

222. Für Lochversuche habe ich den in Fig. 168 abgebildeten Apparat¹⁾ konstruiert, der sich in der Charlottenburger Versuchsanstalt ausgezeichnet bewährt hat.

Das untere Gussstück *A* trägt als Matrize einen gehärteten Stahlring *B*, auf dem das Probestück aufliegt. Der Lochstempel *C* passt in das Druckstück *D*. Damit der Stempel genau centrirt zur Matrize vorgeht, ist das Druckstück *D* in dem Gussstück *E* geführt und dieses hat seinerseits durch die beiden seitlichen Stifte Führung im unteren Gussstück. Ausserdem kann das obere Stück *E* mit dem unteren noch durch vier

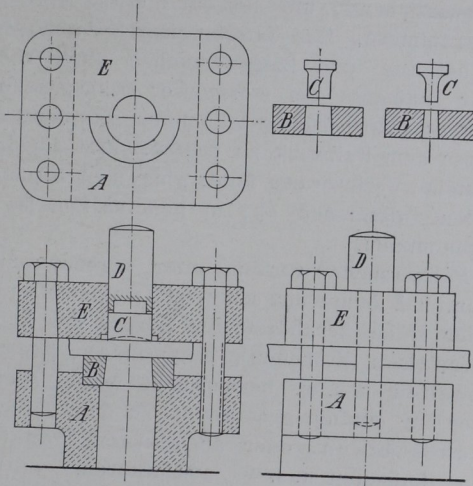


Fig. 168.

Schrauben verbunden werden, so dass die Probe fest eingespannt werden kann; von dieser Einrichtung wird indessen selten Gebrauch gemacht.

Lochstempel und Matrizen können ausgewechselt werden. Lochstempel sind in den Abmessungen $d = 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0$ und $4,0$ cm mit ebener Endfläche vorhanden; ausserdem sind Stempel mit hohlen, nach der Kugel vom Halbmesser $2d$ ausgehöhlten Endfläche in Benutzung. Zu jedem der Stempel gehört ein Satz von 3 Matrizenringen mit dem oberen Durchmesser

$$d_1 = 1,005 d; 1,050 d \text{ und } 1,100 d.$$

Wählt man also den Durchmesser des Stempels nach der Probendicke aus, so wird man mit den vorhandenen Einrichtungen leicht ein nahezu gleiches Verhältniss l/d innehalten können, wie es das Gesetz der Aehnlichkeiten verlangt.

f. Stossfestigkeit.

1. Fallversuche, allgemeine Anordnung.

223. Bei den bisher besprochenen Versuchsarten wurde der Versuch immer unter Anwendung einer ruhig und sehr langsam wirkenden Belastung

¹⁾ Der von Tresca bereits im Jahre 1863 benutzte Apparat hat übrigens ganz ähnliche Einrichtung.

ausgeführt. Im Maschinenbau, im Eisenbahnbetriebe und bei vielen anderen Gelegenheiten, kommen aber sehr häufig Fälle vor, in denen das Material sehr schnell auftretenden Beanspruchungen, ja sogar Stößen ausgesetzt ist.

Die Materialien verhalten sich aber zum Theil recht verschieden gegenüber der ruhigen und der plötzlichen Inanspruchnahme. Stangen aus Pech, Siegellack, Glas u. a. m. kann man ziemlich stark belasten, wenn die Last ruhig und langsam wirkt. Pech und Siegellack geben bei langer Einwirkung allerdings schon sehr geringen Belastungen nach; sie erweisen sich unter diesem Umstande als sehr bildsam und zähe, aber ganz geringe Schlagwirkungen sind ausreichend, um sie ohne erkennbare Streckungen oder Biegungen zu zertrümmern. Das Material einer Eisenbahnschiene kann recht gute Ergebnisse bei Zug- und Biegeversuchen unter ruhiger Inanspruchnahme, aber sehr schlechte bei stossweiser Beanspruchung liefern. Aus diesem Grunde ist es schon früh gebräuchlich gewesen, Schienen und anderes Material unter dem Fallwerk zu prüfen. Erst als der Zerreißversuch wesentliche allgemeine Verbreitung fand, ging man zunächst mehr von der Prüfung durch den Fallversuch ab; in neuerer Zeit ist er jedoch wieder mehr zu Ehren gekommen.

224. Die Fallversuche werden unter sogenannten Fallwerken ausgeführt, Maschinen, bei denen ein schwerer, zwischen senkrechten Schienen geführter, aus der Höhe herabfallender Körper das Probestück so trifft, dass es auf Zerdrücken (Stauchen), Zerreißen, Biegen, Verdrehen, Abscheeren, Lochen u. s. w. beansprucht wird. Man pflegt die Fallversuche entweder an einfach gestalteten, zu dem Zweck besonders hergerichteten Probestücken, oder an ganzen Konstruktionstheilen (Achsen, Schienen, Radreifen u. s. w.) auszuführen.

2. Fallwerke.

225. Versuche mit dem Fallwerk lassen sehr bald erkennen, dass das Ergebniss durch die Art der Lagerung der Probestücke, durch die Massen des Apparates und manche anderen Dinge sehr merklich beeinflusst wird und dass man, namentlich auf verschiedenen Fallwerken, unter gleichen Versuchsbedingungen abweichende Ergebnisse erhalten kann. Wie auch die sonstigen zu Versuchszwecken benutzten Maschinen und Apparate der ständigen Kontrolle bedürfen und man bestimmte Konstruktions-Grundlagen für alle Apparate festhalten muss, wenn sie unmittelbar vergleichbare Ergebnisse liefern sollen, so ist dies auch bei den Fallwerken und zwar in erhöhtem Maasse der Fall. Nachdem hier lange Zeit ziemliche Willkür geherrscht, hat zuerst die „Konferenz zur Vereinbarung einheitlicher Prüfungsverfahren“ zu Dresden im Jahre 1886 (*L 128 S. 9*) Grundsätze aufgestellt, denen die Konstruktion eines Fallwerkes genügen muss, um vergleichbare Ergebnisse zu liefern. Der „Verein deutscher Eisenbahnverwaltungen“ hat dann im Grossen und Ganzen diese Grundsätze für die Konstruktion derjenigen Fallwerke übernommen, mit denen die bei der Abnahme von Eisenbahnmaterial anzustellenden Fallproben ausgeführt werden.

226. Da vorauszusehen ist, dass die Vorschriften des Vereins deutscher Eisenbahnverwaltungen immer mehr zu allgemeiner Annahme gelangen werden, so seien hier die Grundbedingungen, denen ein

Fallwerk zu genügen hat, in erster Linie nach diesen Bestimmungen dargestellt; sie seien indessen ergänzt durch die Vereinbarungen der oben genannten Konferenzen. Um den Ursprung der nachstehenden Bestimmungen äusserlich erkennen zu können, sind die von den Eisenbahnverwaltungen aufgestellten Vorschriften am Schluss der Sätze mit einem *E* und die als Ergänzung angeführten Vereinbarungen der Konferenzen am Schlusse mit einem *K* bezeichnet.

1. Von der vollständigen Konstruktion eines Normalfallwerkes ist Abstand zu nehmen, vielmehr sind nur über diejenigen Theile genaue Vorschriften zu machen, welche einen Einfluss auf das Versuchsergebniss haben können. Es wird empfohlen, das Gestell der Fallwerke in Eisen auszuführen und es im geschlossenen Raum aufzustellen. *K*.
2. Als normales Bärgewicht ist 1000 kg anzunehmen; ausnahmsweise auch 500 kg zuzulassen. *K*.
Das Bärgewicht soll bei der Prüfung von Schienen, Axen und Radreifen zwischen 600 und 1000 kg, bei der Prüfung von Radgestellen 200 kg betragen. (Für Lokomotivaxen wird an anderer Stelle ein Bärgewicht von 800 kg vorgeschrieben.) *E*.
3. Die Bärmasse kann aus Gusseisen, gegossenem oder geschmiedetem Stahl bestehen. Die Bärform ist so zu wählen, dass der Schwerpunkt der ganzen Bärmasse möglichst tief liegt. *K*.
4. Die Schwerlinie des Bären muss in die Mittellinie der Bärführungen fallen. *E. K*.
5. Besondere Marken auf dem Ambos oder der Schabotte sollen diese Mittellinie kenntlich machen. *K*.
6. Das Verhältniss der Führungslänge des Bären zur Lichtweite zwischen den Schienen soll grösser als 2:1 sein. *K*.
7. Die Führungsprismen sind aus Metall, z. B. Eisenbahnschienen und so herzustellen, dass dem Bären kein grosser Spielraum bleibt. Schmierung der Führungen mit Graphit wird empfohlen. *K*.
8. Es ist eine besondere Hammerbahn aus geschmiedetem Stahl einzusetzen und durch Schwalbenschwanz und Keil durchaus centrisch zur Schwerlinie des Bären zu befestigen. Durch besondere Marken soll die Erfüllung dieser Bedingung erkennbar gemacht sein. *K*.
9. Die Hammerbahn ist stets eben zu machen; dementsprechend sind in allen Fällen, also bei der Prüfung von Schienen, Axen, Radreifen, Federn u. s. w. jedesmal bestimmte Aufsatzstücke von zweckentsprechender Form mit oberer ebener Fläche zu benützen. Die Aufsatzstücke müssen ein möglichst geringes Gewicht haben. *K*.
Begründung: Der gleiche Bär mit ebener Schlagbahn wird für alle Fälle mit Rücksicht auf die Vereinfachung der Zurichtungen für das Normalschlagwerk und auf die einmalige Berichtigung des Bärgewichtes nach Punkt 19 und 20 empfohlen. *K*.
10. Die Hammerbahn soll nach einem Halbmesser von nicht unter 15,0 cm abgerundet sein; bei Schlagversuchen mit Radreifen soll die Hammerbahn auf ein dem Querschnitte des zu prüfenden Stückes entsprechendes, in seiner oberen Fläche ebenes Aufsatzstück schlagen, dessen Gewicht kleiner als 20 kg sein soll. *E*.
11. Bei Veröffentlichungen von Versuchsergebnissen oder bei Ausstellung

von Prüfungszeugnissen ist die zur Verwendung gekommene Form der Aufsatzstücke genau anzugeben. *K.*

12. Die Auslösevorrichtung für den Bären soll so beschaffen sein, dass durch sie der freie Fall des Bären nicht beeinflusst wird. *E.*

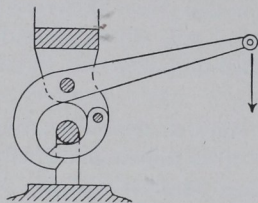


Fig. 169.

Die in Fig. 169 dargestellte Auslösevorrichtung wird besonders empfohlen. *K.*

Es ist eine Einrichtung zu treffen, durch welche das zufällige Herabfallen des theilweise oder ganz gehobenen Bären verhindert wird. *E.*

13. Das Schabottengewicht soll mindestens das 10fache des Bärgewichtes betragen. *K.*

Das Schabottengewicht soll mindestens 10000 kg betragen.

Dieser Untersatz soll aus einem Stück Gusseisen bestehen. *E.*

14. Das Fundament soll unelastisch aus einem soliden Mauerkörper gebildet sein, dessen Grösse durch die Baugrundverhältnisse bedingt ist, *K. E.*, dessen Höhe aber mindestens 1 m betragen muss. *E.*
15. Die Auflagerstücke für den Probekörper sind an der Schabotte solide zu befestigen, z. B. zu verkeilen. *K. E.*
16. Es sind Einrichtungen zu treffen, durch welche das Herausspringen der Schienen, Axen und Radreifen aus den Auflagern nach erfolgtem Schlage verhindert wird, ohne deren freie Bewegung zu beeinflussen. Auch muss eine Vorrichtung vorhanden sein, durch welche der Radreifen zur Aufnahme des Schlages in richtiger Stellung gehalten wird. *E.*
17. Fallwerke bis zu 6 m Fallhöhe verdienen ein grösseres Zutrauen als solche mit grösseren Höhen; es empfiehlt sich daher, bei Neuanlagen 6 m Höhe nicht zu überschreiten. *K.*
18. Die Höhenthailung zur Ermittlung der Fallhöhe des Bären soll an der Geradföhrung verschiebbar sein und das Schlagmoment (Fallhöhe mal Bärgewicht = HG) in Meterkilogrammen angegeben werden. Nach jedem Schlage ist die Fallhöhe des Bären entsprechend der stattgehabten Formänderung des Probestückes zu regeln. *E.*

Bei Benutzung mehrerer Bären von verschiedenem Gewichte dürfte es praktischer sein, die verschiedene Höhenthailung nach Metern [Centimetern] anzunehmen, weil dann für alle die gleiche Theilung benutzt werden kann. Man beachte die grosse Mannigfaltigkeit der von *E.* vorgeschriebenen Bärweighte unter Satz 2.

19. Jedes Normal-Fallwerk ist zu aichen. *K.*

Begründung: Es ist nicht ausgeschlossen, dass Fallwerke, welche mit allen Vorsichtsmaassregeln konstruirt sind, durch unübersehbare Einflüsse dennoch unrichtige Wirkungen geben. Man kann nur dann vergleichbare Ergebnisse erhalten, wenn man die Reibungsverluste in Rechnung zieht, beziehentlich ausgleicht. *K.*

20. Zur Ermittlung des wirksamen Bärweightes können folgende Verfahren benutzt werden:

a) Man schaltet zwischen dem Bären und der Auslösung eine genügend kräftige Federwage ein und liest das wirksame Bärweight während des langsamen Sinkens des Bären

ab. Man erhält so das Bärgewicht weniger der Reibung, beim Anheben des Bären aber sein Gewicht einschliesslich der Reibung.

β) Man bestimmt das Bärgewicht aus der Wirkung eines Schlages von bestimmter Fallhöhe auf einen genau centrisch eingestellten kupfernen Normalcylinder, welcher aus bestem Stehbolzenkuper herzustellen ist und eine bestimmte, noch festzustellende Form und ein bestimmtes Gewicht haben soll. *K.*

21. Solche Normalkupfercylinder sollen auch zur Vergleichung der einzelnen Schlagwerke unter einander, zur Aichung derselben, benutzt werden. *K.*

[Die königliche mechanisch-technische Versuchsanstalt in Charlottenburg giebt auf Antrag solche verglichene Normalkörper ab.]

22. Schlagwerke, bei denen die Reibungsarbeit grösser als 2% der Schlagarbeit des Bären ist, sind zu verwerfen. *K.*

227. Zur Ausführung wissenschaftlicher Versuche hat Kick (*L 100*, S. 101) sich eines ballistischen Fallwerkes bedient, dessen Konstruktion er in der Quelle ausführlich mittheilt. Der Konstruktionsgrundsatz ist folgender.

Der Bär *B* und der Ambos *A* Fig. 170 sind an Drähten *ac* und *bd*

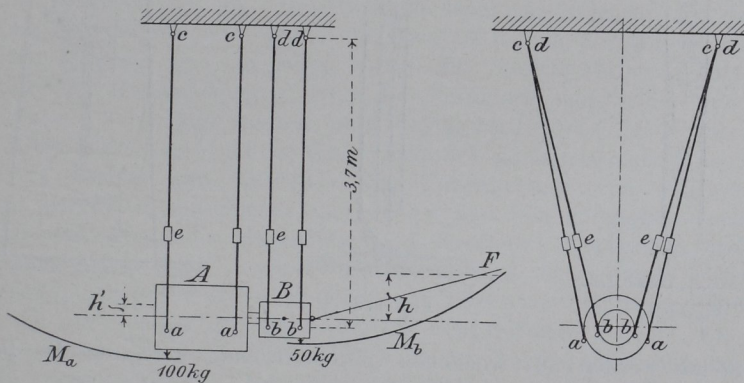


Fig. 170.

an der Decke aufgehängt, so dass beide Pendelbewegungen über den Messbögen *Ma* und *Mb* ausführen können. Die Aufhängungen sind so angeordnet, dass Schaukelbewegungen des Bären aus der Senkrechten heraus ausgeschlossen sind und durch die Schraubenverbindungen *ee* die Mittellinien von Bär und Ambos genau in eine Linie gebracht werden können. Zum Zwecke des Versuches wird der Versuchskörper am Ambos befestigt und der Bär durch Zurückziehen mittelst einer Hanfschnur in die beabsichtigte Höhenlage gebracht, die man mittelst einer Marke am Bogenmaass *Mb* ablesen kann. Die Auslösung des Bären erfolgt durch Abbrennen der Schnur *F*, so dass er ohne Seitenschwingungen fällt. Ein Theil der in *B* aufgespeicherten Arbeit wird zur Formänderung des Probekörpers angewendet und ein anderer auf den Ambos *A* übertragen, der einen entsprechenden Ausschlag macht, welchen man am Messbogen *Ma* ablesen kann.

