

97. Glücklicherweise ist nun für das Materialprüfungswesen an sich die Sachlage bei weitem nicht so schwierig, wie sie nach der voraufgehenden 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.

Zugversuch.

100. Wenn der Probestab lang und der Einspannkopf (Fig. 50) nicht vorhanden wäre, so würde der Querschnitt [z. B. der Durchmesser des gezeichneten Rundstabes] unter der Wirkung der Kraft P sich vermindern; d würde in d'' übergehen (35). Wenn aber ein Einspannkopf vorhanden ist, so kann das Material unmittelbar am Kopf nicht freinachgeben (*L 105, 118 u. 119*), es bilden sich widerstehende Kräfte q , die veranlassen, dass in der Auflagerfläche des Kopfes nur eine sehr kleine, praktisch unmerkliche Querschnittsverminderung eintritt. Im nächstfolgenden Stabquerschnitt ef kommt die Wirkung des Stabkopfes schon weniger zur Erscheinung. Die Querschnittsverminderung wird daher stärker hervortreten, die Punkte e und f werden nach $e' f'$ wandern. Hierbei bleiben die Körperinhalte der Abschnitte $abef$ und $ab e' f'$, sofern ein Material vom Dichtigkeitsgrade 1 vorliegt, gleich gross. Die der Querschnittsveränderung widerstrebenden Kräfte q' im Querschnitt $e' f'$ sind kleiner als q . Vergl. Barba (*L 118, S. 686; 119, S. 1—75*).

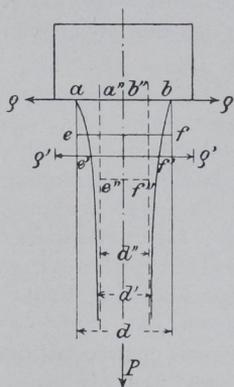


Fig. 50.

Ist der Stab lang genug, so werden die Kräfte q schliesslich bei grosser Entfernung vom Kopf verschwindend klein und der Stabquerschnitt nimmt alsdann diejenige Grösse an, welche ihm zukommen würde, wenn der Stabkopf gar nicht vorhanden wäre. Ohne den Einfluss des Kopfes wären die Punkte a und b nach a'' und b'' , die Punkte e und f nach e'' und f'' gewandert, so dass der Inhalt $a'' b'' e'' f'' = abef$ blieb.

Die in Wirklichkeit unter dem Einfluss der Kraft P eintretende Form eines Rundstabes mit Köpfen ist also keine vollkommen cylindrische; der Stab bildet vielmehr einen Umdrehungskörper, dessen Erzeugende durch den Punkt a geht und den idealen Cylinder $a'' e'' b'' f''$ vom Durchmesser d'' in der Mitte des Stabes berührt, falls die benutzte Stablänge dies noch zulässt, d. h. hinreichend gross ist.

101. Die Kraft P , welche für den vorausgesetzten Zustand des Stabes auf alle seine Querschnitte gleichzeitig wirkt, muss in den einzelnen Querschnitten, wegen deren verschiedener Grösse, verschiedene Spannungszustände hervorrufen. Obwohl dies nicht ganz zutreffend ist, sei zunächst angenommen, dass die Kraft P über jeden Querschnitt gleichmässig verteilt sei. Ueber die vergleichsweise Grösse der Beanspruchungen in den einzelnen Stababschnitten kann man sich dann ein Bild machen, ohne sie gerade rechnerisch zu verfolgen.

Entwirft man nach den vorausgehenden Annahmen zunächst über der Linie A (Fig. 51) als Nulllinie, ein Schaubild von der zu jedem Stabquerschnitt gehörenden Flächengrösse f und Dehnung ε , so erhält man für die Darstellung von f die Linie $f_1 f_2 f_3$ und von ε die Linie $\varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3$. Wegen der Voraussetzung $V = \varepsilon f = \text{konst.}$ muss $\varepsilon_1 = \varepsilon_3$ verschwindend klein sein, weil sich am Kopf der Querschnitt nur ausserordentlich wenig ändert; ferner muss ε_2 für das mittlere Stabelement ein Maximum sein, weil f_2 ein Minimum ist. Durch Division der Kraft P durch die Fläche f erhält man

die Spannung σ ; man kann also auch diese in einem Schaubild mit der Linie CD als Nulllinie darstellen. Hierin muss $\sigma_2 > (\sigma_1 = \sigma_3)$ werden.

