurz sein zu können und das Wesentliche einer Maschine oder das Gemeinsame in einer ganzen Maschinengruppe leicht übersichtlich ausdrücken zu können, führte ich vor Jahren eine schematische Darstellungsweise ein (*L 113*), die auch hier beibehalten werden soll, so lange nicht auf die Besprechung von Einzelheiten eingegangen werden muss. Die zur Anwendung kommenden Bezeichnungen und Ausdrucksweisen sind folgende:

Die Bezeichnungen für die Art des Antriebes sind in Fig. 14 gegeben; es bedeutet Bild *a* eine Schraube, *b* bis *d* eine hydraulische Presse mit Tauchkolben (*b*), mit Ringkolben (*c*) oder mit Liderkolben (*d*).

65. Von den verschiedenen Bauarten für die Kraftmesser seien hier nur die Hauptarten in ihren wesentlichen Zügen angeführt und ihre schematische Darstellungsweise in den Fig. 15—22 angedeutet.

Man kann zwei Hauptgruppen unterscheiden, eine, bei welcher die auf den Probestab wirkende Kraft *P* [Belastung, Last] sprunghaft [stufen-

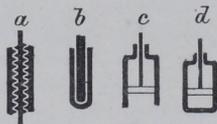


Fig. 14.

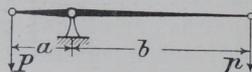


Fig. 15.

weise] erhöht und eine, bei der die auf den Stab wirkende Kraft *P* stetig erhöht wird.

In der ersten Gruppe wächst das Moment $Pa = pb$ (Fig. 15 und 16) sprunghaft; man kann hierbei zwei Hauptarten unterscheiden:

65a. Hebelwaage, Fig. 15 [zweiarmig, einarmig, Winkelhebel]. Das Uebersetzungsverhältniss a/b des Hebelwerkes ist gleichbleibend; die Kraft *p* ist veränderlich; Aufsatzgewichte von Hand bethätigt [die einfache Hebelwaage findet sich z. B. an den Maschinen von Werder, Rudeloff, Mohr & Federhaff].

65b. Hebelwaage mit mechanisch aufsetzbaren Gewichten, Fig. 16. Das Gewicht *p* ist stufenweise veränderlich, das Uebersetzungsverhältniss a/b gleichbleibend [solche Einrichtungen finden sich an den Maschinen von Emery, Gollner, Martens].

Die Gewichte [Scheiben] *p* werden durch irgend eine mechanische Einrichtung aufgesetzt, die eine meistens hin- und hergehende Bewegung [durch

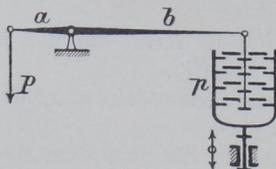


Fig. 16.

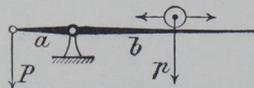


Fig. 17.

den nebengesetzten Doppelpfeil angedeutet] ausführt. [Die mit dem Maschinengestell fest verbundenen Theile (Stützpunkte, Führungen u. s. w.) sind in allen schematischen Zeichnungen durch Schraffirung gekennzeichnet].

Die Einrichtungen zweiter Art haben gewöhnlich den Vorzug, dass die Gewichte stossfrei aufgesetzt und keine heftigen Stöße und Erschütterungen auf den Probestab übertragen werden können; man kann auch nicht so leicht Irrthümer beim Aufsetzen und Auszählen der Gewichte begehen. Ferner kann man leichter als bei den Einrichtungen erster Art Entlastungen vornehmen. Man muss aber, wenn nicht die Einrichtungen gar zu verwickelt werden sollen, zur Erreichung feinerer Abstufungen auch bei Einrichtung *b* noch mit kleineren Aufsatzgewichten arbeiten.

Bei der zweiten Gruppe der Kraftmessvorrichtungen erfolgt eine stetige Vermehrung der Belastung P ; das kann auf verschiedene Weise geschehen.

65c. Laufgewichtswaage, Fig. 17. Hierbei ist a und p gleichbleibend und das Uebersetzungsverhältniss a/b veränderlich. Das Laufgewicht p kann von Hand verschoben werden, so dass entweder stufenweise Belastung [entsprechend den Fällen a und b] erfolgt, oder stetige, so dass der Hebel immer in der Gleichgewichtslage bleibt. Diese Arbeit wird häufig auch durch mechanische Einrichtungen aller verschiedenster Art selbstthätig von der Maschine bewirkt. Hierbei wirkt die Maschine meistens als Relais zur Auslösung und Steuerung der Bewegungsvorrichtung für das Laufgewicht [Laufgewichtswaagen haben die Maschinen von Riehlé, Olsen, Wicksteed, Martens].

65d. Neigungswaage, Fig. 18. Hierbei ist p gleichbleibend und a_1 und b_1 sind veränderlich, wenn man mit a_1 und b_1 die mathematisch in Betracht kommenden Hebellängen bezeichnet. Setzt man die übrigen Bezeichnungen als aus der Fig. 18 bekannt voraus, so kann man die Theorie der Neigungswaage in Kürze schreiben:

$$P a_1 = p b_1; \quad a_1 = a \cos \varphi; \quad b_1 = b \sin \varphi$$

$$P = p \frac{b_1}{a_1} = p \frac{b \sin \varphi}{a \cos \varphi} = p \frac{b}{a} \operatorname{tg} \varphi$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P a}{p b} = \frac{n}{m} \quad \text{oder}$$

$$P = n \left(\frac{p b}{m a} \right), \quad \text{d. i. abgekürzt}$$

$$P = n a.$$

Der Ausschlag n , gemessen auf einer Geraden im Abstände m vom Hebeldrehpunkt, ist also das Maass für die Belastung des Probekörpers. Wie man erkennt, kann man durch Auswahl von m die Konstanten der Maschine, d. h. den Maassstab für n verändern. Hierdurch hat man es bei genügender Anordnung in der Hand, zu erreichen, was unter Absatz 40, S. 22 angedeutet wurde, nämlich den Maassstab für verschiedene Stabquerschnittsgrössen f so zu wählen, dass die Theilung für die Kraftanzeige nach Spannungen $[\sigma]$ ausgeführt werden kann. Man kann aber auch durch geeignete Uebertragungen die Kraftanzeige in vergrössertem Maassstabe oder in wechselndem Uebersetzungsverhältniss wiedergeben. [Die Neigungswaage findet sich bei den Maschinen von Pohlmeier, v. Tarnogrocki, Schopper.]

65e. Federwaage, Fig. 19. Bei der Federwaage wird die elastische Spannkraft der Feder zur Erzeugung der veränderlichen Kraft p benutzt, die meistens gleich der Belastung P ist, weil diese in der Regel unmittelbar an die Feder angreift. Der Weg, den das lose Federende zurücklegt, die Formänderung der Feder, dient als Maassstab für die Kraft p bzw. Belastung P . Die Federwaage ist fast nur für geringe Kraftäusse-

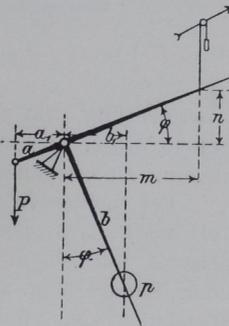


Fig. 18.

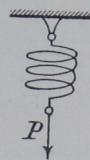


Fig. 19.

rungen [Belastung P] in Benutzung, weil bei starken Federn die Formänderungen zu klein und die Fehlerquellen zu gross werden. [Federwaagen sind in Benutzung bei zahlreichen älteren, sogenannten Dynamometern, Dasytometern u. s. w., bei den Festigkeitsprobirmaschinen für Papier, Gewebe, Drähte u. s. w., z. B. bei den Apparaten von Hartig-Reusch, Wendler, Martens.]

65f. Hydrostatische Waagen, Fig. 20 u. 21. Bei diesen Waagen wird die Kraft p durch den Druck einer Flüssigkeitssäule gemessen, deren Höhe das Maass dieser Kraft, also auch von P ist. Die Uebertragung und

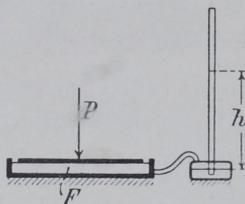


Fig. 20.

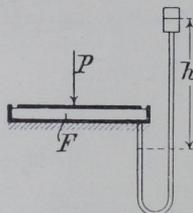


Fig. 21.

Vergrößerung von p auf P geschieht dann meistens auch auf hydraulischem Wege. Es möge genügen, hier zwei Formen dieser Art der Kraftmessung zu erwähnen.

Bei beiden wirkt die Kraft P unmittelbar, oder mittelbar durch Hebelwerk, auf den Kolben [Deckel] eines Gefässes, dessen Flüssigkeit meistens mit einem Quecksilbermanometer in Berührung steht. Bei der einen Bauart (Fig. 20) steigt die Quecksilbersäule im feststehenden Rohr [Maschinen von Amsler-Laffon, Chauvin & Marin Darbel, Maillard, Emery].

Die Steighöhe h ist das Maass für P . Bei der anderen Bauart (Fig. 21) wird das Quecksilbergefäss gehoben, bis das Einspielen einer Marke anzeigt, dass die Gleichgewichtslage herbeigeführt wurde. Die Erhebung h ist das Maass für P .

Es ist gegeben durch

$$P = \frac{h}{76} \cdot F,$$

worin F die wirksame Kolbenfläche des Gefässes und die Zahl 76 der Höhe der Quecksilbersäule für 1 at = 1 kg/qcm entspricht [Maschine von Martens].

65g. Federmanometer, Fig. 22. Man kann statt der Quecksilbermanometer Federmanometer anwenden und bekommt dann eine Bauart,

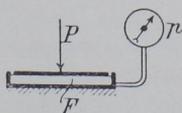


Fig. 22.

bei welcher eigentlich der unter e genannte Grundsatz benutzt wird, mit dem Unterschiede nur, dass statt des unmittelbaren Angriffes an die Feder eine Wasser-Übertragung stattfindet. Diese Art der Kraftmessung wird in der Praxis viel gebraucht. Für Probirmaschinen ist sie namentlich bei der grössten bis jetzt bekannten Maschine in Phönixville, Nordamerika, angewendet.

[Sonst findet man sie noch bei Maschinen von Whitworth, und Schmierölprobirmaschinen von Napoli, Martens. In der Versuchsanstalt zu

Charlottenburg ist sie bei Maschinen zur Gesteinsprüfung in Gebrauch. Die hydraulische Uebertragung und Kraftverkleinerung benutzt Emery in Verbindung mit einer Wage nach dem Grundsatz 65b Fig. 16.]