228. Für die Charlottenburger Anstalt habe ich mehrere kleine Fallwerke konstruiert, deren Bärgegewichte zwischen 0,5 und 200 kg schwanken. Das kleinste dieser Fallwerke hat als Bärführung ein gezogenes Eisenrohr, in dem der Bär, aus Stahl mit glasharter Schlagfläche, durch einen Faden gehoben, in der Höhe durch einen einfach vorgehaltenen Stift abgefangen, und durch Zurückziehen dieses Stiftes lässt man den Bären aus der gewünschten Höhe herabfallen. Das in Fig. 171 skizzierte kleine Fallwerk war ursprünglich für die vergleichende Bestimmung der Härte von Jagdschrot bestimmt, hat aber seitdem mannigfache Anwendung gefunden.

229. Ein anderes etwas grösseres Fallwerk dient zur Prüfung von Bausteinen, Belagplatten, Dachsteinen, Pappen u. s. w. auf Stossfestigkeit und arbeitet mit freifallenden birnförmigen Bären von 1 bis 5 kg Gewicht.

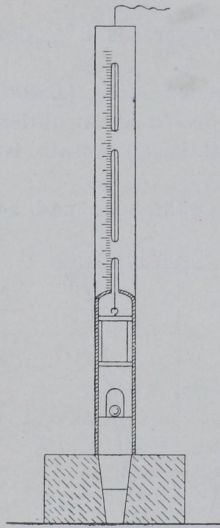


Fig. 171.

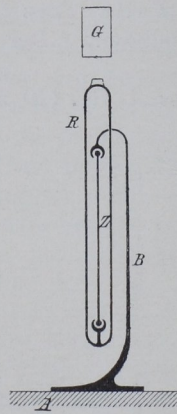


Fig. 172.

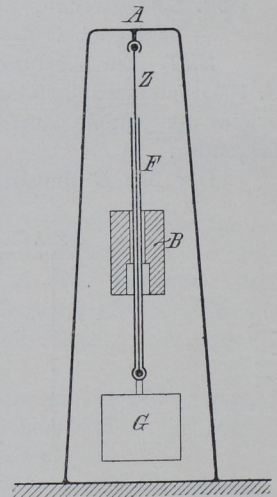


Fig. 173.

Die Steine werden auf trockenem gesiebtem Sand gelagert, die Pappen werden auf Holzrahmen aufgenagelt.

230. Ein Fallwerk von 4,5 m Fallhöhe und mit Bären von 20 bis 100 kg arbeitend, ist so konstruiert worden, dass es alle möglichen Arten von Festigkeitsversuchen unter Fallwirkung zulässt. Es ist für Zerreiß-, Biege-, Stauch- und Beulungsversuche eingerichtet, und auch Scheer- und Lochversuche kann man unter Benutzung der in Abs. 216 und 223, Fig. 161 und 168 dargestellten Vorrichtungen ausführen.

Die Einrichtung zur Ausführung von Zerreißversuchen¹⁾ unter diesem Fallwerk besteht im Grundsatz aus einem Bock *B*, Fig. 172, der auf dem Ambos *A* befestigt wird, und aus einem Rahmen *R*, der zwischen den Führungsschienen des Fallwerkes gleitet. Der Probestab *Z* wird mit dem oberen Ende in dem Bock *B*, mit dem unteren Ende in dem Rahmen *R* mit Beilegeringen ähnlich so befestigt, wie es in Abs. 70, Fig. 27, hinsichtlich der Ausführung von Zerreißversuchen besprochen wurde. Der Bär *B*

¹⁾ Eine ähnliche Einrichtung ist schon von Uchatius benutzt worden (*L* 100, S. 32).

schlägt auf den Kopf des Rahmens *R*, und dieser überträgt den Schlag auf die Probe, welche ihn durch den Bock *B* in den Ambos leitet.

231. Für die Prüfung von Radgestellen und Flusseisenscheibenrädern wird von den deutschen Eisenbahnverwaltungen neuerdings folgende Fallprobe vorgeschrieben.

Die Radgestelle und Scheibenräder werden mit dem Felgen- bzw. Spurkranze auf Holzunterlagen wagerecht gelagert. In die Nabenbohrung wird eine aus vier Segmentstücken bestehende Buchse geschoben, die im Inneren auf je 2,0 cm Länge um 0,1 cm verjüngt ist. Ein genau in die Buchse passender Stahldorn von quadratischem Querschnitt wird in die Buchse eingetrieben; bei den Rädern mit einer Nabenbohrung von 14,5 cm, geschieht dies durch 6, bei denen mit 13,0 cm Nabenbohrung durch 5 Schläge, mit einem 200 kg schweren Bären, die nacheinander aus 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5 und 4 m Höhe erfolgen. Vor der Benutzung sind die Dorne und Innenflächen der Buchse mit Oel abzureiben und wieder trocken abzuwischen.

232. Ein viertes Fallwerk konstruirte ich für die Charlottenburger Anstalt zur Ausführung von Schlagversuchen mit Drahtseilen, die auf die Wirkung einer sehr grossen Zahl kleiner Schläge geprüft werden sollten. Hierbei ist der Ambos aus einem kräftigen Eisengerüst *A*, Fig. 173, gebildet. An diesem ist das Seil *Z* aufgehängt, das unten mit einem Gewicht *G* beschwert ist. Das Gewicht trägt ein Gasrohr *F*, das als Führung für den Bären *B* dient, der etwa 13 mal in der Minute von der Maschine gehoben und ausgelöst wird. Mit diesem Fallwerk sind sehr umfangreiche Untersuchungen über die Festigkeit von Seilen und Seilverbindungen ausgeführt worden, über welche Rudeloff (*L 153*) berichtete.

233. Von Rudeloff ist dieses Fallwerk auch mit einer Einrichtung versehen, welche zur vergleichenden Untersuchung von Schotter zur Bettung der Eisenbahnschienen gedient hat und sich vorzüglich bewährte. Er liess den Kies oder Steinschlag auf bestimmte Korngrösse absieben und brachte ihn dann in einen Kasten, dessen Seitenwände fest oder beweglich eingestellt werden konnten, und liess nun den Bären, dem die Form der Stopfhacke gegeben war, in den Schotter fallen. Als Vergleichsmaassstab wurde das Maass und die Art der Zerkleinerung benutzt, die das Schottermaterial bei einer bestimmten Summe von Schlagarbeit erfuhr. Der Grad der Zerkleinerung wurde hierbei durch wiederholtes Aussieben festgestellt.

234. In seiner einfachsten Form wird das Fallwerk häufig in Eisen- giessereien zum Zerschlagen grosser Gussblöcke und gelegentlich auch zur Erprobung von Gusseisen benutzt.

Hierbei legt man auf eine Unterlage von gleichmässig aufgesiebttem Formsand eine Probepatte von 1 m im Quadrat, 2 cm stark, Fig. 174, und lässt auf die Mitte einen Bären von 25 kg Gewicht aus verschiedenen Höhen fallen, indem man die Fallhöhe von 25 zu 25 cm wachsen lässt. Jüngst (*L 154*) prüfte auf diese Weise gusseiserne Platten, von denen die besten erst bei 4 m einen Riss bekamen und bei 5,25 m zersprangen.

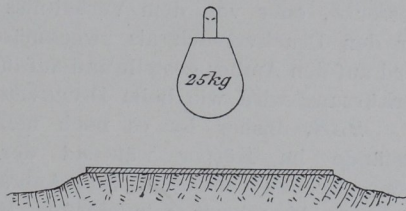


Fig. 174.

235. Aus den voraufgehenden Absätzen ergibt sich, dass das Fallwerk in einfacher Form zu allerlei Versuchen, namentlich im Fabrikbetriebe zur Kontrolle der Materialien weit leichter und bequemer benutzt und verworthen werden kann als die Zerreißmaschine, weil es billiger, einfacher in der Bedienung ist, weniger Probenbearbeitung erfordert und das Versuchsergebniss sehr schnell liefert; man kann auch die Art der Versuchsausführung sehr leicht besonderen Bedürfnissen anpassen. Aus allen diesen Gründen sollte man bestrebt sein, dem Fallversuch immer mehr Eingang in das Prüfungswesen zu verschaffen.

3. Stauchversuch.

236. Dem Druckversuch unter ruhiger Belastung auf der Festigkeitsprobirmaschine entspricht der Stauchversuch unter dem Fallwerk; die Probekörper können die gleichen Formen erhalten, wie beim Druckversuch. Der Unterschied zwischen beiden Beanspruchungsarten besteht im wesentlichsten darin, dass in dem einen Falle die Formänderung sehr schnell, in dem Bruchtheil einer Sekunde, und im anderen Falle langsam ausgeführt wird.

Bei der Zerreißmaschine können die wirkende Kraft und die hierdurch erzielten Formänderungen unmittelbar gemessen werden, man kann also auch die zur Formänderung aufgewendete mechanische Arbeit ohne weiteres messen; sie wird ganz an das Probestück abgegeben. Der gemessene Betrag ist also die Nettoarbeit.

Beim Fallwerk geht aber ein grosser Theil der im fallenden Bären aufgespeicherten Arbeit verloren, und man kann nur die Gesamtarbeit, die Bruttoarbeit des Bären $A = H G$ messen, wenn G das Bärgewicht in kg und H die Fallhöhe in m ist.

Man bemerkt also schon hier, dass die beiden für gleiche Formänderungen aufgewendeten Arbeitsbeträge nicht unmittelbar in Vergleich gestellt werden können.

237. Die praktische Ausführung der Stauchversuche gestaltet sich ebenso einfach, wie beim Druckversuch. Ein prismatischer Körper, in der Regel ein Würfel oder ein Cylinder von der Länge l gleich dem Durchmesser d , oder von dem Verhältniss $l = 0,886 d$, d. h. $\sqrt{f}/l = 1$ [wie sie für den Druckversuch als zweckmässig befunden wurden, 167, S. 119], wird auf den Ambos gestellt und auf ihn der Bär fallen gelassen. Die Längenverkürzung wird wie beim Druckversuch gemessen.

238. Bisher ist es noch nicht versucht worden, die Spannungszustände im Körper während der Formänderung durch den Schlag rechnerisch zu verfolgen, eine Aufgabe, die wegen der verwickelten Vorgänge recht schwer sein dürfte. Man begnügte sich damit, die Brutto-schlagarbeit mit den erzielten Formänderungen einfach in Vergleich zu stellen. Dies geschieht am besten und übersichtlichsten durch Schaubilder. Wie früher kann man die Schaubilder für den ganzen Körper als solchen auftragen, also die Gesamtarbeit $A = G h$ in Verbindung mit der erzielten Verkürzung $— \lambda$, oder man kann die spezifische Schlagarbeit, d. h. den von der Raum- oder von der Gewichtseinheit des Probekörpers aufgenommenen Arbeitsantheil, mit der Stauchung der Längeneinheit $— \varepsilon = \lambda/l$ in Verbindung bringen.

Hiernach ist also, wenn i der Rauminhalt des Probekörpers in cem und g dessen Gewicht in gr, die spezifische Schlagarbeit:

$$a = \frac{A}{i} \text{ oder } a_1 = \frac{A}{g} \text{ oder}$$

$$a = \frac{HG \text{ cm kg}}{i \text{ ccm}} \text{ oder } a_1 = \frac{HG \text{ cm kg}}{g \text{ gr}}.$$

Im Folgenden soll die spezifische Arbeit immer auf die Raumeinheit bezogen werden, wenn nichts anderes gesagt ist. Um diesen Werth auf die Gewichtseinheit umzurechnen ist er mit $\frac{1}{r}$, dem reciproken Werth des Raumgewichtes zu multipliciren, es ist also:

$$a_1 = \frac{a}{r}.$$

Die erzielte Verkürzung ergibt sich nach Fig. 175 zu:

$$-\lambda = l - l_1$$

oder die Stauchung:

$$-\varepsilon_s = \frac{l - l_1}{l} = -\frac{\lambda}{l}$$

oder in Procenten ausgedrückt:

$$-\delta_s = \left(1 - \frac{l_1}{l}\right) 100.$$

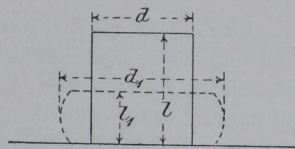


Fig. 175.

Der Index s wird in der Folge stets gebraucht werden, um die Werthe die sich auf den Stauchversuch beziehen, von den aus dem Druckversuch hervorgehenden zu unterscheiden.

Als Stauchungszahl a_s könnte man, wie früher (34), die Stauchung bezeichnen, welche die Längeneinheit durch die Arbeitseinheit erfährt, also

$$a_s = \frac{\varepsilon_s}{a}$$

239. Wenn ein Körper vom Dichtigkeitsgrad 1 geprüft wird, so wird er während der Formänderung seinen Rauminhalt nicht merklich verändern. Demnach besteht zwischen dem Durchmesser d_1 (Fig. 175) und der Länge l_1 eine Beziehung, die, abgesehen davon, dass der Körper in Wirklichkeit Tonnenform annimmt, durch die Gleichung:

$$i = i_1 \text{ oder } \frac{\pi}{4} d^2 l = \frac{\pi}{4} d_1^2 l_1^2$$

oder wenn $d = l = 1$ gesetzt wird

$$l_1 = \frac{1}{d_1^2}$$

gegeben ist; bei $l = 0,886 d$ wird $l_1 = \frac{0,886}{d_1^2}$. Bei dichten Körpern genügt also die Feststellung der Stauchung für die Darstellung der Formänderungen.

240. Wird nach den nunmehr festgestellten Begriffen ein Schaubild für einen Stauchversuch entworfen, so ist zu beachten, dass für jeden Schlag nur ein Punkt verzeichnet werden kann, nämlich der Endzustand, den der Körper infolge des Schlages angenommen hat. War der Versuch in der Weise durchgeführt, dass der Körper durch mehrere Schläge von

gleicher spezifischer Schlagarbeit für jeden Schlag, d. h. durch mehrere Schläge aus gleicher Fallhöhe gestaucht wurde, so würde sich die nach

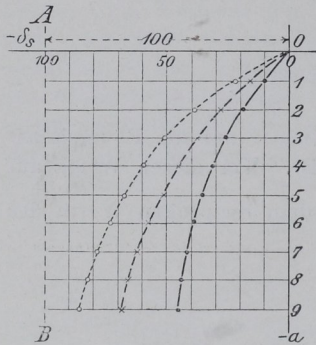


Fig. 176.

jedem Schläge erzielte Längenänderung durch eine Punktreihe (Fig. 176) darstellen lassen. Ein zweites Material unter gleichen Verhältnissen geprüft, würde eine zweite Punktreihe ergeben u. s. f. Um die Punktreihen besser übersehen zu können, werden die zusammengehörigen Punkte durch einen Linienzug steter Krümmung [durch eine Ausgleichlinie] verbunden. Die Entfernung der Punkte von der Linie $O - a$ giebt die jedesmalige Stauchung $-\delta_s$, und diejenige bis zur Linie AB die Länge des Körpers nach dem Versuch, ausgedrückt in Procenten der ursprünglichen Länge, an.