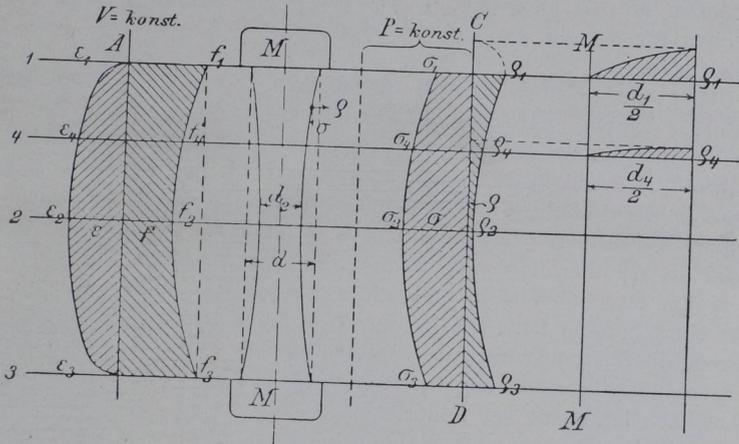


Fig. 51.

101a. Die aus der Einwirkung des Kopfes entstehenden Spannungen ρ sind in den Querschnitten 1 und 3 am grössten und im Querschnitt 2 klein, oder verschwindend klein, wenn der Stab sehr lang ist. In der Stabmittellinie ist aber offenbar ρ in allen Querschnitten gleich Null; ρ wird also in allen Querschnitten von der Staboberfläche gegen die Stabmitte abnehmen müssen, wie dies durch die Schaubilder über den Linien 1 und 4 als Nulllinie für die Stabquerschnitte 1 und 4 dargestellt ist.

Denkt man sich nun in irgend einem Meridianschnitt des Stabes alle diejenigen Punkte verzeichnet, die ursprünglich in gleichem Abstände von der Mittellinie lagen [Fasern], so kennen wir bereits die von der äusseren und der mittleren Faser nach geschehener Formänderung angenommene Gestalt. Für die Spannungen, welche die einzelnen Fasern in ihrer eigenen

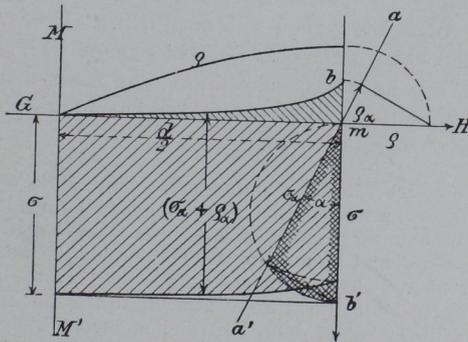


Fig. 52.

Richtung erfahren, kann man wieder die Schaulinien für jeden Stabquerschnitt verzeichnen, indem man die Spannungen σ und die Kräfte ρ über GH (Fig. 52) verzeichnet und sie für jeden Punkt des Stabhalbmessers nach den herrschenden Faserrichtungen zerlegt. Man erhält das Schaubild $G b b' M'$, in dem $a a'$ die Richtung der Randfaser, $b b'$ diejenige der Mittel-

faser MM' darstellt; α ist der Neigungswinkel, den die Fasern in irgend einem Punkte des Halbmessers mit der Stabmittellinie MM' bilden; er ist am grössten für die äusserste Faser. Die Konstruktion der beiden Schaubildflächen für σ_a und ϱ_a dürfte wohl ohne weiteres aus der Fig. 52 verständlich sein.