β . Einspannen der Probekörper.

66. Um die Probekörper in die Mäuler der Maschine einspannen zu können, werden sie entweder mit sogenannten Köpfen oder Schultern versehen, oder sie werden als prismatische Stäbe ohne Köpfe in Einspannvorrichtungen eingelegt, die den Stab mittelst Reibung an seiner Oberfläche erfassen und ihn so fest halten. Man pflegt für die Zerreißversuche meistens Stäbe von kreisförmigem oder rechteckigem Querschnitt, Rund- oder Flachstäbe, zu verwenden; bei Druckversuchen pflegt man die prismatischen Körper mit ebenen Endflächen zwischen ebenen Platten der Einspannvorrichtung der Maschine zu prüfen.

Einige charakteristische Formen der Einspannung seien in Folgendem angeführt; die Einzelheiten werden später am Schluss des Buches mitgeteilt werden.

Einspannung für den Zugversuch.

67. Rundstäbe werden entweder nach Maassgabe von Fig. 23 u. 24 mit dickeren Ansätzen, Köpfen, versehen, oder man lässt die Stäbe ganz und gar cylindrisch.

68. Bei Benutzung von Köpfen geschieht die Uebertragung der Kraft vom Maul auf den Stab entweder mit Hülfe der Ansatzfläche am Kopf, oder mittelst eines Schraubengewindes, welches auf die Mantel-

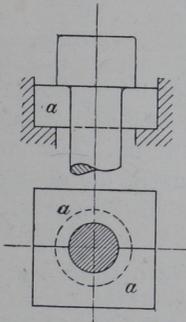


Fig. 23.

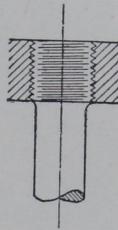


Fig. 24.

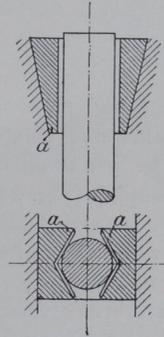


Fig. 25.

fläche des Kopfes aufgeschnitten ist. Im ersten Falle (Fig. 23) wird die Verbindung zwischen Stab und Maul vielfach mit Hülfe von getheilten Einlagestücken *a* bewirkt. Im zweiten Falle (Fig. 24) besorgt eine zweckmässig geformte Mutter die Verbindung zwischen Stab und Maul.

69. Die Einspannung eines völlig cylindrischen Stabes mit sogenannten Beisskeilen *a* ist in Fig. 25 gezeigt. Sie gleiten mit dem Rücken auf ebenen schrägen Flächen des Maules und pressen sich auf diese Weise bei wachsender Zugkraft immer fester mit den Zähnen ihrer Greifflächen in die Staboberfläche ein. Diese Greifflächen sind mit Feilenhieb versehen, der, ganz fein anfangend, nach dem Stabende hin immer gröber wird.

Wenn nun in Folge mangelhafter Bearbeitung oder in Folge mangelhafter Wirkung des Maules die Auflagefläche in Fig. 23 nicht senkrecht zur Stabachse steht, oder wenn in Fig. 24 die Mittellinie des Gewindes nicht mit der Mittellinie des Stabes zusammenfällt, oder wenn in Fig. 25 die Keile nicht so wirken, dass die Resultante aus allen Kräften mit der Stabachse zusammenfällt, so findet eine schiefe Beanspruchung statt. Hierdurch werden Biegungen im Stabe erzeugt und das Prüfungsergebniss kann erheblich beeinflusst werden. Man darf also die Einspannvorrichtungen Fig. 23—25 nur anwenden, wenn man sauber bearbeitete Probestäbe und gut konstruirte Maschinen hat, sonst aber muss man Vorkehrungen treffen, die solche schiefen Beanspruchungen möglichst ausschliessen.

70. Eine viel benutzte Einrichtung dieser Art ist die Lagerung in Kugelflächen. Anfangs erzeugte man die Kugelflächen unmittelbar an den Stabköpfen (Fig. 26), aber wenn die Flächen genau werden sollten, war das keine leichte Arbeit, und Stäbe, die an anderen Orten angefertigt waren, passten sehr selten in die Hohlkugelflächen der Einspannmauler der Maschinen. Deswegen ist man jetzt allgemein zu Formen übergegangen, die der in Fig. 27 gegebenen ähnlich sind.

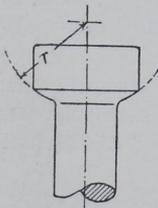


Fig. 26.

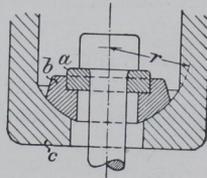


Fig. 27.

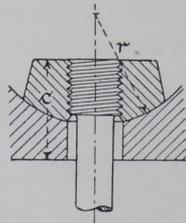


Fig. 28.

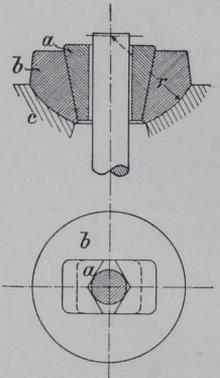


Fig. 29.

Hierbei hat man die Kugel *b* für sich aus gutem Stahl hergestellt; sie passt in eine entsprechende Hohlfläche des Maules *c*. Der Stab wird mit zwei halben Stahlringen *a* in der Kugel befestigt. Stäbe mit Gewinde an den Köpfen (Fig. 24), pflegt man in Muttern einzuschrauben, die die Kugelflächen an sich tragen (Fig. 28). Auch die Einspannung mit Beilagekeil hat man vielfach ähnlich ausgebildet, wie es beispielsweise Fig. 29 zeigt.

In einem in den „Mittheilungen“ (L 114) veröffentlichten Gutachten über die Ausführung von Festigkeitsversuchen sagte ich über die Kugellager Folgendes:

„Das Kugellager hat zwei Aufgaben zu erfüllen. Erstens soll es etwaige Ungenauigkeiten in der Bearbeitung des Kopfes am Probestab ausgleichen, und zweitens soll es den etwa beweglichen Theilen der Einspannvorrichtungen der Maschinen gestatten, sich in die Zugrichtung so einzustellen, dass kein biegendes Moment auf den Stab ausgeübt wird. Letztere Bedingung ist übrigens wegen der Reibung in den Kugelflächen überhaupt nicht vollkommen zu erfüllen, und es dürfte daher nicht unzweckmässig sein, von der Einschaltung von beweglichen Gliedern soviel wie möglich Abstand zu nehmen und die Angriffstheile des Antriebes und der Kraftmessvorrichtung gegen Seitenbewegungen ganz zu sichern. Die beweglichen Glieder bringen häufig mehr Unsicherheit als Nutzen.“

„Die Berührung zwischen Vollkugel- und Hohlkugelflächen darf nicht derart sein, dass die eine oder die andere an zwei getrennten, womöglich gegen einander verschiebbaren Körpern gebildet ist; der Kugelkörper und die Kugelschale müssen vielmehr jede für sich ein Ganzes bilden. Beide Theile müssen derart geformt sein, dass mit Sicherheit darauf gerechnet werden kann, dass die

Kugelflächen als solche vollkommen sind und dass sie zusammenpassend geschliffen oder geschabt werden können. Die Kugelbewegung darf auf den Probestab keinen anderen Zwang ausüben als denjenigen, der durch die Reibung in den Kugelflächen bedingt ist; sie muss daher so konstruiert sein, dass bei allen vorkommenden Verschiebungen der beiden Flächen gegen einander die Mittelachse des Stabes durch den Kugelmittelpunkt geht.“ Bei der in Fig. 27 gegebenen An-

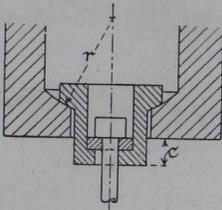


Fig. 30.

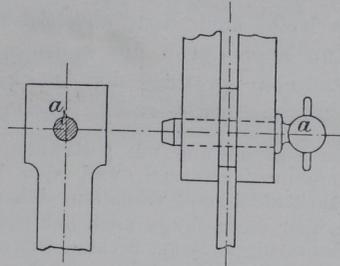


Fig. 31.

ordnung sind diese Bedingungen gewahrt. „Je näher die eigentliche Anlagefläche des Stabkopfes dem Kugelmittelpunkt liegt, desto grösser kann die Verschiebung der Kugel in ihren Hohlflächen sein, bevor die Stabmittellinie um ein bestimmtes [aber immer noch kleines] Maass aus dem Kugelmittelpunkt herausrückt; ein desto grösseres Maass von Ungenauigkeit des Kopfes vermag die Kugel auszugleichen.“

„Bei dem in Fig. 30 gezeichneten Kugellager liegt die Angriffsfläche des Stabes tief unter dem Kugelmittelpunkt und die Vollkugelfläche ist schwer genau herzustellen. Diese Einrichtung hat aber den praktischen Vortheil, dass der Stab eine grössere freie Länge für die Messung während des Versuches darbietet. Um diese bei der in Fig. 30 gegebenen Einrichtung so gross wie möglich zu machen, muss das Maass *c* möglichst klein gehalten oder der Stabkopf wie in Fig. 28 gezeichnet, unmittelbar mit dem Kugellager verschraubt werden“ [was aber nur ausnahmsweise geschehen sollte, denn das Gewinde wird nur dann mit hinreichender Genauigkeit passend zu machen sein, wenn es genau nach Originallehren hergestellt wird].

71. Stäbe mit kreisrunden Querschnitten können immer nur aus hinreichend dicken Stücken entnommen werden. Soll man aber Bleche

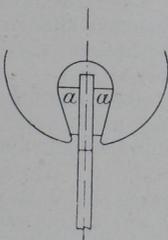


Fig. 32.

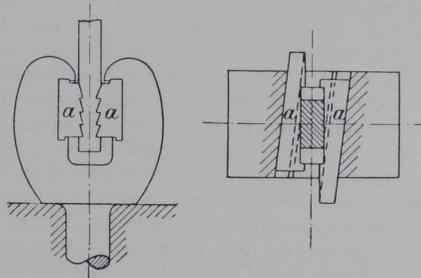


Fig. 33.

oder andere dünne plattenförmige Körper auf ihre Zerreiissfestigkeit prüfen, so pflegt man dem Probekörper einen rechteckigen Querschnitt zu geben, d. h. Flachstäbe zu benutzen.