241. Um die Gesetze kennen zu lernen, nach denen die Formänderungen der Materialien beim Stauchversuch verlaufen, und um hieraus einheitliche Vorschriften für die Materialprüfung durch Stauchversuche abzuleiten, habe ich die Versuche von Kick ($L 100$) in grosser Zahl erweitert. Die Ergebnisse sind in den „Mittheilungen aus den Königlichen technischen Versuchsanstalten zu Berlin“ Jahrgang 1891 sehr eingehend besprochen. Aus diesen Versuchen und denjenigen von Kick lassen sich die in den folgenden Abschnitten besprochenen Gesetze ableiten.

a. Einfluss der Geschwindigkeit.

242. Die Arbeit, die der Bär leistet, ist gegeben durch Bärgewicht mal Fallhöhe. Wenn zur Erzielung gleicher Formänderung an gleichen Körpern nur gleiche Arbeit erforderlich wäre, so müsste es auch gleich sein, ob die Arbeit durch ein grosses Gewicht und kleine Fallhöhe, oder ob sie durch ein kleines Gewicht und grosse Fallhöhe erzielt wurde. Im ersten Falle ist aber die Geschwindigkeit, mit welcher der Bär auf den Körper trifft, d. h. die Geschwindigkeit, mit der die Formänderung vollzogen wird, kleiner als im letzteren. Man kann kurzer Hand durch den Versuch entscheiden, ob dieser Geschwindigkeitsunterschied von praktisch bemerkbarem Einfluss auf die Grösse der Formänderung ist; thatsächlich vorhanden ist dieser Einfluss sicher.

Kick hat durch seine Versuche erwiesen, dass für gewisse Materialien die Geschwindigkeit innerhalb ziemlich weiter Grenzen keinen bemerkbaren Einfluss ausübt, denn er erzielte bei Bleikörpern $d=l=1,51$ cm unter Anwendung einer Gesamtschlagarbeit von $1,77$ cm kg, d. i. bei $i=2,7$ ccm und $a=66 \frac{\text{cm kg}}{\text{ccm}}$, folgende Stauchungen beim:

Schlag	1	2	3
a) Fallhöhe $h = 307$ cm; Bärgewicht $G = 0,576$ kg	19,3	35,0	47,0 %
b) Fallhöhe $h = 26,1$ cm; Bärgewicht $G = 6,75$ kg	19,8	34,4	46,3 %

Die Geschwindigkeiten, die der Bär beim Auftreffen hat, sind aber nach dem bekannten Gesetz

$$v = \sqrt{\epsilon g h}; \text{ da } \sqrt{2g} = \sqrt{2 \cdot 9,81} = 4,43$$

$$v_a = 4,43 \sqrt{3,07} = 7,75 \text{ m}$$

$$v_b = 4,43 \sqrt{0,261} = 2,22 \text{ m, oder}$$

$$v_a : v_b = 3,5 : 1.$$

Unter den gleichen Verhältnissen ergeben sich für andere Bleikörper

$$d = l = 1,8 \text{ cm und für } a = 39 \frac{\text{cm kg}}{\text{ccm}} \text{ beim:}$$

Schlag	1	2	3	4
für den Fall a) $h = 307 \text{ cm; } v = 7,75 \text{ m}$	15,1	25,6	34,8	41,8 %
für den Fall b) $h = 26,1 \text{ cm; } v = 2,22 \text{ m}$	15,1	26,5	35,9	44,4 %

Der Einfluss der Geschwindigkeit scheint hiernach nicht gross zu sein, indessen können diese Versuche mit Blei und geringen spezifischen Schlagarbeiten noch nicht als ausschlaggebend erachtet werden.

β. Stauchversuch und Aehnlichkeitsgesetz.

243. Nach dem Aehnlichkeitsgesetz sollten:

gleiche spezifische Schlagarbeiten (cm kg/ccm oder cm kg/gr) gleiche Stauchungen bei geometrisch ähnlichen Körpern aus gleichem Material erzielen.

Um dieses Gesetz zu prüfen, wurden Versuchsreihen mit sogenannten

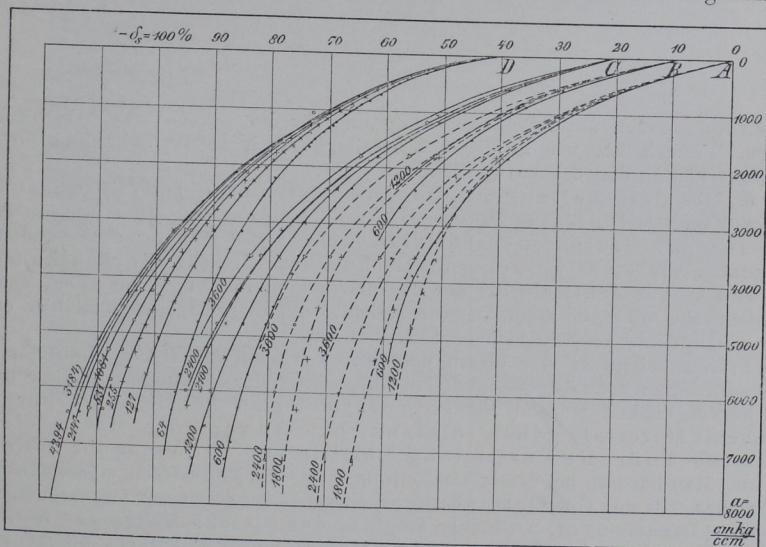


Fig. 177.

Gruppe A bis C, Walzmessing. Linien ausgezogen = mit Bär I geschlagen; Linien gestrichelt = mit Bär II geschlagen; $d = l$ für Gruppe A = 1,5; B = 1,3 und C = 1,0 cm. Die einzelnen Linien sind am Fuss mit der für den Schlag aufgewendeten spezifischen Arbeit $\frac{\text{cm kg}}{\text{ccm}}$ bezeichnet.
Gruppe D, Kupfer. Darstellungsweise wie bei A bis C.

Normalcylindern, d. h. $d=l$, von verschiedenen Abmessungen mit gesetzmässig abnehmenden specifischen Schlagarbeiten geprüft. Hierzu benutzte ich Cylinder von $d=l=1,0; 1,3$ und $1,5$ cm aus Walzmessung und Kupfer, die mit $a=60$ bis 650 cm kg/ccm für jeden Schlag beansprucht wurden. Die erzielten Stauchungen δ_s sind in den Schaubildern Fig. 177 dargestellt.

a. Die Schaubilder über die Stauchversuche sind in den „Mittheilungen“ (L 155) nach anderen Gesichtspunkten aufgestellt, als sie hier benutzt werden sollen. Es sind nämlich dort der Summe der specifischen Schlagarbeiten Σa nicht die Formänderungen, d. h. die Stauchungen $-\delta_s$, sondern die Resthöhen der Probekörper, also die Werthe $100 - \delta_s$ gegenübergestellt, und die weitere Verarbeitung hat dann, anschliessend hieran, ebenfalls in abweichender Weise stattzufinden. Man wird aber den Vergleich trotzdem leicht bewerkstelligen können.

Hier soll im Anschluss an die früher in Absatz 56. 103 schon benutzte gemeinsame Darstellungsweise der Schaulinien für den Zug- und Druckversuch (Fig. 178) im ersten und dritten Quadranten eine ähnliche Darstellungsweise auch

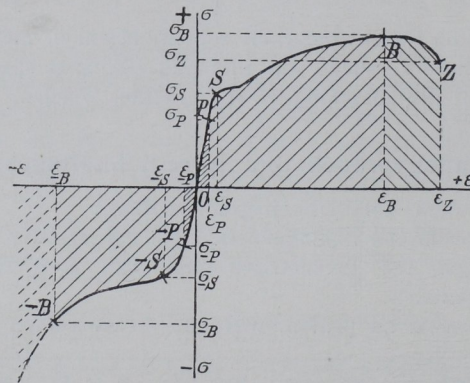


Fig. 178.

für den Zugversuch unter Schlagwirkung und für den Stauchversuch beibehalten werden. Danach ist, wie in Fig. 176 bereits geschehen, das Schaubild für den Stauchversuch in den dritten Quadranten verlegt.

b. Die Beibehaltung einer ganz bestimmten Darstellungsweise und, wie hier gleich hinzugefügt werden soll, einer ganz bestimmten Auswahl für das Ordinatenverhältniss, wenn nicht gar der anzuwendenden Maassstäbe, bietet so ausserordentliche Vortheile für die Anschaulichkeit und Uebersichtlichkeit der darzustellenden Prüfungsergebnisse, dass es mir nicht ein müssiges Spiel zu sein scheint, auf diesen Gegenstand hier etwas näher einzugehen, als dies bisher geschehen ist.

Früher schon ist der Werth des Zurückgehens auf die Spannungen und Formänderungen der Längeneinheit bei Darstellung der Prüfungsergebnisse mehrfach hervorgehoben worden (40. 185). Geometrisch ähnliche Körper aus gleichem Material geben alsdann bei Anwendung des gleichen Maassstabes für die Darstellung unmittelbar auf einander fallende Linien. Man hat also bei dieser Darstellungsweise die Möglichkeit vollkommensten Vergleiches. In der Charlottenburger Anstalt ist deswegen angeordnet, dass für solche Darstellungen, wo immer möglich, der gleiche Maassstab benutzt wird. Alle Schaulinien werden auf Netzpapier von $2,0 \times 2,0$ cm Maschenweite mit Untertheilungen von $0,2$ zu $0,2$ cm eingetragen; die Bildfläche hat ein Format 20×18 cm; das Blatt ist also bei ausreichender Randbreite sehr handlich. Ausnahmsweise werden zwei Blätter an einander geklebt. Auch für die Uebungen mit den Studirenden ist der gleiche Grundsatz aufrecht erhalten. Die Maassstäbe werden in der Regel so gewählt, dass 2 cm für σ , bez. τ , $= 1000 \text{ at}$ oder für ϵ , bez.

$\delta/l = 0,1$ oder für $\delta = 10\%$ sind; dieses Verhältniss für die Ordinaten der Spannungen und der Formänderungen wird bei Abweichungen vom Maassstab möglichst festgehalten, und nur bei sehr festen Materialien und bei solchen von sehr geringer Festigkeit wählt man für die Spannungen den halben, bez. den doppelten Maassstab. Kommt es darauf an, Besonderheiten der Formänderungen in anderem Maassstabe mehr zum Ausdruck zu bringen, so wird möglichst ein Vielfaches der ursprünglichen Theilung benutzt.

Hält man diese Maassnahmen fest, so gewinnt man auch für gelegentliche

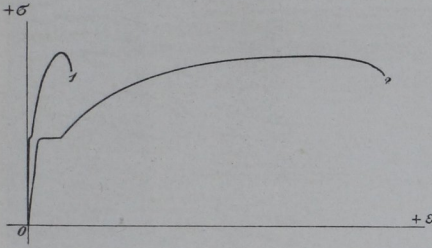


Fig. 179.

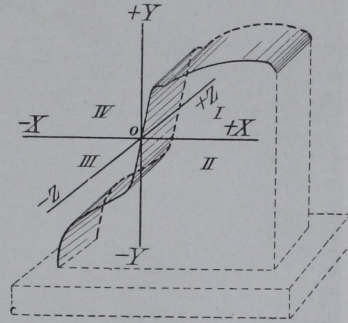


Fig. 180.

Veröffentlichungen anschauliche Bilder, da ja die photographischen Methoden eine Zurückführung auf die zur Veröffentlichung geeignete Bildgrösse ohne Störung des Ordinatenverhältnisses gestatten. Dass die allgemeine Einführung dieses Vorschlages von einigem Werthe sein würde, wird gewiss einleuchten,

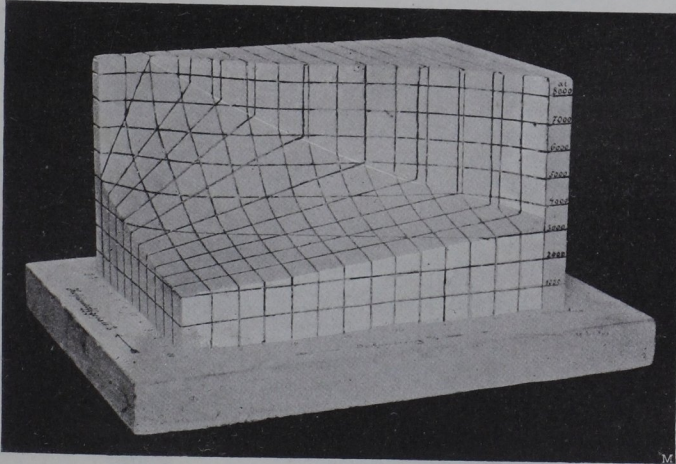


Fig. 181.

wenn man sich die Bilder vergegenwärtigt, die die Literatur als Schaulinien, z. B. für Flusseisen zu bieten pflegt. Ich habe in Fig. 179 zwei der äussersten Charaktere von Schaubildern für das gleiche Material skizzirt.

c. Man kann aber in der Entwicklung der Grundsätze für die Darstellung der Prüfungsergebnisse gelegentlich viel weiter gehen, und um auch hier Einheitlichkeit zu bewahren, soll in diesem Werke der in Fig. 180 schematisch veranschaulichte Plan innegehalten werden. Danach sollen die Spannungen σ , τ und die Arbeit a nach der Richtung Y , und die Formänderungen ε , δ , δ/l nach der

Richtung X aufgetragen werden; kommt die räumliche Darstellungsweise [z. B. Einfluss der chemischen Zusammensetzung, des Bearbeitungsgrades, der Wärme, der Zeit u. s. w.] in Frage, so steht die Richtung Z zur Verfügung. Der fein punktierte Körper in Fig. 180 deutet beispielsweise eine körperliche Darstellung der Abhängigkeit von Zug- und Druckfestigkeit von einer anderen Eigenschaft an.

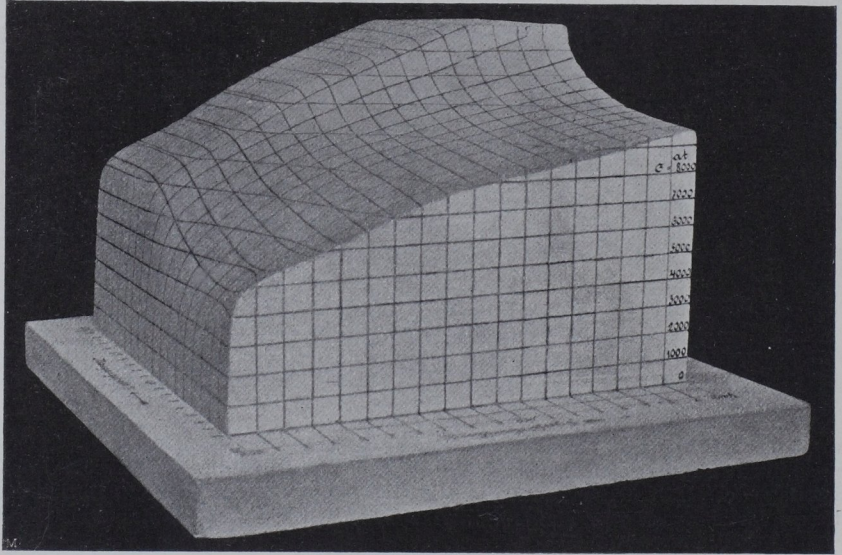


Fig. 182.