Ueber die absolute Grösse der Kräfte σ , ϱ und $(\sigma_a + \varrho_a)$ sagen die Schaubilder nichts aus; auch die Frage kann nicht entschieden werden, wo in einem Querschnitt die Maximalspannung herrscht. Die Spannung in der Mittellinie ist in allen Stabquerschnitten $=\sigma$ und demnach relativ am grössten in der Stabmitte. Die Spannung der äussersten Faser ist abhängig von dem Verhältniss ϱ zu σ und dem Winkel α . Da in der Stabmitte [Querschnitt f_2] überall $\alpha=0$, so ist hier die Spannung in jeder Faser, auch in der äussersten $=\sigma$, und diese ist ein Maximum, weil der Querschnitt ein Minimum ist. Ob in der äussersten Faser, ebenso wie in der mittleren, die Spannung nach den Stabenden hin abnimmt, kann man ebenfalls nicht mit Sicherheit sagen; man darf dies aber wohl annehmen, weil es Thatsache ist, dass bei fehlerfreien Zerreiisstäben sich Einschnürungen [und Bruch] immer nahe der Stabmitte bilden (*L 119*, S. 1—75).

102. Man kann aus den obigen Ueberlegungen und aus dieser Thatsache den praktisch wichtigen Schluss ziehen, dass wie auch immer die Einspannvorrichtung und das Stabende konstruirt ist, die Hauptaufgabe beider die Verhinderung der Querschnittsverminderung am Uebergange von der Einspannstelle zum zu prüfenden Stabtheil ist.

103. Da wegen $v = \text{konst.}$ die Querschnittsänderung und die Längenänderung Hand in Hand gehen, so erfüllen auch diejenigen Einspannvorrichtungen ihren Zweck, welche die Längenänderung des Stabes innerhalb der Einspannung verhindern. Aus diesem Grunde gelingt es leicht, auch Stäbe ohne Köpfe z. B. zwischen Beisskeilen so einzuspannen, dass sie im mittleren freien Theil des Stabes zerreißen. Diese Einspannungsweise kann aber zuweilen aus anderen Gründen (71) das Versuchsergebniss beeinflussen, so dass man die Beisskeile im Allgemeinen nur zu rohen Versuchen zulassen will. Unter Absatz 71 ist aber schon darauf aufmerksam gemacht, dass hier manches Vorurtheil unterläuft. Die Emerysche Einspannung [Beschreibung am Schluss des Buches] ist ein Beweis, dass der vorgenannte Grundsatz der Aufhebung der Längendehnung mit Vortheil benutzt werden kann.

a. Den Einfluss des Einspannkopfes sollte man übrigens auch schon innerhalb der Elasticitätsgrenze nachweisen können, wenn man mit sehr empfindlichen Messinstrumenten und unter Anwendung kleiner Messlängen l_e einmal hart am scharf angesetzten Kopf und einmal in Mitte eines langen Stabes misst. Ich versuchte dies, bisher aber nicht mit durchschlagendem Erfolg, an Flusseisenstäben. Die Nebenspannungen oder die Ungleichförmigkeiten im Material müssen den Einfluss des Kopfes überwiegen, denn ich fand mehrfach bis zu mehr als 1 Procent kleinere Dehnungen am Kopf, während zuweilen sogar grössere Werthe als in Stabmitte gefunden wurden.

Bauschinger hat bei seinen Gesteinsuntersuchungen [Druckversuche] deutlich die Wirkung der Einspanflächen auf die elastische Zusammendrückung nachgewiesen.

b. Die vorhin gepflogenen Ueberlegungen führen aber noch zu anderen Schlüssen, auf die hier kurz eingegangen sein möge. In Folge der Wirkung der Stabköpfe würde man in einem cylindrischen Stabe die Querschnittsverminderung,