Flachstäbe erhalten in der Regel eine gleichmässige Dicke, und die Köpfe werden breiter als der prismatische Theil gemacht. Der Kopf wird zuweilen mit einem genau in die Stabmittellinie fallenden Loch ver-

sehen, mit dessen Hilfe der Stab durch den Bolzen *a* (Fig. 31) in das Maul eingespannt wird. Man kann auch, wie in Fig. 32 gezeigt, den Stab an seinem breiten Kopfe mit Beisskeilen fassen, oder ihn mit eingefrästen Nuthen versehen. Die Beilagekeile werden im letzteren Falle mit dem gleichen Fräser hergestellt, so dass sie ganz genau passen. Alsdann brauchen die Beilagen eigentlich nicht keilförmig konstruirt zu sein, weil ja diese Keile auch ohne den Seitendruck schon den Stab sicher halten. Man kann aber durch die keilförmigen Beilagen die Einspannvorrichtung für Stäbe von verschiedener Dicke benutzen. In Fig. 33 ist die gleiche Möglichkeit auf etwas andere Weise erreicht worden.

Die Einspannung mit gefrästen Nuthen hat durch Bauschinger sehr viel Empfehlung erfahren, und man hat sich gegen die sogenannten Beisskeile häufig stark ablehnend verhalten. Ich glaube nach meiner Erfahrung verpflichtet zu sein, über diese Frage mich dahin zu äussern, dass jede dieser Einspannungsarten, rechtzeitig und am rechten Ort angewendet, ihre praktischen Vortheile hat. Die Beilagen mit eingefrästen Nuthen können nur dann fehlerfrei, d. h. ohne Biegungsspannungen auf den Stab auszuüben, wirken, wenn nicht nur die Nuthen, sondern auch die Beilagen ganz genau gearbeitet sind. Das ist aber fast ein Ding der Unmöglichkeit, was einleuchten wird, wenn man die Entstehung bedenkt. Zur Herstellung der Nuthen am Stab muss man in der Regel den Stab viermal umspannen, ihn jedesmal sehr genau ausrichten und darf ihn nicht verspannen, wenn die Nuthen ganz genau senkrecht zur Stabachse und auf den beiden Seiten einander genau gegenüberliegen sollen. Man kann ja bei einem genau mit parallelen Flächen bearbeiteten Stabe durch besondere Einspannvorrichtungen an der Fräsemaschine und durch Anbringung von Anschlägen einen ziemlich hohen Grad von Genauigkeit in oben genannter Beziehung erreichen, so lange man es immer mit Stäben bestimmter Form zu thun hat, aber auch dann wird die Sache sofort bedenklich, wenn die Fräser stumpf werden und nachgeschliffen werden müssen. Die Anfangs sehr gut passenden Beilagestücke passen nicht mehr, einzelne Nuthenflächen liegen an, andere nicht, und das satte Anliegen wird erst erzielt, wenn an den zuerst angreifenden Flächen die Quetschgrenze des Materiales erreicht ist. Dieser Vorgang kann aber nicht ohne vorausgehende Biegungsbeanspruchungen verlaufen. Wie wird nun die Sache erst da, wo keine guten Maschinen und sorgfältig geschulten Arbeiter zur Verfügung stehen? Aber selbst der ganz sorgfältig und genau hergestellte Stab wird mit den Beilagen nur ausserhalb der Maschine genau passen, denn es ist ja wieder ausserordentlich schwer, die vier Anlageflächen für die Beilagen so herzustellen oder in dem Zustande zu erhalten, dass sie alle gleichzeitig und voll zur Wirkung kommen. Die Beilagen mit eingefrästen Nuthen müssten ähnlich dem Kugelgelenk in den Mälern gelagert sein, so dass sie hier sich selbstthätig einstellen können, dann könnten sie vielleicht die Fehler der Einspannung im Maul beseitigen, aber immer noch nicht etwaige Fehler in der Bearbeitung des Stabes ausgleichen.

Einen Fehler kann man bei Anwendung gefräster Nuthen allerdings vermeiden oder auf ein sehr geringes Maass zurückführen, der bei Benutzung der Beisskeile namentlich die Feinmessungen sehr erheblich beeinträchtigen kann, das ist das ruckweise Vorgehen der Keile.

Gegen die Beisskeile hat man hauptsächlich eingewendet, dass sie das Material durch den starken Seitendruck und das Eindringen der Zähne schädigen und dass sie sehr leicht zu schiefen Beanspruchungen Anlass geben, weil sie an der einen Stabkante mehr zur Wirkung kommen können als an der anderen. Das kann alles nicht bestritten werden, wenn man schlecht konstruirte und schlecht benutzte Keile annimmt. Aber durch geschickte Wahl der Verhältnisse lässt sich vieles erreichen, und manche von den Einwendungen beruhen auf Vorurtheil.

Was den Einwand wegen zu starken Seitendruckes angeht, so ist er unter Umständen nicht unberechtigt, aber gegen den Seitendruck sind erstens die Materialien in verschiedenem Maasse empfindlich und zwar besonders die weichen, wie z. B. Zink (*L 115*), und zweitens kann man ja diesen Druck durch Ver-

grösserung der Angriffsflächen am Beilagekeil vermindern, auch selbst den Druck durch Wahl der Konstruktion so vertheilen, dass die Pressung gegen das Stabende hin allmählich zunimmt. Auch bei sehr hartem Material, z. B. hartem Stahl oder Bronzedrähten reissen die Proben häufig am Ende im Beginn der Einspannung; ich komme auf diesen Punkt noch zurück. Das Beschädigen der Proben durch eindringende Zähne lässt sich ja vermeiden, indem man ihre Form, Zahl und Grösse dem zu prüfenden Material anpasst. Wer Zinkblech prüfen will, wird die Keile vorn ganz glatt lassen und die weichbleibenden Flächen hinten nur eben mit der Feile aufrauen.

Der schiefe Angriff kann allerdings eintreten, wenn nicht die Beisskeile so konstruirt sind, dass sie, ähnlich wie das Kugellager, sich den Ungenauigkeiten am Probestab und den Anlageflächen im Maul der Maschine anpassen können. Das lässt sich aber, wenigstens bis zu einem ziemlich befriedigenden Grade erreichen, wie aus Folgendem hervorgehen wird.

72. Um auch beim Flachstabe die Ungenauigkeiten der Stabform, die zu schiefen Beanspruchungen Anlass geben könnten, möglichst auszugleichen, benutzt man auch hier vielfach die Kugellagerung. Sie kann etwa die in Fig. 34 angedeutete Bauart haben. Indessen kann man bei derartigen Einrichtungen immer nur verhältnissmässig schmale Stäbe prüfen, weil sich sonst leicht ungeschickte Abmessungen ergeben würden.

In der Praxis kann man nun nicht immer eine saubere Bearbeitung der Stäbe in allen Flächen eintreten lassen. Man findet daher vielfach

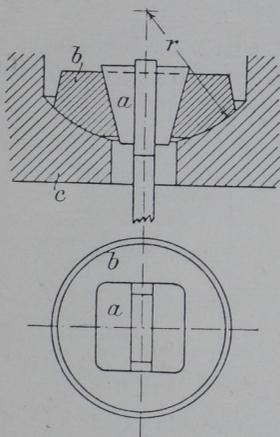


Fig. 34.

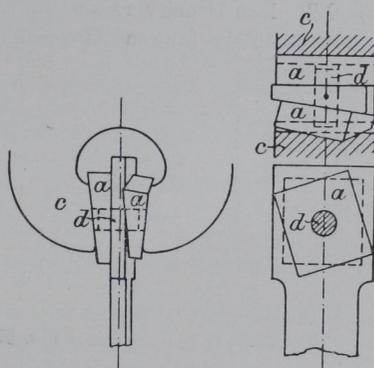


Fig. 35.

Einspannvorrichtungen, die es gestatten, selbst Stäbe mit Köpfen einzuspannen, die einen trapezförmigen Querschnitt haben, wie z. B. Stäbe, die aus den Schenkeln von Profileisen herausgeschnitten sind und roh geprüft werden sollen. Als Beispiel sei hier die Einrichtung von Mohr & Federhaff (Fig. 35) angeführt. Bei ihr wird der Stabkopf mit einem Loch versehen, in das der Bolzen des einen Beisskeiles passt, der zugleich auch in das Loch des zweiten Keiles eingreift. Hierdurch werden beide Keile vor der Verschiebung gegen einander und gegen den Probestab bewahrt. Dabei ist es aber den Keilen durch Drehung um den Bolzen d ermöglicht, auf den schiefen Seitenflächen des Probestabes sich so einzustellen, dass die Rückenflächen der Keile sich genau den Maulflächen des Einspannkopfes anpassen.

Es giebt aber noch einen anderen Weg, der in der Charlottenburger Versuchsanstalt seit Jahren mit praktischem Erfolge benutzt wird. Hier werden breite Keilbeilagen mit Feilenhieb benutzt, welche an die mittleren Kopfflächen angreifen, die durch ganz geringes Abfräsen an den Flanken des Kopfes entstanden sind (Fig. 36).

Bei der eben besprochenen Einrichtung ist dem Kopf seine Aufgabe gewahrt geblieben, nämlich das Abreissen des Stabes in seiner Mitte hervorzurufen, und die Möglichkeit ist ausgeschlossen, dass der Kraftangriff wesentlich ausserhalb der Mitte stattfinden kann. Bei den alten Beisskeilen, die namentlich dann, wenn die Mäuler bei häufiger Benutzung kleine Formänderungen erlitten hatten und wenn etwas schwache Beisskeile verwendet wurden [also bei dicken Stäben, die grossen Kraftaufwand erfordern], kam es vor, dass die an beiden Schmalseiten angesetzten Spiegelapparate verschiedene Dehnungen auf beiden Seiten anzeigten, ein Zeichen also, dass einseitige Inanspruchnahme erfolgte. Seit Anwendung des neuen Verfahrens hat sich die Sache wesentlich gebessert. Man muss sich hierbei nur hüten, die mittleren Angriffsflächen gar zu schmal und die Köpfe zu kurz zu machen, denn dann tritt in den Köpfen örtliche Ueberlastung ein, die betreffenden Stellen kommen zum Fliessen und beeinflussen [übrigens auch schon vorher] die Spannungsvertheilung im Versuchsquerschnitt, so dass die Spannung, also auch die Dehnung in der Mittelfaser, grösser wird als die der Seitenfasern. Praktisch wird man verlangen müssen, dass die Abmessungen so getroffen werden, dass die vorher ebenen Endflächen der Köpfe nach dem Versuch höchstens eine eben merkliche Ausbauchung zeigen. (Fig. 36).

Einspannung für den Druckversuch.