Hierbei hat natürlich aus einleuchtenden Gründen für die Darstellung im dritten Quadranten [Druck] gewissermassen von einer negativen Wiedergabe des Gesetzes für die Formänderung unter Druck Gebrauch gemacht werden müssen.

d. Um zu zeigen, was durch diese Darstellungsweise erreicht werden kann, sind in der Fig. 181 bis 183 einige Modelle über die Gesetze der Materialeigen-

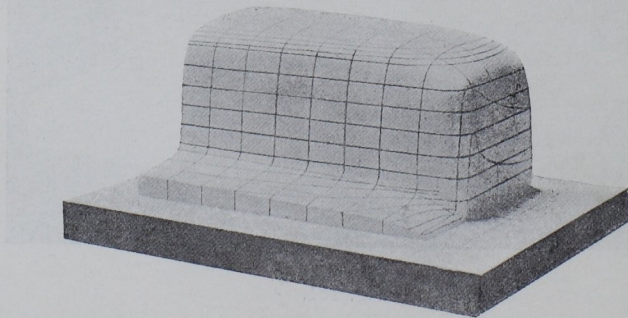


Fig. 183.

schaften aus der Sammlung der Versuchsanstalt in photographischer Abbildung wiedergegeben.

Fig. 181 stellt die Veränderung der Zugfestigkeit von Martineisen mit wachsendem Kohlenstoffgehalt, Fig. 182, die Veränderungen der Biegefestigkeit ähnlichen Materiales mit wachsendem Mangangehalt dar. Fig. 183 stellt das Gesetz über die Aenderungen der Dehnungen für den Spannungszuwachs $\Delta \sigma = 100 \text{ at}$

von hartgezogenem und nachher bei verschiedenen Wärmegraden zwischen 0 und 500 C° geglähten Kupferdraht dar; man erkennt den plötzlichen Uebergang vom harten in den weichen Materialzustand nach dem Glühen bei einer Hitze zwischen 300 und 400 C°.

Ausser der Darstellung von Gesetzen über die Abhängigkeit der Materialeigenschaften von gewissen Bedingungen durch körperliche Modelle [Holz, Gyps u. s. w.] habe ich häufig von Nadeln mit bunten Glasköpfen Gebrauch gemacht und hierbei grosse Anschaulichkeit erreicht, z. B. bei der Darstellung der Ergebnisse von amtlichen Papierprüfungen. Dargestellt sind Reisslänge und Dehnung, bemessen durch den Abstand der Nadeln von den Nulllinien, Widerstand gegen Zerknittern und Reiben, gemessen durch die Länge der Nadeln, und die Stoffzusammensetzung des Papiers, gegeben durch die Farben der Nadelköpfe. Ausgespannte Fäden geben die Grenzen für die verschiedenen Papierklassen an.

Die Gesetze, die nach Linien im Raum verlaufen, kann man auch durch verschieden gefärbte, entsprechend gebogene Drähte zur Darstellung bringen; auch farbige Fäden benutzte ich, namentlich zur Darstellung durchdringender Flächen, aber sie sind unpraktisch, wegen der Verstaubung, wegen leichten Schlawferdens beim Feuchtigkeitswechsel und aus anderen Gründen. Das Auftragen farbiger Linienzüge und Flächen auf hintereinander gestellte Glasplatten, ja sogar die Aufbiegung von Glasplatten nach der Oberfläche von Gypsmodellen ist für andere Zwecke von anderen Autoren versucht worden.

244. Die in Fig. 177 gezeichneten Schaulinien sind nun benutzt

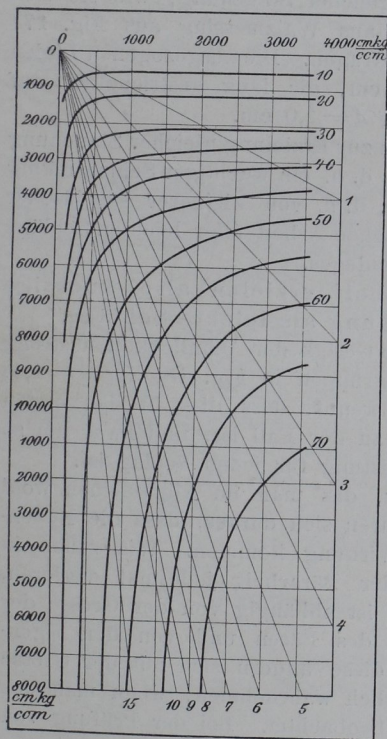


Fig. 184.

Walzmessing, $d = d = 1,5$ cm, Bär I.

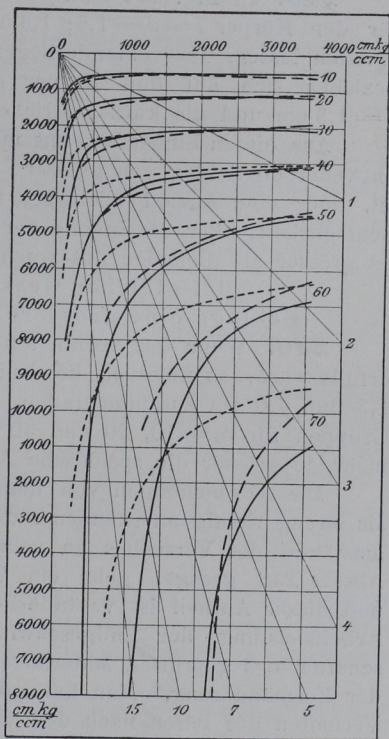


Fig. 185.

Walzmessing.

worden, um in den Fig. 184 bis 187 die Abhängigkeit der Stauchung von der für den einzelnen Schlag aufgewendeten Grösse der specifischen Schlagarbeit klarer darzustellen. Zu dem Zwecke sind Schnitte nach

den Ebenen für $\delta_s = 10, 20$ u. s. w. $\%$ durch den idealen Körper gelegt, der entsteht, wenn man sich die Schaulinien in Fig. 177 in den einzelnen Gruppen so hinter einander aufgestellt denkt, dass der Abstand der einzelnen Linien von der Nullebene [XY Fig. 180] proportional der spezifischen Schlagarbeit für den Schlag ist. Diese Schnitte würden also parallel zur YZ-Ebene, Fig. 180, liegen. Fig. 184 zeigt eine einzelne solche Schnittgruppe für die Körper $l = d = 1,5$ cm aus Walzmessing, die mit dem Bären I geschlagen wurden; sie giebt also die Linien gleicher Stauchung. Es ist aus dem ganzen Hergange beim Stauchversuch wohl klar, dass diese Linien hier nur gewissermassen als Hilfslinien auftreten können, denn da ja nicht Theile eines Schlages ausgeübt werden können, so können nur gewisse Punkte der Linienzüge der Wirklichkeit entsprechen, und diese liegen alle auf den mit 1 bis n bezeichneten Strahlen aus dem Punkte 0. Diese Strahlen geben die angewendete Schlagzahl an. Aus einem solchen Plan, wie er in Fig. 184 dargestellt ist, ist man nun im Stande, anzugeben, wieviel Schläge und welche Einheitsleistung für den Schlag anzuwenden sind, wenn bei dem vorliegenden Material eine bestimmte Stauchung erzielt werden soll.

245. In Fig. 185 sind die Linien gleicher Stauchung, wie sie sich für den Körper $l = d = 1,5; 1,3$ und $1,0$ aus Walzmessing aus Fig. 177 ableiten lassen, über einanderliegend eingetragen. Die ausgezogenen Linien beziehen sich auf den Körper $d = 1,5$ cm, die lang gestrichelten auf $d = 1,3$ cm und die kurz gestrichelten auf $d = 1,0$ cm.

Aus diesen Linien erkennt man, dass zur Erzielung gleicher Stauchung entweder ein Schlag von grosser Leistung, d. h. ein wuchtiger Schlag nöthig ist, oder eine Anzahl leichterer Schläge, d. h. von kleinerer spezifischer Schlagarbeit; aber die Summe der spezifischen Arbeit aller leichten Schläge ist grösser als diejenige des wuchtigen Schlages.

Bei gleicher Gesamtarbeit erzielen also wuchtige Schläge eine grössere Stauchung als leichte Schläge.

246. Wenn das vorhin aufgestellte Gesetz der Aehnlichkeiten streng erfüllt wäre, so müssten die drei Liniengruppen in Fig. 185 für $d = 1,5; 1,3$ und $1,0$ cm zusammenfallen. Man erkennt, dass dies in den ersten Gruppen für $\delta_s = 10, 20$ und 30% nahezu der Fall ist, und zwar um so mehr, je grösser die spezifische Arbeitsleistung für jeden Schlag ist.

Die Abweichungen von dem Gesetz, das man im Allgemeinen wohl als streng richtig anerkennen muss, erklären sich daraus, dass die Nebenstände des Versuches zu sehr zur Wirkung kommen. Wie schon in Absatz 236 gesagt, geht ein Theil der Bärarbeit jedesmal verloren, und dieser Antheil ist veränderlich. Er ist abhängig von der Grösse der Arbeitsleistung, der Endgeschwindigkeit des Bären und von den Eigenschaften des geprüften Materiales, und diese ändern sich mit der Grösse der Formänderung. Man kann das deutlich wahrnehmen, wenn man das Verhalten des Bären nach dem Schlage beobachtet. Bei der Prüfung von Blei bleibt der Bär nach dem Schlage fast ganz in Ruhe. Bei weichem Kupfer u. a. m. bleibt er anfangs in Ruhe, nach einigen Schlägen fängt er an zu tanzen. Das Blei bleibt weich und unelastisch; Kupfer wird härter und immer elastischer.

247. Das Gesetz der Aehnlichkeiten gilt für den ganzen Verlauf des Versuches; es kann daher auch bis zum Bruch der Probe ausgedehnt werden

(L 100). Man kann also sagen, dass bei gleichem Material unter ähnlichen Umständen an ähnlichen Körpern der Bruch durch die gleiche Summe von spezifischer Schlagarbeit herbeigeführt wird. Deswegen kann diese Summe von spezifischer Schlagarbeit, die zur Zerstörung des Körpers gerade ausreicht, auch als ein Maassstab für die Güte des Materiales gelten. Nennt man nach Kick (L 100) diejenige spezifische Arbeit, die den Bruch der Probe durch einen einzigen Schlag gerade herbeiführt, den Bruchfaktor des Materiales, so ist zu sagen, dass er für das Material und die gegebene Probenform eine Konstante ist, die das Material charakterisirt. Für diejenigen Materialien, die beim Stauchversuch nicht zu Bruche gehen, setzt man an Stelle des Bruchfaktors am besten diejenige spezifische Schlagarbeit ein, die den Körper um ein bestimmtes Maass, z. B. $-\varepsilon_s = 0,80$ zusammenstaucht. Ich möchte vorschlagen, diesen Begriff mit dem Namen Stauchfaktor zu belegen, aber in diesem Ausdruck der Einfachheit wegen den Bruchfaktor einzubegreifen. Dann ist also der Stauchfaktor diejenige spezifische Schlagarbeit in cmkg/ccm , die aufgewendet werden muss, um einen Körper bestimmter Grundform [Kugel, Würfel, Normalcylinder u. s. w.] durch einen einzigen Schlag gerade zum Bruch, oder auf $-\varepsilon_s = 0,80$ zu bringen.

Auch die Art und Form des Bruches ist dem Gesetz der Aehnlichkeiten unterworfen (L 100), wie aus Früherem vielleicht schon erkannt ist und aus Späterem sich bestätigen wird.

γ. Einfluss der Probenform.

248. Stauchversuche wird man ausschliesslich wohl für die Zwecke der Materialprüfung anwenden; selten wird die Aufgabe herantreten, den Stauchversuch zur Prüfung des Widerstandes eines Konstruktionsgliedes zu verwenden. Letzteres ist in der Charlottenburger Anstalt (L 155) bislang erst einmal vorgekommen, als es sich um Feststellung der Schlagarbeit handelte, welche zum Eintreiben eiserner Rohre als Spundwand angewendet werden konnte, ohne die Rohre zu beschädigen.

Bei den Versuchen zur Materialprüfung hat man selten einen Grund, andere als ganz einfache prismatische Körper zu benutzen, und zwar wird man in der Regel auf Würfel oder Cylinder von der Länge $l = d$ zurückgreifen, oder wenn ebenso wie bei den Druckversuchen verfahren werden soll, auf Cylinder von der Länge $l = \sqrt{f} = 0,886 d$. Die ersten beiden Formen seien auch hier als Normalkörper, die letzte als Proportionalkörper bezeichnet.

Auch die Untersuchung von röhrenförmigen prismatischen Körpern kann zuweilen geboten sein; sie hat in der Charlottenburger Anstalt z. B. bei Prüfung und Vergleichung von Mannesmann-Röhren mit anderen Fabrikaten recht gute Dienste geleistet.

249. Wenn nun im Allgemeinen auch die drei vorbeschriebenen Probenformen zu benutzen sein werden, so wird man sich doch davon überzeugen müssen, welchen Einfluss Abweichungen von diesen Formen auf das Ergebniss des Stauchversuches ausüben werden. Praktisch kommen hier in erster Linie etwaige Fehler im Längenverhältniss der cylindrischen Probekörper in Betracht.

Um diesen Einfluss festzustellen, führte ich einige Versuchsreihen mit Cylindern aus Kupfer und Walzmessing aus, bei denen bei gleichbleibendem

Durchmesser von 1,5 cm verschiedene Längen von 2,5 bis zu 0,2 cm benutzt wurden. Alle Körper sind dann mit gleicher Schlagarbeit, d. h. bei gleichbleibender Fallhöhe des Bären geprüft; sie wurden also entsprechend dem wechselnden Rauminhalt, mit verschiedenen spezifischen Schlagarbeiten für den Schlag gestaucht. Die Ergebnisse sind in den Figuren 186 für Kupfer und 187 für Messing u. s. w. dargestellt.¹⁾ In die Figur sind jedesmal, ausser den Linien gleicher Stauchung für Körper verschiedener Länge [ausgezogene Linien] auch die Linien gleicher Stauchung [gestrichelte Linien] für Normalkörper aus gleichem Metall eingetragen, die bei verschiedener

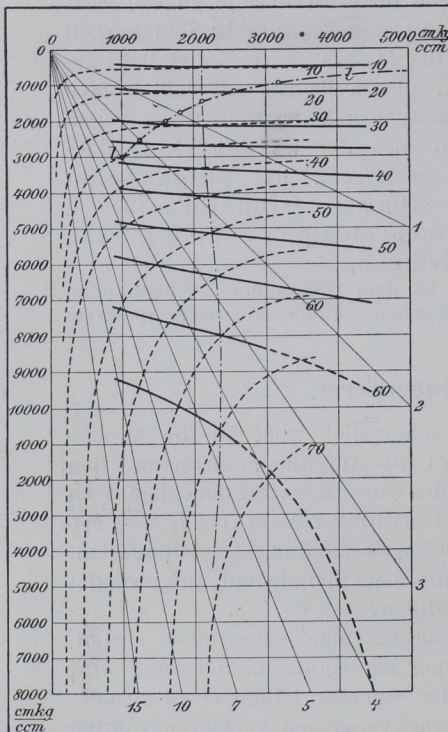


Fig. 186.
Stangenkupfer.

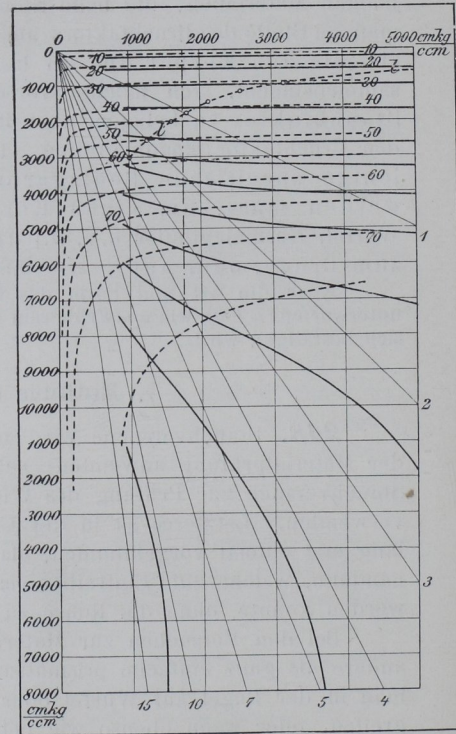


Fig. 187.
Walzmessing.