und damit die Längendehnung verringern und zugleich die Festigkeit erhöhen können lediglich dadurch, dass man den Stab in kurzen Abständen mit einigen Wulsten versieht. In einer so verstärkten Stange müsste der Bruch immer innerhalb derjenigen Strecke stattfinden, die die grösste Länge l von einem Wulst zum andern hat. Die Wirkung des Gewindes auf einer [durch schneidende Werkzeuge hergestellten] Schraube ist eine ganz ähnliche; das Gewinde oder die in stetiger Folge neben einander eingedrehten Ringe von gleichem Querschnitt (Fig. 53 bis 55) übernehmen hier die Rolle der Stabköpfe und daher ist die Schraube fester als der Cylinder vom Durchmesser des Kernes aus gleichem Material. Die Schraubenspindel [Flusseisen vorausgesetzt] erfährt aber während des Versuches eine ziemlich bedeutende Verlängerung. Macht man diese Verlängerung an einzelnen Stellen durch Aufschrauben von gut passenden Muttern unmöglich, so erreicht man wiederum eine Erhöhung der Festigkeit des Versuchsstückes¹⁾ [wenn sie auch durch den Versuch schwerlich noch festgestellt



Fig. 53.

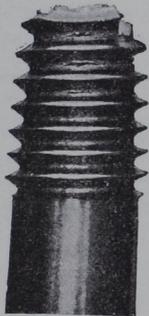


Fig. 54.

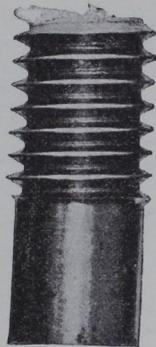


Fig. 55.

werden kann]. Zugleich kann man aussagen, dass nunmehr der Bruch innerhalb der längsten Strecke zwischen zwei Muttern erfolgen muss. Thatsache ist jedenfalls und in der Praxis wohl bekannt, dass nur auf Zug beanspruchte Schrauben fast niemals innerhalb der Muttern abreißen.

c. Warum sind einzelne Stoffe beim Zugversuch so wenig empfindlich gegen geringe Querschnittsverletzungen, während andere fast immer an diesen Stellen zu Bruche gehen? Warum sind ganz besonders harte und spröde Körper so empfindlich gegen Einspannung mittelst Keilen? Warum reißen harte Körper mehr ausserhalb der Stabmitte und häufiger neben oder in den Einspannvorrichtungen als weiche? Ein Theil der Ursachen ist hierbei als „Wirkung der Köpfe“ anzusehen.

Die geringe Querschnittsverschwächung braucht nicht nothwendig eine Festigkeitsverminderung im Gefolge zu haben. Davon kann man sich bei der Ausführung von Zerreißversuchen jeden Tag überzeugen. In sehr vielen Anstalten versieht man ja die Stäbe mit einer ganzen Reihe von Querstrichen [der Theilung (137 u. 156)]; ja es ist sogar gebräuchlich die Marken zum Ansetzen der Spiegelapparate rings um den Rundstab einzureißen. Trotzdem kommen Brüche in diesen Theilmarken so selten vor, dass die doch gewiss mit aller Vorsicht arbeitenden öffentlichen Anstalten dieses Verfahren ohne Bedenken ausüben.

Dass harte und auch spröde Körper so leicht nahe oder in den Einspannungen reißen, ist neben anderen Ursachen besonders darin begründet, dass hierbei weder die Köpfe noch die Einspannvorrichtungen in ausgesprochenem Maasse die „Wirkung der Köpfe“ zur Geltung bringen können. Da diese Körper eine geringe Dehnbarkeit haben, ist die Querschnittszusammenziehung eine geringe.

¹⁾ Wegen der Verkürzung der freien Stablänge zwischen den Spannköpfen [Muttern], wodurch die Kräfte ρ (Fig. 50 S. 60) in der Mitte der durch die aufgeschraubten Muttern abgegrenzten Stabtheile grösser werden als in der Mitte des langen Stabes; es bleibt also auch f grösser, und σ_B muss deswegen ebenfalls grösser werden.

Die Wirkung der Köpfe kann also nicht stark hervortreten, eben so wenig kann auch die Verhinderung der Längenänderung in den Einspannungen zum Ausdruck kommen. Besonders schon aus diesen Gründen ist also die Einspannung von Material mit geringer Dehnbarkeit [hart gezogene Drähte, Gusseisen u. s. w.] schwer; sie vertragen aber auch sonst die kaum zu vermeidenden geringen Biegungsspannungen und die geringfügigen Beschädigungen nicht, weil bei ihnen jede Beschädigung sofort als Querschnittschwächung zum Austrag kommt.