73. Den Druckversuch kann man nicht, wie den Zerreiissversuch, an verhältnissmässig langen Körpern ausführen; man muss sogar den Körper

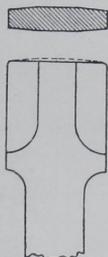


Fig. 36.

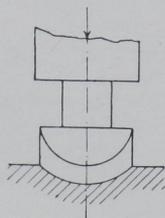


Fig. 37.

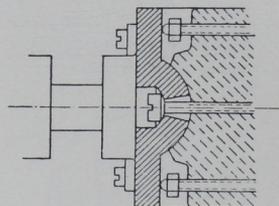


Fig. 38.

recht kurz machen, damit nicht verwickelte Vorgänge eintreten und der Körper nicht seitlich ausbiegt oder knickt.

In der Regel giebt man den für den Druckversuch bestimmten Körpern mit parallelen Endflächen einen kreisförmigen oder quadratischen Querschnitt und pflegt dann die Länge nicht viel grösser als den doppelten Durchmesser oder die doppelte Seitenlänge zu machen. Der Versuch wird zwischen zwei parallelen, hinreichend harten ebenen Flächen der Maschine ausgeführt, die also an Stelle der Einspannmäuler treten. Um eine ganz vollkommene Anlage dieser Druckflächen an die Endflächen der Probekörper zu erzielen, pflegt man eine oder beide Druckflächen einstellbar zu machen, indem man sie in einer Kugelfläche drehbar anordnet (Fig. 37 und 38). Um die Druckflächen namentlich in wagerecht angeordneten Maschinen parallel einstellen und erhalten zu können, werden die Hinterlager mit 3 oder 4 Schrauben versehen (Fig. 38), deren Kuppen gegen das Druckstück wirken.

Ein Fehler, den man bei vielen Maschinen, namentlich bei häufig benutzten, findet, ist der, dass die die Mäuler tragenden Glieder, oder die Mäuler selbst, mehr oder minder beträchtliche Seitenbewegungen zulassen. Dieser Fehler kommt besonders bei den Druckversuchen leicht zur Geltung, weil ja hier so zu sagen ein labiler Zustand herrscht, der den Theilen das Streben nach seitlicher Ausweichung von der Druckmittellinie giebt, während beim Zugversuch sich die Theile in die Zugmittellinie einzustellen streben. Er tritt beim Druckversuch um so mehr störend hervor, als er auf kurze Probestücke einwirkt. Diesem Fehler muss man selbstverständlich in erster Linie durch Verbesserung der Konstruktion der Maschine zu begegnen suchen, aber ein umsichtiger Beobachter wird ihn stets als vorhanden annehmen und ihn auszuschliessen streben. Besonders störend tritt er bei Versuchen zur Feststellung der elastischen Formänderung bei Druckversuchen hervor.

Für die mechanisch-technische Versuchsanstalt zu Charlottenburg konstruirte ich deswegen den in Fig. 39 angegebenen Apparat, der die beiden sauber eingeschliffenen Druckstempel in einem gusseisernen Rahmen so führt, dass jede Seitenbewegung der Druckflächen ausgeschlossen ist. Damit aber auch der Maschinendruck möglichst centrisch übertragen und genau die Kraft P gemessen wird, werden die Stempelenden selbst in Kugelschalen gelagert. Das Streben nach Seitenverschiebung in den Maschinetheilen ist vermindert, weil der Abstand der ausweichenden Punkte [Probenlänge plus Länge beider Stempel bis zu deren Kugelmittelpunkten] wesentlich grösser ist, als wenn nur die Probenlänge in Betracht kommt.

Einen Fehler hat übrigens auch diese Einrichtung, der aber praktisch wohl von unwesentlicher Bedeutung sein dürfte. Bei solchen Körpern, die nicht homogen sind, würde bei Anwendung einer [reibunglosen] Kugelbewegung die Druckfläche, entsprechend dem verschiedenen Widerstande der Körpertheile, sich neigen. Das ist natürlich bei der Konstruktion nach Fig. 38 ausgeschlossen; man kann indessen hierfür durch Anbringung eines Kugellagers im unteren Stempel nach Maassgabe von Fig. 37 Gelegenheit geben. Aber dabei muss man beachten, dass die Reibung im Kugellager auch hier hindernd wirkt. Die Einrichtung, Fig. 39 hat sich bei zahlreichen, zum Theil schwierigen Untersuchungen bisher gut bewährt.

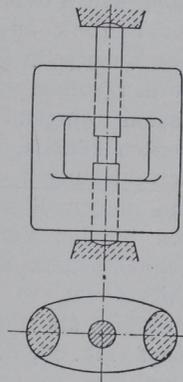


Fig. 39.

γ . Formänderungs-Messung und Messwerkzeuge.

74. An dieser Stelle soll auf die bei der Materialprüfung vorkommenden Messungen und die hierzu benutzten Messwerkzeuge nur ganz kurz und nur so weit eingegangen werden, als dies für die Entwicklung der folgenden Absätze nothwendig ist.

Ueber die Ausführung der Messungen werden im Laufe der folgenden Absätze gelegentlich weitere Bemerkungen einfließen müssen; über die verschiedenen Bauarten der Instrumente im Einzelnen und über die Fehlerquellen soll später im Zusammenhange noch ausführlicher gesprochen werden.

Man kann unterscheiden zwischen den gewöhnlichen groben Messungen zur Feststellung der Abmessungen und der Formänderungen an Probestäben und den sogenannten Feinmessungen, bei denen es sich zu meist um die Feststellung von Längenänderungen mit Ablesungen bis auf weniger als $0,001\text{ cm}$ [oder $10\ \mu$; $\mu = 0,001\text{ mm} = \text{mm } 10^{-3}$] handelt. Auch die Selbstaufzeichnung der Schaulinien der Maschinen könnte man hier in Betracht ziehen; indessen wird vorgezogen, sie am Schluss des Buches ausführlicher zu behandeln.

75. Die groben Ausmessungen zur Festlegung der Stababmessungen werden mit den als bekannt vorauszusetzenden Messwerkzeugen, Anlegemaassstäben, Tastern, Schublehren, Schraubenlehren u. s. w. ausgeführt. Die Ablesungen an den Theilungen erfolgen in der Regel bis auf 0,01 oder 0,001 cm, und Zehntel dieser Theile pflegt man zuweilen noch zu schätzen. Die Messwerkzeuge dürfen selbstverständlich keine groben Fehler haben, was vor der Benutzung festgestellt werden muss, und die Messung selbst muss mit Vermeidung der beim Messen leicht vorkommenden Fehler ausgeführt werden.

Für die Ausmessung der Formänderungen muss man meistens schon besondere Vorkehrungen treffen, sobald man sie während des Versuches feststellen will.

Hierbei soll man im allgemeinen als Grundsatz festhalten, dass die Formänderungen, wenn irgend möglich, unmittelbar am Probekörper selbst und nicht mittelbar als Verschiebungen der Maschinenteile [Mäuler, Querhäupter u. s. w.] gegen einander, gemessen werden sollen. Letzteres ist nur dann zulässig, wenn praktische Rücksichten zwingend sind und wenn man sich über die Fehler, die begangen werden können, völlige Klarheit verschafft hat. Diese Fehler können durch Verschiebungen der Maschinenteile gegen einander, durch elastische Formänderungen dieser Theile und andere Ursachen entstehen; sie müssen durch den blinden Versuch festgestellt oder berechnet werden, wenn sie von beträchtlichem Einfluss sein könnten. War der Stab mit Keilbeilagen eingespannt, so können die Rutschungen beim Anziehen der Keile in die Messung als Fehler eingehen. Wenn der Stab mit Uebergängen zum Kopf (Fig. 36, S. 44) versehen ist, oder sonst von der prismatischen Form abweicht, so ist die wahre Länge l , auf welche die gemessene Formänderung sich bezieht, meist nicht klar zu ermitteln und ändert sich dann auch während des Versuches. Die gefundenen Zahlenwerthe können hierdurch wesentlich beeinflusst sein.

76. Die groben Messungen unmittelbar am Stab geschehen meistens durch Ermittlung der Veränderungen des Abstandes zweier Marken am Probekörper.

In Charlottenburg werden für Zugversuche An-

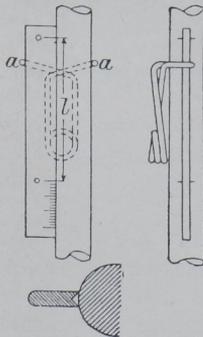


Fig. 40.

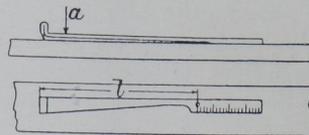


Fig. 41.

legemaassstäbe benutzt, die in Millimeter oder in Procente der ursprünglichen Länge l [Messlänge] getheilt und an der Anlegeseite mit einer Nuth versehen sind. Solche Holzmaassstäbe werden nach Fig. 40 mit einer Drahtklemme a am Stab befestigt, so dass die Nullmarke mit einer Strichmarke am Stabe zusammenfällt, während die andere Stabmarke als Zeiger die Verlängerung in Millimeter oder in Procent der Länge l anzeigt. Man hat darauf zu achten, dass der Nullstrich auf der Endmarke verbleibt, was durch ein

kleines Stückchen an dieser Stelle untergelegten Waxes leicht erreicht werden kann. Ein ähnlicher, sehr praktischer Maassstab, aus dünnen Blechstreifen verfertigt, ist in Fig. 41 angegeben; er legt sich mit seiner messerartigen Endschneide in die Strichmarke ein und wird bei in wagerechter Lage zu prüfenden Flachstäben einfach aufgelegt und nöthigenfalls bei a etwas beschwert. An senkrechten Stäben wird er mit Drahtklemmen befestigt. So lange die Theilungsgrösse zwischen 0,07 bis 0,15 cm bleibt, kann man Zehntel, also gegebenen Falles Zehntel Procente noch recht gut schätzen, was ja für sehr viele Zwecke völlig ausreichend ist.

77. Zu Druckversuchen werden meistens so kurze Probestücke benutzt, und die Druckplatten der Maschinen sind oft mit Rücksicht darauf, dass sie für alle möglichen Fälle geeignet sein müssen, so gross, dass eine unmittelbare Messung am Probekörper ausgeschlossen ist. Sehr viele der hierfür gebauten Messinstrumente beruhen daher auf Messung der gegenseitigen Bewegung der Druckplatten, wobei diese Platten natürlich ihre parallele Lage nicht ändern dürfen, oder Vorsorge getroffen sein muss, dass etwaige Aenderungen gemessen oder unschädlich gemacht werden.