Staucharbeit gewonnen wurden. Die beiden, die Gesetze der Formänderung darstellenden, durch die ausgezogene und durch die gestrichelte Linienschaar gedachten gekrümmten Flächen müssen einander durchdringen, und die Spur beider Flächen ist in den Figuren 186 und 187 durch die feinen strichpunktirten Linien angedeutet; sie sollten in den beiden durch eine Figur dargestellten Versuchsreihen dem Normalkörper $d=l=1,5$ entsprechen, was mit hinreichender Annäherung der Fall ist, wenn man bedenkt, dass die Probekörper für die in Vergleich gestellten Metalle nicht aus den gleichen Stangen entnommen wurden. Ausser der Spur müssen die beiden idealen krummen Flächen jeder Figur aber auch noch die beiden

¹⁾ Nähere Angaben und die Zahlenwerthe findet man in der Quelle (*L 155*).

Grade in den Nulllinien [Linien Y und Z Fig. 180, S. 173] gemein haben. Denn für jeden Körper und jedes Material gilt, dass kein Schlag von beliebig grosser Einheitsleistung, oder beliebig viele Schläge von der Einheitsleistung Null, keine Formänderung am Probekörper hervorrufen können. Die durch die Linienzüge l verbundenen Kreise geben die angewendeten Probenlängen l an.

Aus den beiden Liniengruppen in den Fig. 186 und 187 sieht man, dass geringe Abweichungen in der vorgeschriebenen Länge $l=d$ bei den ersten Schlägen, d. h. bei geringen Stauchungsgraden sich weniger bemerkbar machen als bei stärkeren Stauchungen.

δ. Einfluss der Endflächen.

250. Da die Formänderung bei Stauchversuchen eine ganz ähnliche ist wie bei Druckversuchen, so ist einleuchtend, dass auch der Einfluss der Endflächen von ähnlicher Art sein muss wie bei den Druckversuchen. Um einigen Aufschluss über den Grad dieses Einflusses zu erlangen, habe ich Versuche mit Normalkörpern angestellt, bei denen die Endflächen rau gemacht, glatt bearbeitet oder eingölt waren. Der Einfluss der Reibung ging aus diesen Versuchen unverkennbar hervor, denn die Stauchung war bei den eingefetteten Körpern grösser als bei den Körpern mit rauher Endfläche.

Die Zahlenwerthe (*L 155*, S. 26) dieser wenigen Versuche gebe ich hier nicht an, weil sie des weiteren Ausbaues bedürfen.

ε. Messung der elastischen Stauchung.

251. Da es von Interesse ist, auch kennen zu lernen, wie gross die elastische Formänderung beim Stauchen ist, so wurde zunächst an Würfeln aus Gusseisen der Versuch gemacht, die bleibenden und elastischen Formänderungen festzustellen (*L 155*, S. 29). Auch diese Versuche bedürfen noch der Erweiterung. Ich will mich hier daher darauf beschränken, das Verfahren zu besprechen.

Wie früher schon angedeutet (*246*) zeigt sich Blei bei den Schlagversuchen als ausserordentlich wenig elastisch; ganz unelastisch ist es nicht, weil Bleikörper von geeigneter Form, z. B. Stimmgabeln, einen, wenn auch sehr gedämpften Ton geben.

Hat man an dem Körper, den man auf sein elastisches Verhalten prüfen will, einen Bleidraht befestigt, so dass seine Endflächen in gleicher Ebene mit den Endflächen des Körpers liegen, und führt nun den Versuch aus, so wird der elastische Körper beim Schlag eine grössere Stauchung erfahren, als man nach dem Versuch durch Ausmessen der Länge l_1 erkennen kann; er dehnte sich vermöge seiner Elasticität wieder aus, während der Bleidraht die unter dem Schläge angenommene Länge beibehält. Der Unterschied zwischen den Längen beider Körper giebt also die elastische Formänderung des Probekörpers an.

252. Ich will noch kurz hinzufügen, dass man auch ein angenähertes Maass für die elastische Formänderungsarbeit gewinnen kann, welche das Probestück und das Material des Schlagapparates bei jedem Schläge aufnehmen, also den Betrag, welcher jedesmal für die Erzielung der bleibenden

Formänderung am Probestück verloren geht. Diese Bestimmung kann geschehen, indem man die Höhe misst, um welche der Bär nach dem Schlage wieder aufgeworfen wird. Dass diese Arbeit nicht allein vom Probekörper geliefert wird, kann man leicht nachweisen, wenn man zwei gleiche Körper prüft, von denen man den einen jedesmal allen Schlägen des Bären aussetzt, die er beim Tanzen [Prellen] nach dem Schlage ausübt, während man den anderen sofort nach dem ersten Auftreffen des Bären mit Hülfe eines um den Körper geschlungenen Fadens herauszieht. Der erste Körper wird eine stärkere Stauchung erfahren als der zweite, ein Beweis dafür, dass die Arbeit des Bären, die er beim Zurückfallen aus der Aufwurfhöhe wiedergewinnt, immer noch ausreichend ist, um eine bleibende Formänderung zu erzielen. Dies könnte natürlich nicht der Fall sein, wenn der Bär nur durch die Elasticität des Probekörpers aufgeworfen würde.

ζ. Brucherscheinungen.

253. Die dehnbaren Metalle nehmen bei den Stauchversuchen mit Normalkörpern eine tonnenförmige Gestalt an, und wie beim Druckversuch erfolgt der Bruch in der Regel unter den folgenden Erscheinungen Fig. 188 [vergl. auch 125 und 127].

Bei manchen Materialien wird die Oberfläche nach den ersten Schlägen

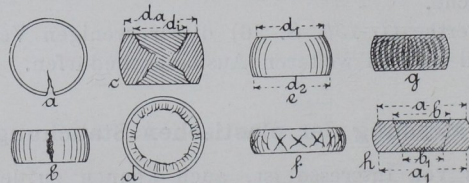


Fig. 188.

„krispelig“ (106, S. 67). In der matten Oberfläche lassen sich bei unhomogenem, gewalztem oder gezogenem Material wenn die Bearbeitungsrichtung parallel zur Probenaxe liegt, scharf begrenzte Streifen unterscheiden, welche den Längsnähten bei Zerreissversuchen (124, S. 81) entsprechen; sie verrathen, dass härtere und weichere, zuweilen auch porösere Stellen im Material vorhanden sind. Bei manchen Legierungen, z. B. unreinem Blei, bedeckt sich die Mantelfläche mit Runzeln von mehr oder minder Ausdehnung, so dass der Körper oft ein ganz unregelmässiges Aussehen erhält. Bei solchem Aussehen war meistens nachzuweisen, dass keine vollständige Legierung stattgefunden hatte.

Die Brucherscheinungen fallen, je nach den Materialeigenschaften, verschieden aus. Bei sehnigem Material pflegen sich eine oder mehrere Risse zu bilden, wie Fig. 188 *a* und *b* zeigen. Bei körnigem sprödem Material, z. B. Gusseisen, aber oft auch bei gewalztem Material, bilden sich an den Schlagflächen Materialkegel, welche den Ring herauschieben und vielfach zum Bruch bringen (vergl. Fig. 188 *c*). Bei vielen Körpern aus gleichmässig zähem Material zeigen sich auf der Mantelfläche diagonale Risse, die sich unter 45° zur Axe des Körpers kreuzen (Fig. 188 *f*). Die Andeutungen zu diesen Rissen erkennt man häufig schon ziemlich frühzeitig, indem sich auf der Mantelfläche lange vor dem Bruch eine ganz schwache diagonale

Furchung bildet. Diagonalrisse traten namentlich bei einem sehr zähen Geschützstahl auf. Von diesem Stahl wurde ein Körper, Fig. 188 *g*, der die Diagonalrisse noch nicht zeigte, mitten durchgesägt, polirt und geätzt; im reflektirten Licht erkannte man die in *g* angedeuteten, in Wirklichkeit allerdings schwer sichtbaren Streifungen, welche auf eine regelmässige zwiebelschalenförmige Lagerung im Material schliessen lassen.

254. Wenn man einen gestauchten Körper betrachtet, so fällt auf den Schlagflächen die Bildung einer Randzone auf, welche sich ziemlich scharf von der mittleren Kreiszone unterscheidet (Fig. 188 *d* und *c*). Die Kreiszone entspricht der ursprünglichen Endfläche (Durchmesser d_i) des Probekörpers; die radial gestreifte Randzone (äusserer Durchmesser d_a) dürfte hingegen Materialtheilchen enthalten, welche der ursprünglichen Mantelfläche angehörten.

Die voraufgehend beschriebenen Erscheinungen treten, wie gesagt, fast alle auch bei Druckversuchen auf. Bei Druckversuchen kommt die in Fig. 188 *e* dargestellte Erscheinung jedenfalls nicht so deutlich ausgeprägt vor, dass die Endflächen einen deutlichen Unterschied ihrer Durchmesser d_1 und d_2 besitzen.

255. Die Art der Zerstörungserscheinungen ist auch von der Form der Probekörper abhängig.

So bei Versuchen mit Rohrenden aus ziemlich hartem Stahl, die senkrecht zur Rohraxe so abgeschnitten waren, dass ihre Höhe gleich dem äusseren Durchmesser bleibt. Der Verlauf der Formänderungen war für die verschiedenen Abmessungsverhältnisse ganz charakteristisch unterschieden, er trat in ganz gleicher Weise ein bei Stauchversuchen und bei Druckversuchen, so dass einer bestimmten Höhenänderung für gleiche Körper immer nahezu die gleiche Form entsprach. Trotz seiner verhältnissmässig grossen Festigkeit, welche zum Theil von geringer Dehnbarkeit begleitet war, vertrug das Material die in Fig. 189 abgebildeten Formänderungen fast ganz anstandslos; nur wenige Proben bekamen bei den letzten Formen Risse.

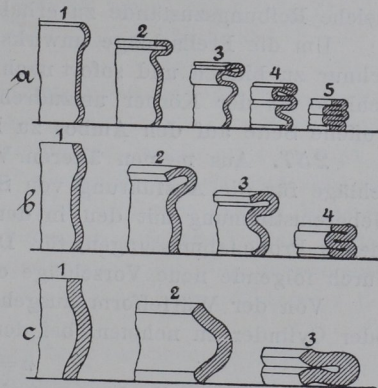


Fig. 189.

In Fig. 189 sind die drei beobachteten charakteristischen Formen für Rohrabstürze verschiedener Wandstücke angegeben. Die zugehörigen Beobachtungsergebnisse findet man in übersichtlicher Weise in der Quelle (*L 155* S. 40 u. f.) zusammengestellt. Aus letzteren ergab sich, dass auch bei diesen Prüfungen, die an nahezu geometrisch ähnlichen Körpern angestellten Versuche die besondere Form des Gesetzes der Aehnlichkeiten bestätigten, nämlich:

Geometrisch ähnliche Körper gleichen Materiales erfahren durch die gleiche Summe gleicher spezifischer Schlagarbeiten für den Schlag, geometrisch ähnliche Formänderungen (Fig. 189 *a—c*) und gleiche Stauchungen δ_s .

Die Proben, bei denen die Forderungen des Gesetzes der Aehnlich-

keiten einigermaßen erfüllt waren, zeigten ganz gut zusammenfallende Schaulinien. Das Verhältniss l zu w [Länge des Rohrabchnittes zur Wandstärke] scheint den allgemeinen Verlauf der Schaulinie und der Formänderung¹⁾ nach der Fig. $a-c$ zu bedingen.

η. Versuchsausführung.

256. Vor Beginn der Versuche ist das Fallwerk zu prüfen und zwar zunächst auf den Reibungswiderstand der Bärführungen nach Satz 20 Absatz 226. Dann ist zu untersuchen, ob Bärmitte und Ambosmitte in der gleichen Senkrechten liegen und ob die beiden Schlagflächen parallel zu einander sind, ferner ob beide Schlagflächen eben sind. Diese drei Prüfungen kann man leicht gemeinsam ausführen, wenn man mit einem Schlag einen hinreichend grossen Bleikörper staucht, so dass beide Schlagflächen sich vollständig abdrücken. Man stellt an dem geschlagenen Körper aus den Abdrücken fest, ob die Mittelpunkte beider Flächen über einander liegen, und durch Ausmessung der Dicke an vier am Umfang gelegenen Stellen und in der Scheibenmitte, ob die Scheibe durch parallele, ebene Flächen begrenzt ist. Die Schlagflächen am Ambos und Bären müssen öfter nachgeschliffen werden, daher diese Körper so konstruiert sein, dass diese Arbeit leicht und genau ausgeführt werden kann.

Die Schlagflächen und die Bärführungen sind vor den Versuchen mit einem mit Graphit bestaubten Lappen abzureiben, um immer möglichst gleiche Reibungszustände zu erhalten.

Um die Prellschläge unwirksam zu machen, sind die Körper an eine Schnur zu binden und sofort nach dem Schläge herauszuziehen; nach jedem Schläge ist der Körper umzudrehen, so dass die vorher vom Bären getroffene Seite auf den Ambos zu liegen kommt.

257. Aus meinen älteren Versuchen (*L 155*) leitete ich einige Vorschläge für die Ausführung von Stauchversuchen ab, die ich aber hier in Uebereinstimmung mit den in der Charlottenburger Anstalt angenommenen Probenabmessungen für Druck- und Stauchversuche mit Metallen durch folgende neue Vorschläge ersetzen möchte.

Von der Würfelform ausgehend, schlage ich vor, entweder Würfel oder Cylinder zu nehmen, bei denen

$$n = l\sqrt{f} = 1$$

ist und für den Fall, dass man die Normalform der Cylinder, d. h.

$$d = l$$

beibehalten will, diesen Cylindern den gleichen Körperinhalt, wie den in der nachfolgenden Tabelle 22 aufgeführten Würfeln, zu geben. Alsdann lassen sich bei Ausführung vieler Versuche manche Vereinfachungen in Versuchsausführung und Rechnung anbringen.

258. Die Stauchversuche sollen zur Feststellung des Stauchfaktors (247) dienen. Dementsprechend sucht man durch eine Reihe von Versuchen mit schwachen Schlägen die Summe der spezifischen Schlagarbeit auf, die den Bruch oder $-\epsilon_s = 0,80$ erzeugt. Man geht dann zu schwereren Schlägen über und wird jetzt eine geringere Schlagarbeit aufzuwenden

¹⁾ Neuerdings macht man von den Faltungsvorgängen bei der Formänderung von Rohren für die Flanschenbildung Gebrauch, indem man den Flansch nach Fig. 189c₃ bildet.

Tabelle 22. **Abmessungen der Probekörper für den Stauchversuch.**
(Abmessungen in cm.)

Körperinhalte in ccm	1,000	3,375	8,000	15,625	27,000	64,000	125,000
Würfelkante <i>l</i>	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	4,00	5,00
Proportional- cylinder	<i>l</i>	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	4,00
	<i>d</i>	1,13	1,69	2,26	2,82	3,39	4,51
Normalcylinder <i>l=d</i>	1,08	1,62	2,17	2,71	3,25	4,34	5,42

haben, bis man endlich durch einen einzigen Schlag das Ziel erreicht. Zu einer vollständigen Prüfung ist also immer die Ausführung mehrerer Versuche nothwendig, die man nun so einrichten wird, dass man den Charakter des Materials ausgiebig kennen lernt und zugleich die Arbeit möglichst abkürzt.