Weiche Körper sind besonders empfindlich gegen zu starken Seitendruck. Wenn die Einspannbacken so starke Seitenpressung ausüben, dass unter der gleichzeitig wirkenden Zugspannung Fließen in der Einspannvorrichtung entsteht, so kann diese ihren Zweck — Verhinderung der Quer- oder Längsdehnung (103) natürlich nicht erfüllen. Zink, Papier, Leder u. s. w. sind empfindlich gegen Seitendruck, daher müssen die Druckflächen gross gemacht werden.

d. Die vorstehend erwähnten Thatsachen finden zum Theil durch die Versuche Tab. 8 eine Bestätigung.

Tabelle 8. Zugversuche mit Schrauben und Stäben mit eingedrehten Ringen.

Material: Flusseisen. Die Zahlen sind Mittelwerthe aus je 2 Versuchen.

(Nach Martens, Einfluss der Gewindeform auf die Festigkeit der Schraubenbolzen. Ztschr. d. V. d. Ing. 1895 S. 505.)

Art des Gewindes und der Ringe (Fig. 56 bis 59)	Gewindeform (l = Länge des prismatischen Stabtheiles)	Kerndurchmesser $\sim 2,4$ cm				Kerndurchmesser $\sim 1,3$ cm			
		Bruchspannungen		Verhältniss- zahlen		Bruchspannungen		Verhältniss- zahlen	
		σ_B		Stab 5 = 100		σ_B		Stab 5 = 100	
		Ringe	Gewinde			Ringe	Gewinde		
		a	b	a	b	a ₁	b ₁	a ₁	b ₁
		at	at			at	at		
1) scharf unter 55°	$l_1 = 0$	4390	4330	116,8	115,2	5000	4960	114,9	114,0
2) Whitworth	$l_2 \sim 0$	4370	4310	116,2	114,4	4760	4880	109,4	112,2
3) Verein deutscher Ingenieure	l_3 } klein	4270	4300	113,6	114,4	4870	5180	112,0	119,1
4) Sellers	l_4 }	4240	4220	112,2	112,8	4940	4790	113,6	110,1
5) glatter Normal- stab	l_5 sehr lang	3760		100		4350		100	

Die Versuche wurden ausgeführt um den Einfluss der Gewindeform auf die Festigkeit der Schrauben festzustellen. Dem entsprechend wurden auf der Drehbank die in Fig. 56 bis 59 dargestellten Gewindeformen in Stäbe vom

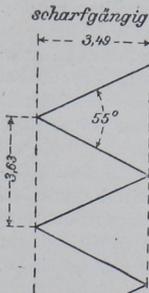


Fig. 56.

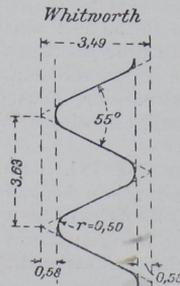


Fig. 57.

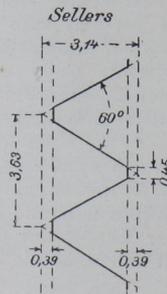


Fig. 58.

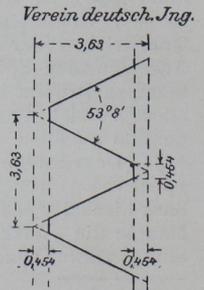


Fig. 59.

Kerndurchmesser 2,4 und 1,3 cm sowohl als Gewinde eingeschnitten als auch als Ringe eingedreht. Die mit solchen Stäben gewonnenen Ergebnisse sind dann mit den

an glatten Stäben gleichen Durchmessers verglichen. Die Art des Bruches und der Formänderungen geht aus der Fig. 53 bis 55 S. 63 [Ringe] hervor.

Aus den Verhältnisszahlen sieht man sofort, dass die Wirkung der Ringe auf 9–17% Festigkeitserhöhung und diejenige des Gewindes auf 10–19% veranschlagt werden darf.