Einen einfachen Messapparat konstruirte Bauschinger (*L 116*). Dieser für wagerechte Anordnung besonders praktische Apparat ist nach dem in Fig. 42 gegebenen Grundsatz gebaut, den man natürlich in mannigfacher Form abändern kann. Auf die eine Druckplatte wird eine Schneide a gesetzt oder mit etwas Wachs befestigt, auf die andere ein Körper, der eine zwischen Spitzen laufende Rolle trägt. Auf Schneide und Rolle wird ein Holzstab b gelegt, der nöthigenfalls noch etwas beschwert wird. Da die Reibung über der Schneide a grösser ist als die Rollen- und Spitzenreibung in r , so wird beim Zusammengehen der Platten der mit der Rolle fest verbundene Zeiger auf dem Bogenmaassstab diese Bewegung in starker Vergrösserung anzeigen. Man kann das Verhältniss zwischen Rollen- und Messbogenhalbmesser sowie die Theilung des Bogens leicht so wählen, dass der Apparat 0,01 cm ohne weiteres anzeigt und 0,001 cm noch schätzen lässt. Die Uebertragungen erfolgen erfahrungsmässig mit recht grosser Sicherheit, und daher ist der hier benutzte Grundsatz vielfach angewendet worden.

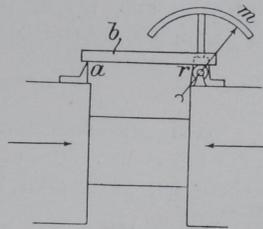


Fig. 42.

In den Uebungen, zu denen die jungen Leute leider meistens recht unvorbereitet kommen, pflege ich, nachdem sie die Arten der Versuchsausführungen und Messungen durch eine Reihe von Schauversuchen kennen lernten, einen oder zwei Tage auf die Ausführung der Fehlerbestimmungen an Maassstäben und Messwerkzeugen zu verwenden. Hierbei werden die Fehlerquellen kurz erörtert, zugleich wird die Gelegenheit zu den ersten eigenen Arbeiten im Laboratorium gegeben.

78. Die Feinmessungen dienen vorwiegend zur Feststellung der elastischen Eigenschaften der zu prüfenden Körper und dann auch zur Bestimmung der S -Grenze. Für sie gilt nicht nur der bereits ausgesprochene Grundsatz, dass die Messungen unmittelbar am Probekörper selbst vorgenommen werden müssen, sondern ganz besonders auch der fernere, dass sie stets mindestens an zwei gegenüberliegenden

Fasern des Körpers vorzunehmen sind. Dies ist nothwendig, um die immer vorhandene geringfügige schiefe Einspannung, das Krummwerden der Stäbe oder Ungleichheiten im Material zu erkennen oder unschädlich zu machen. Diese Ursachen veranlassen nämlich, dass die Ablesungen an den beiden Apparaten verschieden ausfallen. Zugleich aber werden auch durch die Mittelbildung die entstehenden Fehler in der Bestimmung der Längenänderung ausgeglichen, wenn sie nicht zu erhebliche Beträge erreichen.

Die Zahl der für die Ausführung von Feinmessungen konstruirten Apparate ist sehr gross; hier kann daher nur auf das Wesen der Hauptarten eingegangen werden, und zwar seien für die Betrachtung Mikrometerschrauben und Spiegelapparate herausgegriffen.

79. Die elastische Dehnung der Materialien ist fast immer klein, und da man auch die Probestäbe möglichst klein zu machen pflegt, um an Material, Bearbeitungs- und Betriebskosten für die Maschinen zu sparen, so müssen die Instrumente für die Feinmessungen sehr kleine Längenänderungen mit grösster Zuverlässigkeit zu messen gestatten.

Die kleinste Dehnungszahl, die bei den Materialprüfungen vorzukommen pflegt, ist wohl diejenige für harten Stahl; sie wird kaum unter:

$$\alpha = 0,0000003 = 3 \cdot 10^{-7}$$

fallen.

Führt man den Zerreißversuch mit Belastungsstufen von 1 kg/qmm = 100 at aus, wie es praktischen Verhältnissen entspricht, so ergibt sich für jeden Centimeter Messlänge eine Dehnung:

$$\varepsilon = \alpha \sigma = 3 \cdot 10^{-7} \cdot 10^2 = 0,00003 \text{ cm.}$$

80. Mit einer feinen Mikrometerschraube, die 5 Schraubengänge auf 1 mm, also 50 auf 1 cm enthält und deren Trommel in 100 Theile getheilt ist, kann man bis auf:

$$\frac{1}{50 \cdot 100} = 2 \cdot 10^{-4} = m \text{ [Messwerth einer Theilung]}$$

messen und bis auf 0,1 m, also bis auf 0,00002 cm schätzen; die Schätzungen würden aber schon mit merklichen Fehlern behaftet sein.

Wollte man also mit einer solchen Mikrometerschraube die Verlängerung für $\Delta \sigma = 100$ at bei hartem Stahl mit einiger Zuverlässigkeit messen, so müsste die Verlängerung $\Delta \lambda$ für 100 at ein hinreichend grosses Vielfaches von m betragen, damit nicht die Messfehler ein zu grosses Gewicht bekommen. Nimmt man an, dass 5 m bereits genügen, so würde für $\Delta \sigma = 100$ at werden müssen:

$$\Delta \lambda = 5 m = 5 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 10^{-3} \text{ cm.}$$

Um diese Verlängerung zu erhalten, müsste die Entfernung der Marken, zwischen denen die Feinmessung ausgeführt werden soll, die Messlänge für die Feinmessung, werden:

$$l_e = \frac{5 m}{\varepsilon} = \frac{10^{-3}}{3 \cdot 10^{-5}} \text{ oder } \infty 33 \text{ cm.}$$

Mikrometerschrauben mit so feinem Gewinde sind aber unpraktisch für die Handhabung, ihre Prüfung und Fehlerbestimmung ist sehr zeitraubend und die Erhaltung des Apparates in tadellosem Zustande ist bei

mit den anderen Enden gegen die Rollen r gepresst werden. Erfährt nun die Messlänge l_e eine Verlängerung, so werden die Röllchen infolge der Reibung an den Federn in Drehung versetzt. Die Federn wirken also an einem Hebel von gleichbleibender Länge, nämlich dem Rollenhalbmesser r , und die Anzeige erfolgt gewissermassen mit einem langen gewichtslosen Hebel, dem Lichtstrahl, der wegen der Spiegelwirkung den doppelten Winkel durchläuft wie die Rolle. Deswegen ist die Länge dieses idealen Hebels gleich dem doppelten Abstände A des Maassstabes M von der Drehachse des Spiegels.

Das Uebersetzungsverhältniss und damit die Vergrösserung, in welcher der Apparat die Verlängerung λ des Stabes anzeigt, ist also das Verhältniss $r/2A$. Dies würde ganz streng der Fall sein, wenn der Maassstab M Theil eines Kreises um den Rollenmittelpunkt wäre. Da aber bei kleinen Drehungen der Rolle der Fehler, den man bei Ablesung am geraden Maassstabe begeht, klein ist und für unsere Zwecke, bei denen es sich meist auch nur um Vergleiche handelt, praktisch als verschwindend klein betrachtet werden darf, so zieht man es aus Bequemlichkeitsrücksichten vor, den geraden Maassstab anzuwenden. Diesen kann man dann in jeder beliebigen Entfernung vom Rollenmittelpunkt aufstellen. Hierdurch hat man die anzuwendende Vergrösserung von λ ganz in der Hand.

83. Als das Uebersetzungsverhältniss des idealen Hebelwerkes ist also einzuführen:

$$n = \frac{r}{2A},$$

und da immer zwei Apparate gleichzeitig angewendet werden, so giebt die halbe Summe beider Ablesungen $a + a_1$:

$$\frac{a + a_1}{2} n = \lambda = (a + a_1) \frac{r}{4A}.$$

Der Maassstab ist in Millimeter [oder in Procente der Messlänge l_e] getheilt. Soll die Ablesung $(a + a_1) = 1$ mm, d. i. 0,1 cm, einer Verlängerung des Probestabes $\lambda = 0,0001$ cm entsprechen, d. h. in dem unter 80 (S. 48) erläuterten Sinne der Maasswerth einer Maassstabtheilung

$$m = 10^{-4} \text{ cm}$$

sein, so ist bei einem Rollenhalbmesser $r = 0,3$ cm:

$$m = (a + a_1) \frac{r}{4A} \text{ oder } 10^{-4} = \frac{10^{-1} \cdot 3 \cdot 10^{-1}}{4A}$$

oder der Abstand des Maassstabes vom Rollenmittelpunkt:

$$A = \frac{3 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 10^{-4}} = 75 \text{ cm.}$$

84. Ist die Vergrösserung des Fernrohres so gewählt, dass das Bild der Maassstabtheilung gegen die scheinbare Fadenkreuzdicke hinreichend gross erscheint, so kann man mit grosser Sicherheit noch Zehnteltheilungen schätzen. In dem vorgenannten Falle würde sich also, da $m = 10^{-4}$ cm, die Schätzung von λ auf $m/10 = 10^{-5}$ cm erstrecken. Man kann nach den Erfahrungen vieler Anstalten darauf rechnen, dass oft wiederholte Ablesungen niemals um mehr als etwa 0,3 Theilungen [d. h. also im vorliegenden Falle $3 \cdot 10^{-5}$ cm Verlängerung] von einander abweichen. Man erkennt also aus diesen Erfahrungszahlen leicht, dass nicht nur die

Schätzungen noch grosse Sicherheit haben müssen, sondern dass auch die Uebertragung der Bewegung durch die Reibung zwischen Feder f und Rolle r (Fig. 44) recht sicher erfolgt.

85. Legt man nun, wie bei der Betrachtung des Mikrometers, für die Spannungsstufe $\Delta\sigma = 100$ at wiederum den fünffachen Betrag von m zu Grunde, so muss bei dem gleichen Stahlstabe die angewendete Messlänge:

$$l_e = \frac{5m}{\varepsilon} = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 10^{-5}} \text{ oder } \infty 17 \text{ cm}$$

betragen. Wegen der grossen Sicherheit der Ablesungen kann man aber die Messlänge in der That noch erheblich kleiner machen.

86. Streng genommen ist, wie schon angedeutet, die Gleichung:

$$n = \frac{r}{2A}$$

für das Uebersetzungsverhältniss des Apparates nicht richtig. Es ist nöthig, sich ein Urtheil über die Grösse des etwa begangenen Fehlers zu verschaffen.