Nach meinem älteren Vorschlage sollten die Schläge so bemessen werden, dass von fünf zu prüfenden Körpern gleicher Form der erste mit $1a$, der zweite mit $2a$, der dritte mit $4a$ cmkg/ccm für jeden Schlag beansprucht wird. Als zweckmässige Wahl für die Zahlenwerthe von a wurde angegeben für:

1. Stahl zwischen 5000 und 8000 at Festigkeit $a = 1000$ cmkg/ccm,
2. schmiedbares Eisen, Gusseisen, Kupfer und Legirungen mittlerer Härte $a = 250$ „
3. Weichmetalle $a = 25$ „

Die beiden übrigen Körper sollten dann auf Grund der bei den drei vorausgehenden Versuchsreihen gewonnenen Erfahrungen mit je einem Schläge geprüft werden, so dass der Stauchfaktor gerade erreicht wird.

259. Die Versuchsausführung nach diesem Plane erfordert aber eine grosse Zahl von Schlägen. Zur Abkürzung des Verfahrens schlug deswegen Kirsch eine andere Auswahl für die jedesmal aufzuwendenden Schlagarbeiten vor, und zwar sollte, unter Zugrundelegung der oben angegebenen Werthe von a und wenn Z_1, Z_2 und Z_3 die Nummer des Schlages in den Reihen 1, 2 und 3 bedeutet,

Körper 1 mit wachsender Schlagarbeit für jeden Schlag geprüft werden, so dass die specifische Schlagarbeit für den Schlag sich ergibt aus $Z_1 a$ cmkg/ccm.

Körper 2, ausgehend von der specifischen Schlagarbeit $Z_1 a$ für den letzten Schlag der Reihe 1, mit wachsender Schlagarbeit für jeden Schlag nach der Vorschrift:

$$Z_1 a + (Z_2 - 1) a.$$

Körper 3, ausgehend von der specifischen Schlagarbeit für den letzten Schlag der Reihe 2, mit wachsender Schlagarbeit für jeden Schlag nach der Vorschrift:

$$(Z_1 a + [Z_2 - 1] a) + (Z_3 - 1) a$$

geprüft werden u. s. w.,

bis Bruch oder $\epsilon_s = 0,80$ durch einen Schlag erzielt wird.

Bei diesem Verfahren wird zwar eine Verminderung der Gesamtschlagzahl erzielt, aber man kommt nicht mehr mit fünf Körpern aus,

wenn man sich streng an die Vorschriften hält. Deswegen suchte ich beide Verfahren zu kombinieren und schlug für die Verhandlungen der Züricher Konferenz zur Vereinbarung einheitlicher Prüfungsverfahren folgende andere Maassnahmen vor, nämlich zu prüfen:

Vorschrift a.	Vorschrift b.
Körper 1 nach $Z_1 a$	oder $Z_1 a$.
Körper 2 nach $Z_2 2a$	oder $0,5 \sum Z_1 a + (Z_2 - 1) a$ ($0,5 \sum Z_1 a$ aus der ersten Reihe).
Körper 3 nach $Z_3 4a$	oder 1 Schlag zur Erzeugung von Bruch oder $-\epsilon_s = 0,8$ (nach Schätzung von $Z_3 a$ aus Reihe 2).
Körper 4 und 5	1 Schlag zur Erzeugung von Bruch oder $-\epsilon_s = 0,8$, nach Schätzung aus den voraufgehenden Reihen.

Um die genannten vier Vorschläge zu erproben, liess ich nach allen eine Anzahl von Versuchen an Körpern gleicher Abmessung aus verschie-

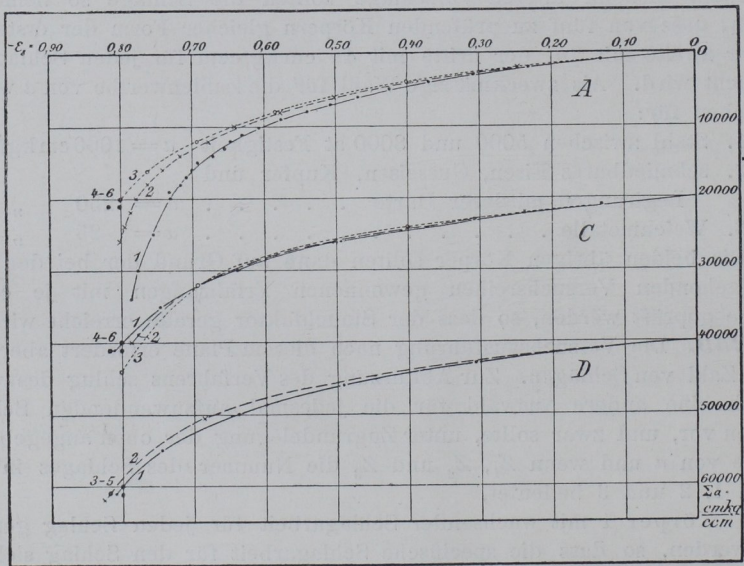


Fig. 190.

denen Materialien durchführen und fand hierbei unter Anderem die in Fig. 190 und Tab. 23 dargestellten Ergebnisse.

Hiernach empfehle ich für die Stauchversuche in Zukunft das Verfahren unter C oder D anzuwenden und ergänze meine alten Vorschläge über die Wahl von a :

1. für Weichmetalle (Blei u. s. w.) $a = 25 \text{ cm kg/cm.}$
 2. für Gusseisen $a = 250 \text{ „}$
 3. für Kupfer, Bronzen, weiche Legierungen $a = 500 \text{ „}$
 4. für Eisen und festere Metalle $a = 1000 \text{ „}$
- Muss in besonderen Fällen a grösser als 1000 cm kg/cm gewählt

Tabelle 23.

Vergleichung von 4 Vorschlägen für die Ausführung von Stauchversuchen.

Es bedeutet: Z die Nummer des Schläges; Σa die Summe der spezifischen Schlagleistungen aller Schläge in cmkg/cem .

Körper No.	Nach dem Vorschlage von NN wird $a =$			
	Martens (ursprünglich) A	Kirsch B	Martens-Kirsch, vereinigt	
			C	D
1	$1a$	$Z_1 a$	$Z_1 a$	$Z_1 a$
2	$2a$	$Z_1 a + (Z_2 - 1)a$	$Z_2 2a$	$0,5 \Sigma Z_1 a + (Z_2 - 1)a$
3	$4a$	$(Z_1 a + (Z_2 - 1)a) + (Z_3 - 1)a$	$Z_3 4a$	1 Schlag
4	1 Schlag	u. s. f.	1 Schlag	1 Schlag
5	1 Schlag		1 Schlag	1 Schlag

Die Versuchsreihen werden durchgeführt bis Bruch (Rissbildung oder andere Zerstörungserscheinungen) eintritt, oder bis $-\varepsilon_s = 0,80$.

Vergleichende Versuche ergaben:

a) allgemein:	Die Schlagzahl für die ganze Prüfung ist reichlich gross	Bei strenger Durchführung wird die Zahl der erforderlichen Probekörper gross	Beide Verfahren kürzen ganz wesentlich ab und können mit 5 Probekörpern sicher durchgeführt werden.	
b) Prüfungen von Flusseisen: $\sigma_B = 5400$ at an $l = d = 1,30$ cm u. $a = 1000 \frac{\text{cmkg}}{\text{cem}}$ ergaben:	Erforderliche Schlagzahl für die ganze Prüfung 55 Schläge	Wurde nicht festgestellt	Erforderliche Schlagzahl für die ganze Prüfung 15 Schläge 11 Schläge	

werden, so empfiehlt es sich, ein Vielfaches von $500 \text{ cm kg}/\text{cem}$ anzuwenden.¹⁾

Stauchversuche mit anderen Materialien als Metallen sind bisher wenig ausgeführt, aber es ist sehr wahrscheinlich, dass sie zu werthvollen Aufschlüssen führen würden, z. B. bei Gesteinen (*L 156*, S. 50), Bindemitteln, Mörteln u. s. w. Für diese Art von Versuchen lassen sich daher bestimmte Ausführungsvorschläge noch nicht machen.

¹⁾ Man hat in Zürich (Konferenz 1895) bemängelt, dass keine bestimmten Vorschriften für die Faktoren \S und G gemacht worden sind. Damit wäre die Sache unnötig erschwert worden. Diese Vorschriften erscheinen auch unnötig, weil man die Stauchversuche mit so kleinen Körpern, wie sie hier vorausgesetzt sind, schwerlich auf einem grossen Fallwerk ausführen würde, weil ausserdem die Fallhöhe \S wegen der Gebäudehöhen fast immer ein engbegrenzter Werth ist.

4. ZerreiBversuch.

260. ZerreiBversuche mit dem Fallwerke sind meines Wissens zuerst von dem österreichischen General Uchatius zur Erprobung von Materialien angewendet. Sie sind im Allgemeinen sehr wenig üblich und werden in der Praxis bisher wohl nur zum Probiren von Schraubenbolzen zur Befestigung der Panzerplatten am Schiffskörper regelmässig benutzt. Dass die Wissenschaft sich ihrer besonders warm annehmen wird, ist auch nicht recht zu erwarten, weil es ausserordentlich schwer sein wird, ein Fallwerk für ZerreiBversuche so zu konstruiren, dass der Theil der Arbeitsleistung, der wirklich an das Probestück abgegeben wird, sich einigermaßen klar übersehen lässt. Man kann den Schlag nicht unmittelbar auf das Probestück wirken lassen, braucht vielmehr Zwischenkonstruktionen, die einerseits das Probestück mit dem Ambos fest verbinden und die andererseits den Schlag des Bären aufnehmen und auf das Probestück übertragen. Ich will daher an dieser Stelle nochmals kurz auf den Abs. 230 und 232 verweisen und auf die Arbeiten der Versuchsanstalt zu Charlottenburg über Schlagversuche mit Drahtseilen und Drahtseilverbindungen aufmerksam machen, die in den „Mitth. Berlin“ (*L 153*) veröffentlicht sind.

261. Die Charlottenburger Anstalt hat mehrfach Gelegenheit

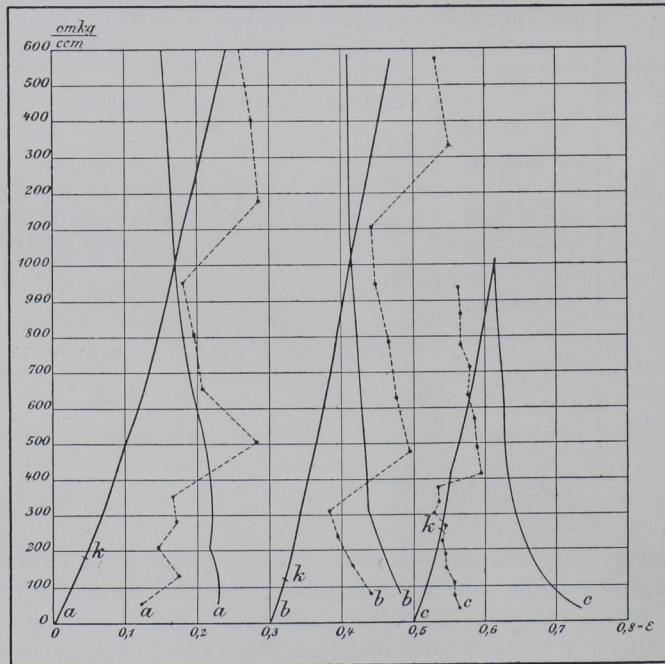


Fig. 191.

gehabt, FallzerreiBversuche mit Normalrundstäben (2,0 cm Durchmesser $l = 11,3 \sqrt{f}$) aus Flusseisen und Bronzen auszuführen. Einzelne Versuchsreihen wurden benutzt, um in Fig. 191 und 192 zu zeigen, wie man etwa die Schaulinien für einen FallzerreiBversuch nach den früher (252) entwickelten Grundsätzen aufzutragen hat.

In Fig. 191 sind drei Versuchsreihen *a*, *b* und *c* aufgetragen, die mit Aluminiumbronzen von verschiedener Zusammensetzung gewonnen wurden, während Fig. 192 die Schaubilder für Flusseisen [Linien *d*] und die Linien *a* bis *c* für die Bronzen in anderem Maassstabe enthält. Die Auftragungen geschahen derart, dass in den stark ausgezogenen Linien die Summe der specifischen Schlagarbeiten *a* in cmkg/ccm^1 , die das Material aufgenommen hat, als Ordinaten und die hierdurch erzielten Dehnungen ϵ der Längeneinheit als Abscissen aufgetragen wurden [also nach den Richtungen *X* bez. *Y*, Fig. 180, S. 173]. Die feinen gestrichelten, mit gleichen Buchstaben versehenen Linien stellen die für jeden Schlag erzielten ϵ in zehnfachem Maassstabe dar. Aus ihnen geht hervor, dass die Prüfung der Bronzen in drei bez. zwei Stufen mit verschiedenen specifischen Schlagarbeiten für den Schlag erfolgte; man erkennt leicht, dass innerhalb der Gruppen die Wirkung der folgenden Schläge abnimmt; die $\Delta\epsilon$ werden kleiner, gerade so wie bei den Stauchversuchen.

Die charakteristischen Unterschiede im Material können, ähnlich wie früher (34, S. 18) bei den ZerreiBversuchen durch die Dehnungszahl *a*, so auch hier durch die Dehnung a_s gekennzeichnet werden, die durch die Arbeitseinheit erzielt wird; nur muss man hierbei immer im Auge behalten, dass diese Werthe [wie ja aus den Linien für $\Delta\epsilon$ einleuchten muss] von den Umständen, unter denen der Versuch ausgeführt wurde, abhängig sind. In Fig. 191 und 192 sind die betreffenden Werthe als fein ausgezogene Linien eingetragen. Die aus den Figuren für diese Werthe entnommenen Ablesungen sind mit 10^{-3} zu multipliciren, d. h. der Werth 0,1 bedeutet $a_s = \epsilon/a = 0,0001$.

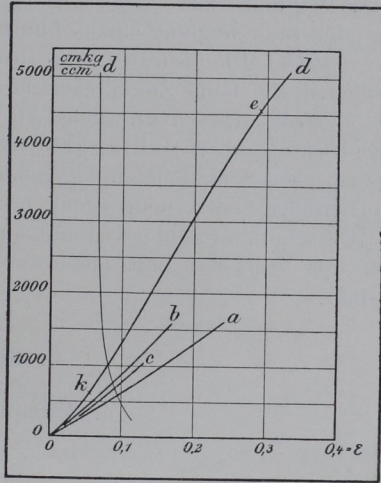


Fig. 192.

262. In Absatz 261 wurde bereits angedeutet, dass bei den FallzerreiBversuchen in verstärktem Maassstabe die Nebenumstände, unter denen der Versuch ausgeführt wird, zur Wirkung kommen. Will man daher vergleichbare Versuchsergebnisse erzielen, so wird es immer am zweckmässigsten sein, mit ganz gleichen Apparaten, mit gleichen Stabformen und Abmessungen sowie unter den gleichen Versuchsbedingungen zu arbeiten, denn es würde sehr umständlich und theuer werden, wenn man die Gesetze für die einzelnen Einfüsse in gleicher Weise studiren wollte, wie es für den Stauchversuch geschehen ist. Man wird aber aus dem hier Gesagten den Schluss ziehen müssen, dass es beispielsweise nicht genügt, in den Vorschriften für die Prüfung von Panzerbolzen lediglich Bestimmungen über Probenform und Versuchsausführung zu treffen, man muss vielmehr auch Vorschriften über alle Theile des Fallwerkes machen,

¹⁾ Der Inhalt des Probestabes ist hier nur für den cylindrischen Stabtheil berechnet worden; in Wirklichkeit nimmt aber auch ein Theil der kegelförmigen Uebergänge an der Formänderung theil.

wenn man die verschiedenen Lieferanten gleich behandeln will, und die Lieferanten werden gut thun, bei etwaigen Kontrollversuchen an anderen Orten sich davon zu überzeugen, dass sie bei diesen Versuchen nicht benachtheiligt sind.