104. In der Praxis sucht man den Einfluss des Kopfes auf ein möglichst geringes Maass zu beschränken. Zu dem Zweck giebt man dem Stabe einen allmählichen Uebergang vom Kopf zum Versuchsquerschnitt, wie es in Fig. 60 für den Rundstab angedeutet ist. Ausserdem stellt man die Längenmessungen nicht an der ganzen Stablänge [Gebrauchslänge] an, sondern benutzt nur einen Theil der prismatischen Stablänge hierzu.

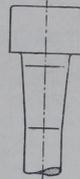


Fig. 60.

a. Auf Grund der dem Absatz 103 angeschlossenen Betrachtungen darf man wohl die Frage aufwerfen, ist es denn überhaupt richtig, den Stab mit einem allmählichen Uebergange zum Kopf zu versehen?

Diese Frage lässt sich allerdings nur bedingungsweise beantworten.

Für Materialien mit geringer Dehnbarkeit wird nach Voraufgehendem der sanfte Uebergang zum Kopf immerhin Nutzen haben, weil hierbei den als Folge mangelhafter Einspannung auftretenden schädlichen Wirkungen von Biegungsspannungen in gewissem Maasse entgegengewirkt wird. Bei dehnbaren Körpern wird der allmähliche Uebergang nichts nützen, weil ja in dem konischen Theil wegen der allmählichen Querschnittsvergrößerung die Spannung σ sowie damit die Verlängerung λ schnell abnehmen und nun ein ganz ähnlicher Vorgang sich abspielen wird, wie vom Kopf des Stabes aus.

Ich liess, um dies festzustellen, eine Anzahl von Versuchen ausführen, und zwar eine Reihe *A* an Stäben mit schlankem Uebergange zum Kopf, wie etwa in Fig. 60 gezeigt, und eine Reihe *B*, bei der der cylindrische Schaft unmittelbar in den Kopf überging, scharfer Uebergang. Die Stäbe hatten gleichen Durchmesser (2,0 cm) und waren aus ganz gleichem Material unmittelbar neben einander entnommen; sie waren mit Centimetertheilung versehen, deren Länge vor dem Versuch und nach dem Bruch ausgemessen wurde. Die Mittelwerthe für die Dehnungen δ in den Eintheilungen der Stäbe sind in Fig. 61 mit einander verglichen, indem diese Dehnungen als Abscissen [über den einzelnen Theilungspunkten] aufgetragen wurden.

Man erkennt, dass in beiden Fällen die letzten Theilungen [in *A* unmittelbar am Beginn des Ueberganges zum Kopf, in *B* unmittelbar neben dem Kopf selbst gelegen] wesentlich geringere Dehnungen zeigen, und dass die Dehnungen gegen die Stabmitte [mit wachsenden Theilstrichnummern] wachsen; ganz so wie in Absatz 101 vorausgesetzt. Vergleicht man die Linien *A* u. *B*, so ist zwar die Wirkung des scharfen Ueberganges [Linie *B*] schwach zum Ausdruck gekommen [δ ist um etwa 2% geringer als bei *A*], aber schon in der zweiten Theilung hört der Unterschied auf.

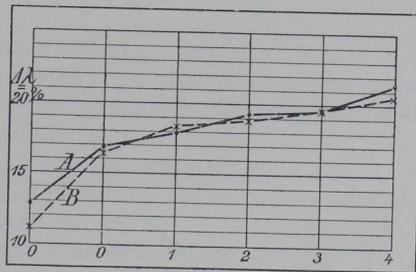


Fig. 61.

b. Man würde offenbar den Einfluss der Einspannköpfe auf die Dehnbarkeit bei diesem weichen Material [Flusseisen von $\sigma_B = 4000$ at] besser ausgeschlossen haben, wenn man den cylindrischen Theil um die Länge der konischen Uebergänge bis zum Kopf [sie betrug bis zum 3,5fachen Durchmesser an jedem Ende] länger gemacht hätte. Den hierdurch erzielten Erfolg kann man ungefähr aus Fig. 61 ermessen, wenn man weiss, dass die ursprüngliche Grösse der Theilungen 1,0 cm [bei 2,0 cm Stabdurchmesser] betrug. Es wären also 7 Theilungen an jedem Ende zur Stablänge hinzugekommen, und da in Fig. 61 der Einfluss des Kopfes schon bei den Theilstrichen 2–4 gering

ausfällt [die Linien sind nur sehr wenig gegen die Nulllinie geneigt], so würde durch Anwendung der einfachen prismatischen Fortsetzung statt der konischen, trotz gleicher Stablänge jedenfalls ein Vortheil erzielt worden sein.