Ist α der Drehwinkel der Rolle (Fig. 45) und A die Maassstabentfernung, so würde die wahre Ablesung die Länge des Bogenstückes a' sein, während in Wirklichkeit eine andere Länge a an der Tangente abgelesen wurde. Es ist:

$$a = A \operatorname{tg} 2\alpha, \text{ oder } = \operatorname{tg} \cdot 2\alpha \text{ für } A=1.$$

Die Bogenlänge für den Halbmesser 1 und einen Bogengrad ist:

$$\Delta a' = \frac{2 \cdot 1 \pi}{360} = 0,017453.$$

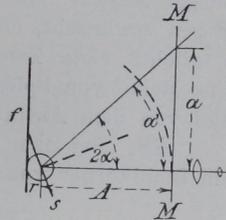


Fig. 45.

Berechnet man für verschiedene Rollendrehungen α die Werthe $a = \operatorname{tg} \cdot 2\alpha$ und a' und drückt den Unterschied zwischen beiden Werthen in Procenten von a' aus, so erhält man die Fehler, um welche a gegen die Ablesung a' zu gross gefunden wird, wie folgt:

Tabelle 5. Fehlertabelle für Spiegelablesung am geraden Maassstab.

$a =$	1	2	3	4	5	10	15°
$a =$	0,03492	0,06993	0,10510	0,14054	0,17633	0,36397	0,57735
$a' =$	0,03491	0,06981	0,10472	0,13962	0,17453	0,34906	0,52359
$\frac{a-a'}{a'} 100$	0,03	0,17	0,36	0,66	1,03	4,27	10,27 %

Will man auf Grund der bisherigen Ueberlegungen sich ein Bild von der Grösse der etwa bei einem praktisch durchgeführten Zerreiassversuch begangenen Fehler machen, so kommt man auf folgende Verhältnisse.

Liegt bei dem oben betrachteten Stahlstabe die P -Grenze bei 3000 at und war $l_e = 15$ cm, so wird für $\alpha = 3 \cdot 10^{-7}$

$$\lambda = \alpha \sigma l_e = 3 \cdot 10^{-7} \cdot 3000 \cdot 15 = 135 \cdot 10^{-4} \text{ cm.}$$

Wenn weiter der Rollenhalmesser $r = 0,3$ cm und $U = 2 \cdot 0,3 \cdot 3,14 = 1,88$ der Rollenumfang ist, so wird der Winkel α , um den sich der Spiegel für $\lambda = 0,0135$ cm drehen muss:

$$\sphericalangle \alpha = \frac{\lambda}{U} \cdot 360 = \frac{0,0135}{1,88} \cdot 360 = 2,58^\circ$$

Der bei der Ablesung am geraden Maassstab begangene Fehler wird also nach Tab. 5 kleiner als $0,4\%$.

Kommt es wirklich einmal auf grössere Genauigkeit an, so ist es ein Leichtes, die Korrektur mit Hilfe der Rechnung oder durch Entnahme aus den für die Gauss'sche Ablesung vielfach herausgegebenen Fehlertabellen vorzunehmen. Wie sich aus Fig. 45 ohne weiteres einsehen lässt, kann man den Fehler auf weniger als die Hälfte bringen, wenn man den Maassstab so aufstellt, dass Anfangs- und Endablesung gleich weit vom Fusspunkt des Lothes aus Spiegelmittelpunkt auf Maassstabebene absteht. Ausserdem liesse sich, wenn diese Arbeit erspart werden soll, der Fehler durch geringe Veränderung von A in der Weise verkleinern, dass man ihn für einen Theil der in Frage kommenden Ablesungen negativ macht.

87. Der Bauschingersche Apparat wird durch seine Befestigungseinrichtungen etwas schwer; er ist, weil in erster Linie mit Rücksicht auf die Verhältnisse der Werderschen Prüfungsmaschine konstruirt, namentlich in senkrechten Maschinen schwieriger zu handhaben. Für die Charlottenburger Anstalt, die viel mit Maschinen letzter Art arbeitet, war es deswegen erwünscht, einen Apparat zu besitzen, der leicht, handlich und für möglichst viele Zwecke benutzbar ist. Dies war für mich Veranlassung, eine Reihe von Spiegelapparaten nach folgendem Grundsatz zu entwerfen und von dem Anstaltsmechaniker ausführen zu lassen.

88. Bei dem Spiegelapparat von Martens ist an Stelle der Rolle ein Stahlkörper von rhombischem Querschnitt angewendet, der die Spiegel

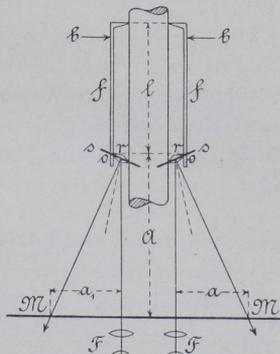


Fig. 46.1)

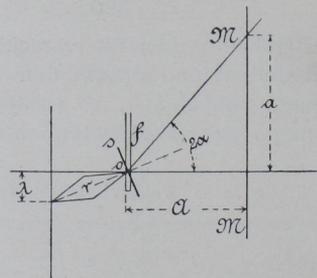


Fig. 47.

trägt [Fig. 46]. Dieser Körper wird mit der einen Schneide o in eine Nuthe der Feder f eingelegt und stützt sich mit der anderen Schneide gegen den Probestab, gegen den er mittelst Federklammern b durch die Messfedern f angepresst wird. Das andere Ende der Feder stützt sich mit seiner Schneide gegen den Probestab. Der Rollenbügel des Bauschingerschen Apparates fällt hier also ganz fort. Bei der Verlängerung des Stabes machen die Spiegel eine Drehung, die, wie beim Bauschingerschen Apparate, mittelst Fernrohr F am Maassstab M abgelesen wird. Die

1) Die Messlänge l_e ist in Fig. 46 mit l bezeichnet.

Entfernung der beiden gegenüberliegenden Schneidkanten des Spiegelkörpers giebt hier das Maass für r . Die Spiegelfläche liegt in der Drehachse o [Fig. 47].

Wenn der Spiegelkörper um o den Winkel α durchläuft, so durchleitet der Lichtstrahl wieder den Winkel 2α . Es wird also:

$$\lambda = r \sin \alpha \text{ und}$$

$$a = A \operatorname{tg} 2\alpha \text{ oder}$$

das Uebersetzungsverhältniss:

$$n = \frac{\lambda}{a} = \frac{r \sin \alpha}{A \operatorname{tg} 2\alpha}$$

Da es sich nur um kleine Winkel α handelt, so kann man für n angenähert setzen:

$$n = \frac{\lambda}{a} = \frac{r}{A} \frac{1}{2}$$

Da auch hier mit zwei Apparaten gleichzeitig gearbeitet wird, so folgt, dass, durch die Summe beider Ablesungen a und a_1 ausgedrückt:

$$\lambda = \frac{a + a_1}{2} n = (a + a_1) \frac{r}{4A}$$

wird, wie beim Bauschingerschen Apparat.

89. Berechnet man, um einen Ueberblick über die bei Benutzung der Gleichung $n = r/2A$ begangenen Fehler zu bekommen, für die gleichen Winkel α , wie beim Bauschingerschen Apparat, eine Fehlertabelle, so erhält man folgende Werthe:

Tabelle 6. Fehlertabelle für den Spiegelapparat von Martens.

Uebersetzungsverhältniss	$\alpha =$	1	2	3	4	5	10	15
angenähertes $n = \frac{1}{2} \left(\frac{r}{A} \right)$		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
wahres $n' = \frac{\sin \alpha}{\operatorname{tg} 2\alpha} \left(\frac{r}{A} \right)$		0,49977	0,49909	0,49798	0,49637	0,49431	0,47710	0,44829
Also Ablesungsfehler $= \frac{n' - n}{n'} \cdot 100$		0,05	0,18	0,41	0,73	1,15	4,80	11,54%

Um die Beträge der letzten Reihe sind die wahren Werthe für λ kleiner als die nach der angenäherten Formel berechneten.

Man sieht beim Vergleich dieser Zahlenreihe mit derjenigen aus Tabelle 5, S. 51, dass dieser Apparat, bei Anwendung der angenäherten Gleichung und unter Benutzung gleicher Werthe von r , theoretisch ungenauer arbeitet als der Bauschingersche. Aber durch seine sonstigen Eigenschaften kann man praktische Vortheile erzielen und durch die geschickte Auswahl von r und geringe Aenderung von A [wie im Absatz 86 gesagt] kann man ihn in gleichem Maasse fehlerfrei machen, als es der

Bauschinger-Apparat ist, trotzdem theoretisch noch weitere Fehlerquellen in Betracht kommen.

a. Es ist nämlich nicht leicht, beim Anbringen des Apparates an den Probestab die Schneiden stets in die gleiche Anfangslage zu bringen, und man muss

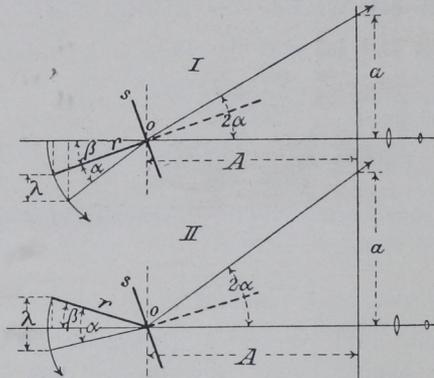


Fig. 48.

daher untersuchen, welchen Einfluss es hat, wenn die Schneide schon von vornherein einen Winkel β gegen die Normale zum Probestab einschliesst. Dann wird nach Fig. 48:

$$\lambda = r (\sin (\alpha + \beta) - \sin \beta), \text{ wenn Fall I, oder}$$

$$\lambda = r (\sin (\alpha - \beta) + \sin \beta), \text{ wenn Fall II vorliegt.}$$

Es wird also, da $a = A \operatorname{tg} 2 \alpha$ bleibt:

$$n = \frac{\lambda}{a} = \frac{r (\sin (\alpha \pm \beta) \mp \sin \beta)}{A \operatorname{tg} 2 \alpha}.$$

Rechnet man unter gleichen Verhältnissen wie früher und mit den Winkeln $\beta = 0, 1, 2$ und 3° nach Fall I und II die procentischen Abweichungen der wahren Übersetzungsverhältnisse n' gegen die bei Benutzung der angenäherten Gleichung angenommenen Werthe $n = \left(\frac{r}{A}\right) \cdot \frac{1}{2}$ aus, so erhält man die Tabelle:

Tabelle 7. Fehler des Martensschen Spiegelapparates in Folge falscher Anfangsstellung.

($\alpha =$ Ausschlagwinkel des Spiegels, $\beta =$ Winkel um den der Körper falsch angesetzt wurde.)