263. Nach den bisher in der Charlottenburger Anstalt ausgeführten Fallzerreissversuchen habe ich die Ueberzeugung gewonnen, dass die Formänderungen beim Fallzerreissversuch genau so verlaufen, wie beim Zerreibversuch unter ruhiger Last. Ja, scheinbar ist die Formänderungsfähigkeit gewisser Materialien, z. B. des Flusseisens, auch beim Zerreiben durch einen einzigen Stoss nicht beeinflusst; beim Zerreiben durch mehrere Stösse fand man die Dehnung oft grösser als beim Zugversuch. Diese Beobachtung lässt sich aber nicht auf alle Materialien übertragen. In den Fig. 191 und 192 bedeutet das Zeichen *k*: „der Stab wird krispelig“ und *e*: „der Stab beginnt einzuschnüren“.

264. Die Brucherscheinungen beim Fallzerreissversuch sind die gleichen wie beim Zugversuch unter ruhiger wirkender Belastung.

265. Als Gütemaassstab beim Schlagzerreissversuch kann entweder die Summe der Schlagarbeiten einer Anzahl Schläge von bestimmter spezifischer Schlagleistung genommen werden, die den Bruch der Probe herbeiführt, oder man sucht noch zweckmässiger den Bruchfaktor für Zerreiben unter Schlagwirkung auf, d. h. diejenige spezifische Schlagarbeit, die den Probestab mit einem einzigen Schläge gerade noch zum Bruch bringt.

5. Biegeversuch.

a. Versuchsausführung.

Allgemein.

266. Der Biegeversuch unter dem Fallwerk ist eins der ältesten Versuchsverfahren. Er wird meistens so ausgeführt, dass man den Probekörper über zwei Stützen legt und den Bären in der Mitte zwischen beiden Stützpunkten auftreffen lässt. Die zur Erzeugung des Bruches oder einer bestimmten Durchbiegung erforderliche Schlagzahl *z* oder die hierzu erforderliche Schlagarbeit $zA = z h G$ in cm kg wird gemessen.

Die Art der Formänderungsmessung richtet sich nach der Art und Form der Probe. An balkenförmigen Körpern stellt man die Durchbiegung δ in der Mitte fest. Hierbei werden in der Praxis mehrere Messverfahren befolgt, die von einander abweichende Ergebnisse liefern.

267. In der Charlottenburger Versuchsanstalt wird in Uebereinstimmung mit dem in vielen öffentlichen Anstalten benutzten Bauschingersehen Messverfahren für Biegeversuche (180 S. 131) die Messung an drei Punkten *a a₁ a* Fig. 193 ausgeführt, von denen *aa* vor dem Versuch in einer Entfernung gleich der Stützweite und *a₁* in der Mitte dazwischen, in die Linie der Staboberfläche eingeschlagen werden, die der neutralen Faserschicht des Stabes entspricht. Man misst mit einem stangenzirkelartigen Dreispitzzirkel die Länge l_1 der Sehne *aa* und die Entfernung δ_1 des Punktes *a₁* von der Sehne *aa*.

268. Den theoretischen Entwicklungen der Festigkeitslehre würde es mehr entsprechen, wollte man das zweite Messverfahren benutzen und

die gleiche Messung von den Punkten cc über den Auflagern aus vornehmen, so dass also die Sehnenlänge stets $cc=l$ bliebe und die Entfernung δ des Punktes a_1 von der Sehne cc gemessen würde.

Da in der That aber die Auflagern nicht mit scharfen Kanten ausgeführt werden dürfen, weil sie sonst sehr schnell zerstört werden oder das Probestück beschädigen würden, so wird bei Biegung der Probe die Stützweite thatsächlich immer verkleinert und zwar um so stärker, je grösser die Abrundung des Auflagers ist, wie aus Fig. 194 hervorgeht. Also auch dieses zweite Messverfahren würde keine der theoretischen Anschauungsweise streng entsprechenden Ergebnisse liefern. Ausserdem verliert die Messung der Durchbiegung für den Konstrukteur praktisch an Werth, je mehr die bleibende Formänderung Geltung bekommt.

Für die Materialbeurtheilung, die immer nur eine vergleichende

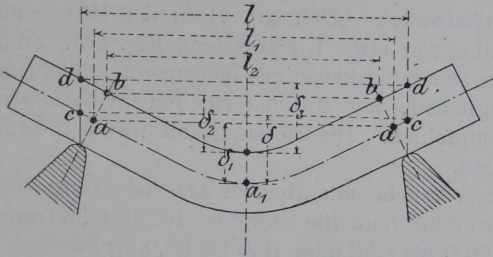


Fig. 193.

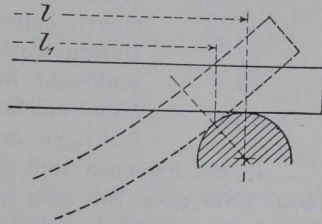


Fig. 194.

sein wird, ist der gemachte Fehler von minderer Bedeutung; es kommt nur darauf an, dass stets das gleiche Verfahren benutzt wird.

In der Praxis pflegt man daher die beiden folgenden einfacheren Verfahren anzuwenden.

269. Beim ersten Verfahren legt man ein Richtscheit von der Länge l auf die obere Fläche der Probe, so dass seine Ecken in die Punkte dd , Fig. 193, fallen, und misst den Abstand δ_3 der Oberfläche von der Mitte der stets gleich langen Sehne dd . Zuweilen wird auch in einer Schnur durch zwei Knoten der Abstand l bezeichnet und δ_3 von der über dd gespannten Schnur ausgemessen. Die Eisenbahnverwaltungen schreiben ein Richtscheit von der Länge l vor, in dessen Mitte ein Schieber die Grösse δ_3 anzeigt.

270. Beim zweiten Verfahren bezeichnet man an der oberen Körperfläche die Punkte bb so, dass sie am geraden Stücke den Abstand $bb=l$ haben, und misst nachher den Abstand δ_2 an einer über bb ausgespannten Schnur.

Wenn nichts Besonderes gesagt ist, soll in diesem Buche bei Mittheilung der Biegemessungen von Fallversuchen immer das unter Absatz 269 mitgetheilte Messverfahren vorausgesetzt werden.

Prüfung von Eisenbahnmaterialien.

271. Seitdem die Eisenbahnen sich den Fallversuchen wieder zugewendet haben, haben diese Versuche eine erhöhte Bedeutung gewonnen, und deshalb seien hier in einem besonderen Abschnitt diejenigen Vorschriften

mitgeteilt, welche die deutschen Eisenbahnverwaltungen für die Ausführung von Fallversuchen zur Erprobung von Eisenbahnbau- und Betriebsmaterialien aufgestellt haben.

Der wesentliche Inhalt ist etwa folgender:

1. Der Ursprung, das Material, die Hauptabmessungen und die Querschnittsform des Körpers sind genau anzugeben.

2. Für Schienen ist die Stützweite $l=1^m$ und die ganze Länge $L=1,3^m$ [die Probe soll keine Laschenlöcher enthalten], für Axen ist $l=1,5^m$ zu nehmen.

3. Die Durchbiegung von Axen und Schienen soll an der oberen Fläche gemessen werden, und zwar immer in Bezug auf die ursprüngliche Entfernung der Auflagerpunkte [das ist also das in Abs. 268 besprochene Messverfahren]. Damit an der betreffenden Stelle das Probestück nicht gestaucht werde, erhalten die Aufsatzstücke (226, No. 9) in der Mitte eine eingehobelte Nuthe von etwa $1,3^m$ Breite¹⁾, Fig. 195. Zum Messen wird ein stangenzirkelartiges Instrument mit einem senkrecht beweglichen, mit Millimetertheilung versehenen Mittelschieber empfohlen. Die Messung soll nach jedem Schlage erfolgen.

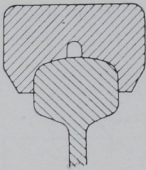


Fig. 195.

4. Bei Schienen sind Schlagversuche mit gleicher Arbeitsleistung von 1500, 1000 oder 750 mkg zu prüfen, wenn die Gewichte für das laufende Meter mehr als 23,8, zwischen 20,0 bis 23,8 oder 16,0 bis 20,0 kg betragen; bei Axen mit Arbeitsleistungen von 3000 mkg auszuführen, und zwar sollen die Schläge in beiden Fällen auf dieselbe Seite des Probestückes erfolgen. [Es war früher auch gebräuchlich, das Stück nach jedem Schlage um 180^0 zu drehen.]

Lokomotivaxen sind mit 5600 mkg [$7^m \times 800$ kg], Tenderaxen mit 4200 mkg [$7^m \times 600$ kg] zu prüfen.²⁾

5. Bei Radreifen [die aufrechtstehend unter das Fallwerk gebracht werden] soll die anzuwendende Arbeitsleistung 3000 mkg betragen [Aufsatzstücke, Abs. 226, No. 9]; nach jedem Schlage ist sowohl die Verminderung des senkrechten als auch die Vergrößerung des wagerechten lichten Durchmessers mittelst Schiebertaster, da mit Millimetertheilung versehen ist, zu messen.

6. Bei etwa einem Drittel der Probestücke ist die Schlagprobe bis zum Bruch fortzusetzen; nöthigenfalls ist der Bruch bei den Schienen, Axwellen und Radreifen durch Einkerbung derselben herbeizuführen.

7. Ungewöhnliche Erscheinungen in der Formänderung des Probestückes und am Bruche sind eingehend zu untersuchen und aufzuschreiben, ebenso ist der Wärmezustand der Probe während des Versuches niederzuschreiben.

8. Endlich wird noch vorgeschrieben, dass neben den Fallversuchen auch Zerreißversuche anzustellen sind, zu denen die Proben aus den bei

¹⁾ Die Bedingungen für Schienenlieferungen von 1896 erwähnen diese Nuthe nicht mehr.

²⁾ Hier sind, abweichend von dem sonst angenommenen Grundsatz, nicht die mkg, sondern die Einzelfaktoren G und H vorgeschrieben, und zwar so, dass eine Auswechslung des Bären stattfinden muss, wenn von der Prüfung der Lokomotivaxen auf Tenderaxen übergegangen werden soll.

den Schlagversuchen am wenigsten verbogenen Stellen zu entnehmen sind. Die aus den Radreifen entnommenen Proben dürfen aus den bei möglichst schwacher Erwärmung gerade gerichteten Stücken der am wenigsten verbogenen Stellen kalt herausgearbeitet werden.

9. Um einen Ueberblick über die Anstrengungen und namentlich über die Formänderungsfähigkeit des Materiales zu gewinnen, sollen an den Stellen stärkster Biegung die Dehnbarkeit und Zusammendrückbarkeit des Materiales an Theilungen festgestellt werden, die vor dem Versuch an diesen Stellen angebracht wurden. Bei den Schienen soll also in der Mitte des Kopfes mit einem Stahlbandmaass eine Centimetertheilung aufgetragen werden, Fig. 196. Nach dem Versuch ist dann an dieser Theilung die Dehnungs- oder Stauchungsgrösse durch Ausmessen der Längen a , b , c u. s. w. zu bestimmen. Die Aussparung von 1,3 cm Breite in dem Aufsatzstück [Satz 3, S. 190, Fig. 195] hat zugleich den Zweck, diese Theilung vor der Vernichtung zu schützen.¹⁾

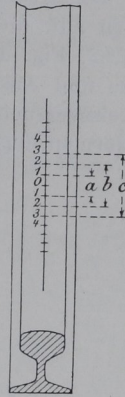


Fig. 196.

β. Fließ- und Brucherscheinungen.

272. Wie beim Zerreißversuch (106—112, S. 67 u. 73) machen sich auch beim Biegeversuch und beim Schlagbiegeversuch bei Ueberschreitung der Streckgrenze des Materiales an der Staboberfläche Fließerscheinungen bemerkbar. Da beim Biegeversuch die Streck- oder die Quetschgrenze immer nur örtlich beschränkt an den Stellen grösster Inanspruchnahme überschritten wird, so kann man aus der genauen Verfolgung der Erscheinungen beim Fließen oft einen Anhalt über die wirklichen Spannungsvertheilungen gewinnen und kann namentlich über die Inanspruchnahmen von Bruchstücken eines Konstruktionstheiles zuweilen Aufschluss über die Bruchursachen bekommen. Wenn auch die Studien über die Fließerscheinungen noch lange nicht zum Abschluss geführt sind, so erscheint es doch zweckmässig, auf diese Vorgänge aufmerksam zu machen, um zur weiteren Verfolgung anzuregen (L 120, 122).

273. Wenn ein blank bearbeiteter Stab aus weichem Flusseisen bleibende Durchbiegung erfährt, so bedeckt er sich in der Mitte mit flammenförmigen geästelten Figuren, Fig. 197, die zwei halbmondförmige Höfe bilden. Diese Höfe nähern sich einander in der neutralen Faserschicht, wo meistens ein mehrere Millimeter breiter Raum unverändert bleibt, ein Zeichen dafür, dass in der Nähe der neutralen Faser auch bei starken Verbiegungen die Streckgrenze nicht erreicht wird (Tab. 2, Fig. 41).

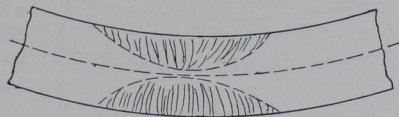


Fig. 197.

274. Bei Schienen und anderen noch mit der Walzhaut behafteten Stäben wird die Walzhaut, ebenso wie bei den Zerreißversuchen, an den Stellen abgeworfen, wo Strecken eintritt. An solchen Stücken kann man

¹⁾ In den 1896 für die Lieferung von Schienen für die preussischen Staatsbahnen ausgegebenen Lieferungsbedingungen fehlen diese Vorschriften.

die Flusserscheinungen zuweilen sehr deutlich sehen, Fig. 198. Es bilden sich wiederum die beiden halbmondförmigen Höfe aus, aber zugleich treten aus den Zwickeln zwischen ihnen strahlenförmig angeordnete gebogene Linien auf, die von anderen Liniengruppen senkrecht durchschnitten werden (Taf. 2, Fig. 42). Diese Linien geben einen Hinweis auf die Entstehungsweise und Ausbildung der Höfe und bekunden, wie es sich schon bei den Zerreißversuchen (107, S. 68) ergab, dass das Strecken nicht lückenlos, sondern sprungweise in einzelnen Flächen des Körpers stattfinden muss, indem

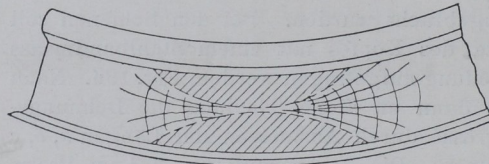


Fig. 198.

gewisse in regelmässiger Folge geordnete Körpertheile eine Verschiebung gegeneinander erfahren. Hierdurch kommen jene regelmässig angeordneten und sich unter rechten Winkeln kreuzenden Linien zustande. Die beiden halbmondförmigen Höfe entstanden in gleicher Weise, nur liegen in ihnen die Linien bereits so eng aneinander, dass fast aller Zunder [Walzhaut] abgesprungen ist, wenn die letzten Strahlen in den Zwickeln sich bilden. Auch über den Auflagern bilden sich ähnliche Linienschaaren, die in jene Strahlen zwischen den Zwickeln übergehen (L 120).