Man braucht wohl kaum nochmals darauf aufmerksam zu machen, dass der Einfluss der Köpfe bei verschiedenem Material verschieden stark bemerkbar wird.

Druckversuch.

105. Wie man gesehen, haben die Einspannköpfe oder die ihre Stelle ersetzenden Einspannvorrichtungen einen Einfluss auf die Spannungsvertheilung und auf die Formänderungen in einem auf Zerreißen beanspruchten Stabe, und es liegt nahe zu fragen, wie steht es um den Einfluss der Einspannvorrichtungen auf die Ergebnisse des Druckversuches?

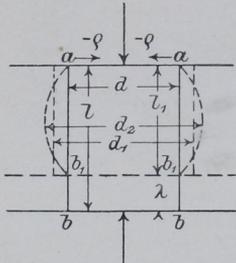


Fig. 62.

beispielsweise, wenn er die Verkürzung $-\lambda = l_1 - l$ (Fig. 62) erfährt, nicht, wie es den Betrachtungen in Absatz 55, S. 31 entspräche, einen neuen Cylinder bilden, dessen Durchmesser, sofern die Elasticitätsgrenze nicht überschritten wurde,

$$d_1 = d a_q = d \epsilon \frac{1}{m}$$

sein würde, und dessen Rauminhalt nach dem Beginn der bleibenden Formänderung nahezu konstant bliebe, nämlich

$$i = d_1^2 \frac{\pi}{4} l_1 = d^2 \frac{\pi}{4} l, \text{ d. h.}$$

$$d_1 = \sqrt[3]{d^2 \frac{l}{l_1}}$$

Der Körper wird vielmehr unter der Einwirkung der an der Druckfläche auftretenden Reibung, durch welche die nach dem Mittelpunkt der Endfläche gerichtete Spannung $-\rho$ hervorgerufen wird, in eine Tonnenform vom Rauminhalt i übergeführt, derart dass an den Druckflächen die Durchmesservergrößerung erheblich geringer ist, als in der Mitte des Körpers.

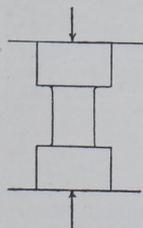


Fig. 63.

Ueber die Spannungsvertheilung im Körper könnten ähnliche Betrachtungen angestellt werden, wie es im Absatz 101 über die gleichen Verhältnisse in einem dem Zugversuch unterworfenen Körper geschah. Aber es ist wohl ohne weiteres klar, dass es nicht möglich ist, einen Druckversuch ganz der Theorie gemäss und ohne die Wirkung der Einspannflächen, oder wenn etwa die Probe nach Fig. 63 geformt sein sollte, ohne die Wirkung der Einspannköpfe auszuführen. Also auch der Druckversuch ist in Wirklichkeit, ebenso wenig wie der Zugversuch, ein ganz einfacher Vorgang.

a. Auch bei den auf Druck beanspruchten Körpern kann man, wie bereits Bauschinger und Andere nachgewiesen haben, durch die Feinmessungen mit dem Spiegelapparat den Nachweis liefern, dass die Zusammendrückungen für gleiche Belastungen in den verschiedenen Körpertheilen verschieden gefunden werden. Bei der Prüfung des elastischen Verhaltens von Steinprismen erhält man z. B. merklich andere Werthe, wenn man an kurzen Messlängen in der Nähe der Druckplatten misst, als wenn man mit gleichen Messlängen die Verkürzungen in der Probenmitte bestimmt; man erhält selbst etwas verschiedene Werthe, wenn man in der Probenmitte einmal mit kleiner und ein andermal mit möglichst grosser Messlänge arbeitet. Alles dieses ist bedingt durch die ungleiche Spannungsvertheilung in Folge der Wirkung der Stabköpfe.