		Werthe von $\frac{n'-n}{n'} \cdot 100$ für						
		1	2	3	4	5	10	15°
Fall I (Fig. 48): $n' = \frac{\sin (\alpha + \beta) - \sin \beta}{\operatorname{tg} 2 \alpha} \left(\frac{r}{A}\right)$	$\beta = 3$	0,23	0,41	0,70	1,07	1,54	5,43	12,47
	2	0,12	0,30	0,56	0,92	1,37	5,19	12,11
	1	0,06	0,21	0,46	0,80	1,25	4,98	11,81
	$\beta = 0$	0,05	0,18	0,41	0,73	1,15	4,80	11,54
Fall II (Fig. 48): $n' = \frac{\sin (\alpha - \beta) + \sin \beta}{\operatorname{tg} 2 \alpha} \left(\frac{r}{A}\right)$	$\beta = 1$	0,06	0,18	0,39	0,69	1,09	4,66	11,30
	2	0,06	0,18	0,39	0,68	1,06	4,55	11,09
	3	0,12	0,21	0,41	0,69	1,06	4,46	10,89

Aus Tab. 7 ergibt sich, dass die Aufstellung II die günstigere ist. Aus diesem Grunde empfiehlt es sich, die Entfernung zwischen Nuthe und Schneide an der Feder f (Fig. 46) ein klein wenig grösser zu machen als die anzuwendende Messlänge l_e am Probestabe.

b. Nimmt man etwa die bei den Apparaten der Versuchsanstalt vorhandenen Abmessungen als Ausgangspunkt an und rechnet wie beim Bauschingerschen Apparat den Winkel α aus, der unter den gleichen Voraussetzungen wie dort (86 S. 51) sich ergibt, so findet man, wenn

$$\sigma_P = 3000 \text{ at; } l_e = 15 \text{ cm; } \alpha = 3 \cdot 10^{-7};$$

und wenn wie dort: $\lambda = 135 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$ bei einer Schneidenbreite $r = 0,4 \text{ cm}$:

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{r} = \frac{135 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^{-1}} \text{ oder } \sphericalangle \alpha = 1,56^\circ$$

Der bei der Ablesung am geraden Maassstab und bei Benutzung des angenäherten Werthes $n = 0,5$ begangene Fehler wird nach Tab. 7 selbst bei einer sehr ungünstigen Anfangsstellung ($\beta = 3^\circ$) 0,4% nicht übersteigen; man arbeitet also unter eben so günstigen Verhältnissen wie beim Bauschingerschen Apparat, was, wie man sieht, durch die Möglichkeit der Anwendung eines grösseren r bedingt ist.

Ich will an dieser Stelle nicht auf die mannigfache Verwendungsfähigkeit des von mir benutzten Grundgedankens eingehen, sondern begnüge mich damit, auf die späteren Sätze in den letzten Abschnitten dieses Buches zu verweisen und hier nur besonders darauf aufmerksam zu machen, dass ich dort auch Mittel und Wege angeben werde, die vorhin berechneten Fehler noch wesentlich zu vermindern.

90. Neben den einseitig auftretenden Fehlern der Theorie kommen bei beiden Formen von Spiegelapparaten noch die Fehler der Instrumente und der Beobachtungsmethode, sowie die durch äussere Einflüsse bedingten Fehler in Betracht. Es kann indessen nicht Aufgabe dieses Handbuches sein, die ganze Reihe dieser Fehlerquellen erschöpfend zu besprechen, aber es ist doch vielleicht wünschenswerth, auf die wichtigsten einzugehen, weil manchem Beobachter seine Arbeit erleichtert und ihm gelegentlicher Verdruss erspart werden wird, wenn er kurz auf Dinge verwiesen wird, die man zu Anfang leicht zu vergessen oder zu überschätzen pflegt. Es ist ja die vornehmste Kunst des Beobachters, die Fehlerquellen thunlichst zu vermeiden und sie in ihrer Wirkung so klein wie möglich zu machen.

91. Der Genauigkeitsgrad, mit dem der Spiegelapparat wirkt, ist in erster Linie davon abhängig, dass die beiden Hauptfaktoren, nämlich die Grössen r und A , mit ausreichender Genauigkeit gemessen werden, und dass die Maassstabtheilung richtig ist.

Die Länge A kann man sehr leicht bis auf 0,05 cm genau messen. Die Genauigkeit beträgt dann $\pm 0,05/A$, oder wenn man den thatsächlichen Verhältnissen entsprechend A etwa zu 100 cm annimmt, so wird der Genauigkeitsgrad der Messung von $a = 0,05/100 = 1/2000$. Will man für die Messung von r gleiche Genauigkeit anstreben, so wird man bis auf $r/2000$ genau messen müssen, d. h. wenn $r = 0,4 \text{ cm}$, so muss r bis auf $0,4 \cdot 1/2000 = 1/5000 \text{ cm}$ ausgemessen werden.

92. Hierzu sind natürlich wieder besondere Feinmessinstrumente erforderlich, deren Fehler genau bestimmt und die unter beständiger Kontrolle gehalten werden müssen. Instrumente dieser Art sind später am Schluss des Buches beschrieben, sie sind kostbar, und nur wenige öffentliche Anstalten sind mit ihnen ausgerüstet. Wer sie nicht besitzt, thut gut, seine Spiegelapparate von Zeit zu Zeit in einer solchen Anstalt vergleichen zu lassen, denn es ändern sich nicht sowohl die Durchmesser der Rollen am Bauschingerschen, als auch die Schneiden beim Martensschen Spiegelapparat während des Gebrauches. Beim ersteren ist die Veränderung der

Rollen meistens nicht äusserlich erkennbar, während man Aenderungen an den Schneiden in der Regel mit dem Auge wahrnehmen wird; die anfänglich scharfen Kanten werden blank. Dieser Zustand kann ziemlich weit vorschreiten, ehe man messbare Aenderungen wahrnimmt.

93. Die Rollen des Bauschingerschen Apparates hat man noch daraufhin zu untersuchen, ob sie überall genau gleichen Durchmesser haben und ob der Rollenmantel genau centrisch zu den Spitzen der Achse ist. Beim Martensschen Apparat ist festzustellen, ob die beiden Schneidkanten in einer Ebene liegen und überall gleichen Abstand von einander haben.

94. Die spiegelnde Fläche soll bei beiden Apparaten möglichst in der Drehachse liegen, denn wenn sie excentrisch sitzt, so wird, wie aus Fig. 49 erkannt werden kann, die Ablesung entweder zu klein (a_1) oder zu gross (a_2). In Fig. 49 ist m das Mass für die Excentricität der Spiegelfläche s übertrieben gross gezeichnet und angenommen, dass die Fläche einmal richtig im Drehpunkt (Index 0), im andern Falle (Index 1) gegen den Maassstab hin und im dritten Falle (Index 2) vom Maassstab abgerückt

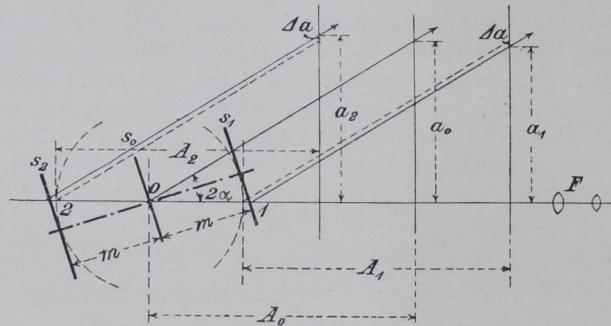


Fig. 49.

liegt. Die Abstände A werden in der Regel nach dem Ansetzen der Apparate an den Probestab durch Anlegen eines Kontrollmaassstabes eingestellt. Der Kontrollstab legt sich mit dem einen Ende fest gegen den Ablesemaassstab, während mit dem andern, aus einem Stück Aktendeckel gefertigten Ende unter Verschiebung des Ablesemaassstabes so lange getastet wird, bis die Spiegelfläche vom Papier gerade berührt wird. Die Entfernungen A_0 , A_1 und A_2 können also bei unserer Betrachtung in allen Fällen als gleich angenommen werden. Sei nun in allen drei Fällen die Spiegeldrehung α , so wird der vom Fernrohr kommende Lichtstrahl den vom ausgezogenen Pfeil bezeichneten Weg machen; es ergeben sich die Ablesungen a_0 , a_1 , a_2 , von denen a_0 der richtigen Aufstellung entsprechen würde. Würde die Drehung der Spiegel s_1 und s_2 um den Winkel α in den ursprünglichen Auftreffpunkten 1 und 2 stattgefunden haben, so würden die Ablesungen nach den gestrichelten Linien erfolgen und in allen drei Fällen gleich a_0 geworden sein. Wegen der Excentricität findet aber eine andere Ablesung a_1 und a_2 statt, die die Fehler Δa bedingen; a_1 ist zu klein, a_2 zu gross gefunden. Man erkennt leicht, dass man in der Art der Aufstellung der Spiegel ein Mittel haben würde, um die in den Sätzen 86 und 89 entwickelten Fehler

der Annäherungsrechnung und der 'Ablesung' am geraden Maassstab zum Theil zu beseitigen. Das würde aber geringen praktischen Werth haben, wie später gezeigt werden wird.

a. Die Spiegelapparate von Bauschinger und Martens sind so eingerichtet, dass die Spiegel um ihre parallel zum Maassstab stehende Axe [senkrecht zur Drehaxe der Rollen beziehentlich Schneiden] um ein Geringes geneigt werden können, so dass man die Absehnlinie auf die Längsaxe der Theilung einstellen kann. Ist es gelegentlich nothwendig, die Neigung der Spiegelfläche gegen die Drehaxe beträchtlich zu machen, so darf man bei genau auszuführenden Messungen die hierdurch entstehenden Fehler nicht ausser Acht lassen. Diese Neigung wird nothwendig, wenn die Aufstellung von Fernrohr und Ablesemaassstab sich weit von der durch die Spiegelmitte gehenden zur Drehaxe senkrechten Ebene entfernt. Der Ablesestrahl bleibt dann nicht hinreichend genau in dieser Ebene, sondern läuft auf einer krummen Fläche, deren Durchdringung mit der Bildfläche des Ablesemaassstabes eine parabolische Linie wird, anstatt einer Geraden. Es ist zu beachten, dass der entstehende Fehler noch vergrössert wird, wenn man A bei einer stark von der Normalebene abweichenden Aufstellung der Stäbe vom Spiegel bis zum Maassstab messen wollte. A muss vielmehr stets als senkrechter Abstand von der Drehaxe gemessen werden. Dann wird auch bei ziemlich starker Abweichung aus der Normalebene der Fehler keinen allzugrossen Betrag erreichen.

b. Vielfach haben Konstrukteure versucht, Spiegelapparate zu konstruiren, bei denen die Messung zwar an zwei gegenüberliegenden Fasern des Probestabes geschieht, bei denen aber die Uebertragung eine solche ist, dass die Ablesung an einem einzelnen Spiegel erfolgt, so dass also auch nur ein einziges Ablesefernrohr benutzt wird. Die Sache erscheint auf den ersten Blick bestechend, weil ja auch an Beobachtungsarbeit gespart wird; aber sie hat zwei Seiten. Die Anwendung zweier Spiegel mit entgegengesetztem Drehungssinn hat den praktisch sehr grossen Vortheil, dass Drehbewegungen des Probestabes und der daran befestigten Spiegelapparate in der genannten Normalebene des Spiegels von keinem Einfluss auf das Messungsergebniss werden können, so lange mit ihnen keine Veränderung von A verbunden ist. Drehbewegungen der Probe mit den Apparaten in irgend einer anderen Ebene werden ja ohne weiteres als Seitenverschiebung der Maassstabbilder gegen das Fadenkreuz erkannt. Die Drehbewegungen in der Normalebene geben sich dadurch zu erkennen, dass sich die Ablesungen im einen Spiegel um eben so viel vergrössern, als sie sich im anderen verkleinern; sie können also das Ergebniss nicht trüben, wenn zwei Spiegel benutzt werden.

Wendet man nun nur einen Spiegel an, so giebt man diesen Vortheil auf und verliert die Möglichkeit, die begangenen Fehler sofort zu erkennen.

Lagenänderungen der Probestäbe im Raum werden aber bei den meisten Maschinen nicht ganz ausgeschlossen sein. Die Maschinen mit seitlich unbeweglichen Einspannvorrichtungen sind hier im Vortheil; aber bei genauen Messungen soll man auch ihnen nicht ohne weiteres frauen.

95. Da es sich bei den Feinmessungen stets darum handelt, kleine Längenänderungen an Körpern von verhältnissmässig grosser Länge zu messen, so darf man in den Fällen, wo es auf grosse Genauigkeit ankommt, auch die Längenänderungen in Folge etwaigen Wärmewechsels im untersuchten Körper und im Spiegelapparat nicht vernachlässigen. Nimmt man als Beispiel hierfür den bereits mehrfach besprochenen Stahlstab, dessen Längendehnungszahl für eine Wärmeänderung von 1 C.° $\beta = 124 \cdot 10^{-7}$ gesetzt werden kann, so wird die scheinbare Längenänderung der Messlänge $l_e = 15$ cm für jeden C° Aenderung im Wärmeunterschiede zwischen dem Probestab und der Messfeder:

$$\Delta l_e = \beta l_e = 124 \cdot 10^{-7} \cdot 15 = 0,00019 \text{ cm.}$$

Wenn das Uebersetzungsverhältniss des Spiegelapparates, wie früher, $n = 1/1000$ ist, so würde die Summe der Ablesungen am Maassstab für Δl_e

$$19 \cdot 10^{-5} \cdot 1000 = 0,19 \text{ cm sein.}$$

Hundertel Centimeter können aber mit ziemlicher Sicherheit geschätzt werden; man begreift also, dass Aenderungen im Wärmezustand zwischen Stab und Feder von nur $1/20$ C⁰ bereits die Messungen zu beeinflussen beginnen.

Aus diesem Grunde darf man bei feinen Untersuchungen den Versuch erst beginnen, wenn unter der Nulllast der Spiegelapparat während 10 Minuten keine Ablesungsunterschiede mehr zeigt, d. h. wenn die durch das Anfassen der Theile beim Ansetzen des Apparates erzeugte Wärmeänderung völlig ausgeglichen ist.

96. Man kann übrigens den Einfluss der Wärme auf die Federn des Spiegelapparates durch die Wahl geeigneten Materials selbstverständlich verändern, wenn man Materialien mit geringer Wärmedehnungszahl, oder Stoffe anwendet, die die Wärme langsam aufnehmen. Ich benutzte z. B. für die später beschriebenen Spiegelapparate zu der 500 t-Maschine der Versuchsanstalt Federn von kastenförmigem Querschnitt aus Holz, und H. T. Bovey hat die Feder seines Unwischen Spiegelapparates (Schluss des Buches) aus Holz hergestellt, das zur Vermeidung des Einflusses der Feuchtigkeit mit Paraffin getränkt wurde. Bovey will den Einfluss der Wärme hierdurch auf $1/15$ gegenüber demjenigen der vorher benutzten Feder herabgedrückt haben. Man darf indessen hierbei nicht vergessen, dass nicht allein die Feder die Fehlerwirkung wegen der Wärmeänderung bedingt, sondern muss dessen eingedenk bleiben, dass auch der zu prüfende Körper dem Wärmewechsel unterworfen ist. Was die Messung fehlerhaft beeinflusst, ist immer nur eine Aenderung des gegenseitigen Wärmezustandes zwischen Feder und Probe.

Die Darstellung der Fehlerquellen der Spiegelapparate und Mikrometer-schrauben gebe ich in meinen Vorlesungen hinreichend ausführlich, aber keineswegs erschöpfend, um in den jungen Leuten von vornherein das Bewusstsein zu erwecken, dass alle unsere Messverfahren und Apparate mit Fehlern behaftet sind und dass in allen Fällen, wo Zahlen durch Beobachtung in der Praxis gewonnen werden, diese Zahlen stets mit Fehlern behaftet sein müssen. Die Rechnung aus den theoretischen Grundsätzen kann mit aller Schärfe durchgeführt werden; die Ergebnisse dieser Rechnung können richtig sein, wenn die Grundsätze richtig waren. Aber man kann nicht erwarten, dass Zahlen, welche beim Versuch gewonnen wurden, ganz vollkommen mit den aus der Theorie gewonnenen übereinstimmen, selbst wenn die Theorie richtig und der Versuch ganz einwandfrei durchgeführt wurde. Die Kunst des Beobachters besteht in allen Fällen darin, den Versuch so vollkommen zu gestalten, dass alle methodischen Fehler vermieden werden und das Ergebniss womöglich nur mit den unvermeidlichen zufälligen Fehlern behaftet bleibt. Diese kann man, was aber praktisch in den allermeisten Fällen unnöthig ist, nach den Methoden der Ausgleichsrechnung (*L 103. 104* u. a.) behandeln und hierbei sich ein Urtheil über die Sicherheit der Beobachtungen verschaffen.

Der Beobachter muss sich stets ein klares Urtheil über die möglichen und wahrscheinlichen Fehler der von ihm gefundenen Zahlenwerthe bilden. Wer klar erkennt, mit welchen Fehlern die von ihm gewonnenen oder von Anderen gefundenen Zahlen behaftet sind oder behaftet sein müssen, der wird ganz gewiss nicht den leider viel betriebenen Unfug begehen, den zuverlässigen Zahlen nichtsagende, einzig aus der Rechnung hervorgehende Ziffern oder Decimals anzuhängen oder gar mit solchen Zahlen zu rechnen. An solchem Gebahren wird gar zu leicht erkannt, wess Geistes Kind der Urheber ist.

97. Glücklicherweise ist nun für das Materialprüfungswesen an sich die Sachlage bei weitem nicht so schwierig, wie sie nach der vorausgehenden Darstellung der Fehlerquellen erscheinen könnte. Die zu prüfenden Körper sind an sich schon so ungleichmässig, dass es überhaupt keinen Werth haben würde, jeden für sich mit den feinsten physikalischen Methoden zu untersuchen, oder gar alle Korrektions- und Ausgleichsrechnungen durchzuführen. Auch unsere Maschinen haben hinsichtlich des Genauigkeitsgrades der Kraftmessung keine allzu hohe Leistung aufzuweisen, wie sich aus einer eingehenden Prüfung leicht ergibt. Wenn wir die Spannungen σ_P , σ_S und σ_B bis auf 10 at mit Sicherheit bestimmt haben, dürfen wir sehr zufrieden sein, denn schon das wird thatsächlich selten erreicht. In diesem Werke werden diese Ergebnisse, wie das auch sonst fast allgemein gebräuchlich ist, stets auf 10 at abgerundet geschrieben, wenn sie nicht als Mittelwerthe aus einer grossen Reihe von Versuchen hervorgegangen sind.

98. Die Anwendung von Feinmessinstrumenten bei den Materialprüfungen hat übrigens nur sehr selten den Zweck, eigentliche Längenmessungen im absoluten Maass auszuführen; in diesen Ausnahmefällen muss man allerdings alle erwähnten Fehlerquellen sorgfältig in Rechnung stellen. Die Spiegelapparate dienen vielmehr in den weitaus meisten Fällen, wie das Galvanoskop dem Elektriker, eigentlich nur als ein sehr empfindliches Anzeigemittel für die Ueberschreitung der Proportionalitäts- und Streckgrenze. Diese Bestimmung könnte man aber schliesslich, wie ja aus der Begriffserklärung (37 und 38) der P - und S -Grenze ohne weiteres hervorgeht, auch vornehmen, ohne die Verlängerung λ in absolutem Maasse zu messen, man könnte sie auch dann finden, wenn das Uebersetzungsverhältniss des Spiegelapparates gar nicht bekannt ist.

Die Bestimmung der Dehnungszahl a und des Elasticitätsmoduls E erfordert allerdings streng genommen die Feststellung im absoluten Maass, indessen ist bei reinen Materialprüfungen diese Zahl von untergeordneter Bedeutung, und man kann sich in den allermeisten Fällen mit dem Genauigkeitsgrad begnügen, den die Apparate bei gewöhnlicher Sorgfalt ohnehin gewähren.

3. Einfluss der Stabköpfe.

99. Bei der Ausführung eines Festigkeitsversuches ist nun der im Absatz 33 gemachten Voraussetzung eines Stabes von sehr grosser Länge im Verhältniss zum Querschnitt nicht mehr zu entsprechen. Die Stäbe müssen vielmehr nicht nur verhältnissmässig kurz, beim Druckversuch sogar sehr kurz genommen werden, sondern sie müssen beim Zerreiassversuch, zwecks Einspannens in die Maschine, auch noch mit Köpfen (68) versehen werden, an deren Stelle beim Druckversuch die die Kraft P auf den Körper übertragenden ebenen Flächen (73) treten. Diese Formen der Einspannung üben immer einen Einfluss auf die Ergebnisse des Versuches aus, und es ist daher nöthig, sich ein Urtheil über die einschlägigen Verhältnisse zu bilden.