b. Die Beschaffenheit der Druckflächen ist von wesentlichem Einfluss auf das Ergebniss des Druckversuches. Bauschinger hat diesen Gegenstand seit 1873 (*L 2*) wiederholt behandelt. Er hat besonders nachgewiesen, dass die Druckflächen eben bearbeitet [gehobelt, geschliffen u. s. w.] sein müssen, und zwar sowohl die Endflächen am Probekörper als auch die Druckflächen der Maschinen. Die letzteren müssen besonders hart sein, wenn sie für alle Fälle ausreichen sollen. Weiche Druckflächen, etwa durch Zwischenlage von weichen Materialien erzeugt, würden das Ergebniss der Bruchfestigkeit in schwer kontrollirbarer Weise beeinflussen, sobald sie so weich und nachgiebig sind, dass beim Versuch ihre Quetschgrenze überschritten wird und sie vom Mittelpunkt der Druckflächen nach dem Umfang zu fliessen beginnen. Liegt die Quetschgrenze der weichen Zwischenlagen hoch genug, so wird der Körper, etwa ein unvollkommen bearbeiteter Steinwürfel, in fast gleicher Weise zu Bruche gehen, wie wenn er mit ebenen Flächen bei voller Anlage beansprucht war; die Brucherscheinungen werden ganz ähnliche und die Festigkeit erscheint wenig beeinträchtigt. Liegt dagegen die Quetschgrenze der weichen Zwischenlage verhältnissmässig tief, so werden die Bruchformen wesentlich andere, und damit wird auch die Festigkeit verringert. Dies geschieht sowohl in Folge der Veränderung der widerstehenden Kräfte q (Fig. 62), die in den Auflagerflächen die Querausdehnung zu hindern streben, als auch in Folge der sprengenden Wirkung der als zähe Flüssigkeit wirkenden weichen Zwischenlagen, die die etwa zugänglichen Vertiefungen und Höhlungen ausfüllend den Körper gleichsam durch inneren Druck auseinander sprengt. Durch das seitliche Auseinanderfliessen der Zwischenlagen können die Kräfte q nicht nur den Betrag Null erreichen, sie können sogar ihre Richtung umkehren und müssen dann eine beträchtliche Verminderung der Druckfestigkeit hervorrufen. „Daher kann es kommen [sagt Bauschinger], dass Beilagen aus einer und derselben Bleiplatte die Druckfestigkeit eines weichen Sandsteines gar nicht ändern, die eines härteren, festeren Sandsteines oder eines weicheren Kalksteines nur wenig und dagegen die eines Granites sehr bedeutend, bis auf die Hälfte, verringern können, wobei sich in ersterem Falle immer Pyramiden, im zweiten Pyramiden oder solche mit Lamellen gemischt und im dritten Falle stets Lamellen als Bruchstücke bilden. In letzteren Fällen ist dann selbstverständlich auch die Druckfestigkeit von der Höhe der Probestücke bis zu einem gewissen Grade nach auf- und abwärts unabhängig“ (*L 2* Heft 18).

4. Fliesserscheinungen bei der Formänderung.

106. Bei Erreichung der Streckgrenze oder gleich nach dem Ueberschreiten derselben treten, namentlich bei den Metallen, häufig sehr regelmässige und eigenthümliche Erscheinungen auf, die zum Theil sich auf die Wirkung der Einspannköpfe [Abschnitt 3 S. 59] zurückführen lassen.

Beim Zugversuch wirft beispielsweise ein noch mit der vom Auswalzen herrührenden Hammerschlagschicht versehener Eisenstab diese Schicht in dem Augenblick ab, in welchem er anfängt zu fliessen. Diese Schicht hat nämlich eine geringere Dehnbarkeit als das Metall selbst, und deswegen springt sie ab, sobald ihre eigene Dehnbarkeit überschritten wird; man sagt, der Stab wirft ab. Das Abwerfen beginnt in der Regel an den