Das genauere Studium dieser ausserordentlich gesetzmässigen Erscheinungen dürfte sich empfehlen, wobei namentlich darauf zu achten sein wird, wie sich die Flusseisensorten verhalten, bei denen die Streckgrenze durch einen plötzlichen Uebergang ausgezeichnet ist, wie Fig. 4 Absatz 38 S. 21 zeigt, gegenüber denjenigen Sorten, bei denen dieser plötzliche Uebergang nicht vorhanden ist. Diese Materialien müssen wohl in ihren Flusserscheinungen charakteristische Unterschiede geben. Ich will hier nur wiederholt andeuten, dass man ja vielfach die Vermuthung aussprach, dass diese Flussvorgänge auch mit Aenderungen des chemischen und physikalischen Zustandes des Eisens verknüpft sind (L 158 und 120). Es ist auffallend, wie leicht solche geflossenen Stellen rosten, so dass zuweilen die Flussfiguren erst durch das nachträgliche Rosten klar erkennbar werden (L 159).

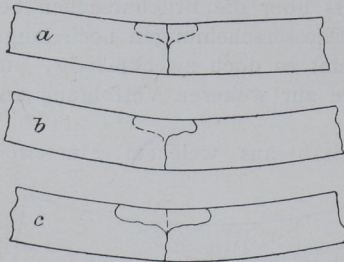


Fig. 199.

275. Auch die Brucherscheinungen und die Bruchformen bei Schlagbiegeversuchen stimmen genau mit denen überein, die man bei Biegeversuchen unter ruhender Last bekommt. Bei prismatischen Stäben von Flusseisen tritt z. B. der Bruch je nach der Gefügeart des Materiales verschieden auf. Am meisten findet man die in Fig. 199¹⁾ dargestellten Fälle

- a) gerader ebener Bruch,
- b) zackiger Bruch,
- c) dreitheiliger Bruch.

¹⁾ Vergleiche auch die von Bach gegebenen Abbildungen (L 138, 1888, S. 1092 Fig. 1—3) von Gusseisen.

Die ersten beiden Bruchformen kann man als aus der dritten entstanden ansehen, vergl. die punktirten Linien in Fig. *a* bis *c* und (Taf. 2, Fig. 27 und 28).

Das in diesen Bruchformen steckende Gesetz wird noch klarer, wenn man die Bruchformen zusammenstellt, die bei Schlagbiegeversuchen mit Eisenbahnschienen sich ergeben (*L 122*).

In Fig. 200 *A* sind alle regelmässig vorkommenden Bruchformen enthalten; die Hauptformen sind in Fig. *B* bis *E* besonders dargestellt. Man sieht, dass der Bruch ziemlich genau den Grenzen jener halbmondförmigen Zonen zu folgen scheint. Der ideale Bruch, wie er in Fig. *A* gezeichnet ist, müsste vier Bruchstücke liefern. Zuweilen kommen wirklich alle Bruchstücke zu Stande, in der Regel jedoch bleibt der eine oder der andere Zwickel an den Hauptbruchstücken *a* und *b* sitzen, und dann entstehen die in Fig. *B* bis *E* gegebenen Bruchformen. Bilden sich einmal die Stücke *c* und *d* vollkommen aus, so erkennt man an ihnen fast immer das Bestreben, sich nach den punktirten Linien nochmals zu trennen. Findet der Bruch rein nach der geraden punktirten Linie statt, so dass $c/2$ und $d/2$ an *a* und *b* haften bleiben, so hat man einen und *b* haften bleiben, so hat man einen und glatten (ebenen) Bruch, der in der Charlottenburger Anstalt auch als Bruch senkrecht zur Axe bezeichnet wird. Bleibt das Kopf- und Fussstück *c* oder *d* an *a* oder an *b* hängen, so hat man zackigen Bruch oder Bruch schief zur Axe. Eine besondere Form hiervon bildet Fig. *D*, bei welcher $c/2$ fehlt und $d/2$ vorhanden ist. Unter Umständen werden aus dem Fuss der Schiene noch zwei Zwickel *e* herausgebrochen, die ebenfalls nach den punktirten Linien Anbrüche zu haben pflegen (Taf. 2, Fig. 31—41 und 43).

276. Auch die Bruchlinien, wie sie bei den Zerreißversuchen vorkommen (*121*, S. 79), finden sich an allen Brüchen, die von Biegeversuchen und Schlagbiegeversuchen herrühren. Man erkennt sie am deutlichsten bei feinkörnigen Materialien. Tafel 2, Fig. 27, 28 und 31 zeigen solche bei Biegeversuchen entstandenen Bruchflächen. Man erkennt, dass auch hier, ebenso wie in Fig. 80, S. 79, die Bruchlinien von einem Punkte in der gezogenen Fläche ausstrahlen und über die ganze Bruchfläche verlaufen, indem sie sich schliesslich nahezu senkrecht zu den Staboberflächen stellen. Die Bruchflächen bilden dann mehr oder minder deutliche gebogene concentrische Wellen; in den Thälern werden die Bruchlinien schärfer und deutlicher ausgeprägt; auf den Wellenbergen pflegen sie sich zu spalten. Die Einzelheiten dieser Erscheinungen treten aber noch deutlicher bei den Bruchflächen auf, die bei Ausführung von Dauerversuchen gewonnen werden. Deshalb soll hierauf erst in dem Abschnitt *i*, der von den Dauerversuchen handelt, eingegangen werden.

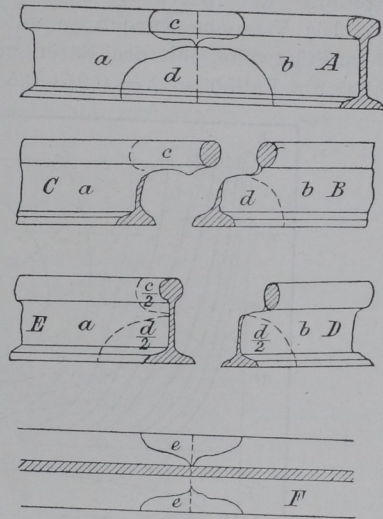


Fig. 200.

γ. Einfluss der Geschwindigkeit.

277. Wie bei den Stauchversuchen (242, S. 170) hervorgehoben wurde, hat Kiek (*L 100*) Versuche mitgeteilt, aus denen er ableitete, dass die Fallgeschwindigkeit nur einen unwesentlichen Einfluss auf die Grösse der Formänderung habe.

Rotter hat mehrere Reihen von Schlagbiegeversuchen an kleinen Körpern ausgeführt, die benutzt werden können, um zu erforschen, ob etwa auch für Biegeversuche die Kicksche Wahrnehmung zutrifft. Die Ergebnisse der Rotterschen Versuche sind in Fig. 201 dargestellt.

Die Versuche wurden an unter sich ganz gleichen Probekörpern, bei 20 cm Stützweite, mit drei Bären von 10, 20 und 40 kg Gewicht ausgeführt, wobei die Fallhöhen $h = 0,25; 0,5$ und $1,0$ m zur Anwendung kamen und

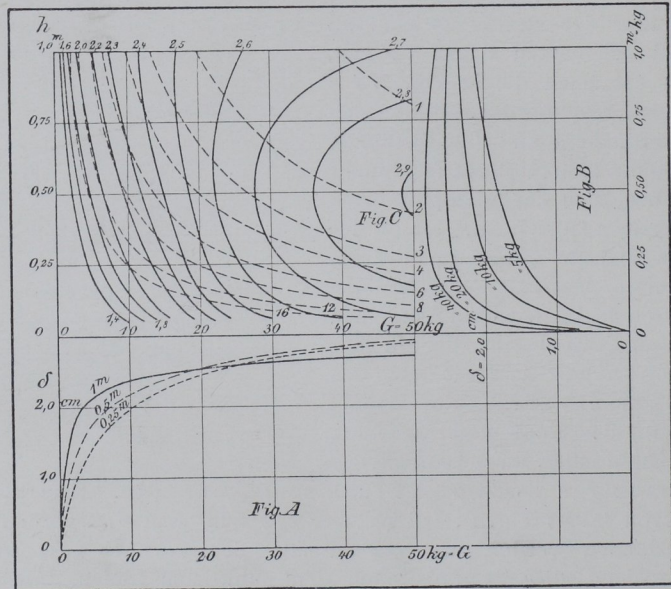


Fig. 201.

Versuche von Rotter über den Einfluss der Geschwindigkeit beim Fallbiegeversuch.

immer soviel Schläge ausgeübt wurden, dass die Gesamtarbeit des Bären $ZA = 40$ mkg wurde, worin Z die Zahl der angewendeten Schläge. In Fig. A sind nach den Beobachtungswerten diejenigen Durchbiegungen δ eingetragen, die bei $h = 0,25; 0,5$ und $1,0$ m durch eine Gesamtschlagarbeit von 40 mkg erzielt wurden. Hiernach sind die mit den Zahlen für h bezeichneten Ausgleichlinien gezogen. Die Linien müssen von Null ausgehen, da mit dem Bärsgewicht Null keine Durchbiegung erzielt werden kann. In gleicher Weise sind nach den Versuchsergebnissen die Linien in Fig. B entworfen, indem nach den Fallhöhen h und den erzielten Durchbiegungen δ geordnet wurde. Die Linien gaben also die mit verschiedenen Bärsgewichten durch die Gesamtleistung von $A = 40$ mkg erzielten Durchbiegungen an; auch diese Linien müssen von Null auslaufen. In Fig. C ist aus diesen beiden Darstellungen der Grundriss für die Darstellung der

Raumfläche entworfen, welche das aus den Rotterschen Versuchen ableitbare Gesetz für die Abhängigkeit der durch eine Gesamtarbeit von 40 mkg an den von Rotter verwendeten, unter einander völlig gleichen Probekörpern erzielten Durchbiegung δ von den Einzelfaktoren h und G vorstellt.

278. Man sieht aus Fig. 201, dass die Wirkung der gleichen Arbeitsleistung unter den verschiedenen möglichen Versuchsbedingungen keineswegs die gleiche ist. Sie wechselt mit dem Bärge wicht und der Fallhöhe. Aber auch bei gleicher Arbeitsleistung für jeden Schlag ist die Wirkung nicht gleich. Die feinen gestrichelten hyperbolischen Linien stellen die Linien gleichen Produktes hG , d. i. gleicher Schlagarbeit für jeden Schlag dar; sie geben zugleich die zur Erzeugung von 40 mkg Gesamtarbeit erforderliche Schlagzahl an, und mit diesen Zahlen sind sie am rechten Ende auch bezeichnet worden. Sie schneiden die stark ausgezogenen und am oberen [bez. unteren] Ende bezeichneten Linien [Niveaulinien] gleicher Durchbiegung. Das dürfte nicht der Fall sein, wenn die Formänderung nur von der Grösse $A = hG$ abhängig wäre.

279. Aus den Schaubildern lassen sich nun die folgenden Gesetze ableiten:

- a) Wuchtige Schläge haben eine grössere Durchbiegung zur Folge, als eine grössere Anzahl schwacher Schläge von gleicher Gesamtarbeitsleistung [vergl. Abs. 245].
- b) Bei gleicher Arbeitsleistung hG für den Schlag erzielen die grösseren Bärge wichte eine grössere Durchbiegung.

Rotter hat Versuchsreihen mit härterem Flusseisen ausgeführt, das mit Z Schlägen gleicher Arbeitsleistung zu Bruche gebracht wurde. Um den Bruch herbeizuführen, war bei wuchtigen Schlägen eine geringere Gesamtarbeit erforderlich, als bei schwachen Schlägen. Auch hier war, bei gleicher Arbeitsleistung für den Schlag, die zur Erzeugung des Bruches erforderliche Gesamtarbeit bei den grösseren Bärge wichten geringer als bei den leichteren Bären.

Man findet also wieder die früher bei den Stauchversuchen gewonnenen Erfahrungen bestätigt.

δ. Einfluss der Probenform und das Aehnlichkeitsgesetz.

280. Ueber den Einfluss der Probenform und darüber, in welchem Maasse das Aehnlichkeitsgesetz bei Schlagbiegeversuchen zutreffend ist, sind bislang noch keine ausreichenden Versuche gemacht worden. Soviel ist aber ohne weiteres klar, dass die Probenformen nach Grundsätzen gewählt werden müssen, die dem hier in der gleichen Form, wie bei den Biegeversuchen, auftretenden Aehnlichkeitsgesetz gerecht werden. Denn wenn Abweichungen von diesem Gesetz gefunden werden, so wird dies immer seine Ursache darin haben, dass nur die Bruttoarbeit des Bären gemessen werden kann und dass von dieser ein je nach den Umständen verschiedener Antheil verloren geht. Dieser Antheil dürfte bei gleicher Schlagarbeit für jeden Schlag verschieden ausfallen, je nach dem Antheil, den das Bärge wicht G in der Gleichung $A = hG$ hat. Für die Forderungen des Aehnlichkeitsgesetzes kommt die Nettoarbeit, d. h. diejenige Arbeit in erster Linie in Betracht, die wirklich zur Formänderung aufgewendet wird.

281. Ein Umstand, der die Durchbiegung beeinflussen muss, ist durch

die überstehenden Enden des Probestückes an den Auflagern gegeben, Fig. 202, die wegen der Trägheit ihrer Masse beim Beginn der Formänderung gegen die theoretische Lage *a*, wie sie den Stabenden nach dem

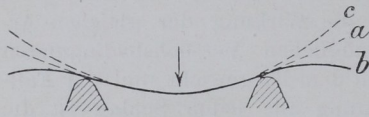


Fig. 202.

Schläge zukommen würde, zurückbleiben und dann über diese Lage hinaus nach *c* geschwungen werden. Die Grösse der Wirkungen ist abhängig von der Länge des überstehenden Endes. Der Erkenntniss dieses Umstandes veranlasste die Eisenbahnverwaltungen, für Schlagver-

suche mit Schienen die Gesamtlänge der Probe von 1,3 m vorzuschreiben (271, No. 2). Für Axen war eine solche Vorschrift nicht nothwendig, da sie ohnehin bestimmte Längen haben.

g. Einfluss der Geschwindigkeit bei Festigkeitsversuchen.

282. Wiederholt wurde bereits die Frage gestreift, ob die Geschwindigkeit, mit welcher die Formänderung vollzogen wird, von Einfluss auf das Ergebniss des Versuches ist, also auf die Grösse der Spannungen an der Proportionalitäts-, Streck- und Bruchgrenze, oder auf die Grösse der Dehnbarkeit und Querschnittsverminderung. Diese Frage ist natürlich von grösster praktischer Bedeutung für das Materialprüfungswesen.

283. Vergewenwärtigt man sich, was früher, z. B. über das Verhalten von Magnesium beim Zerreißversuch gesagt wurde (53, S. 28), so ergibt sich aus dem Umstande, dass bei den einzelnen Belastungsstufen sehr beträchtliche Nachstreckungen eintreten, die mit verschiedener, anfangs abnehmender, bei höheren Belastungen aber zunehmender Geschwindigkeit verlaufen, so muss man wohl schliessen, dass die Geschwindigkeit, mit welcher der Versuch ausgeführt wird, einen Einfluss auf die Versuchsergebnisse haben muss.

284. Bei der Formänderung des Körpers müssen sich die Körperelemente gegen einander verschieben und neue Lagen einnehmen, wenn eine bleibende Formänderung zustande kommen soll. Nachdem man sich bereits an die Ausdrücke „Fliesen, Fließerscheinungen“ u. s. w. gewöhnt hat, kann es nicht mehr befremden, sich den festen Körper gewissermassen als eine sehr zähe Flüssigkeit vorzustellen. Man kann sich davon jeden Augenblick ein Bild machen, wenn man Körper, die den Uebergang zwischen dem flüssigen und festen Zustande bilden, auf ihr Verhalten prüft. Pech erscheint bei schneller Beanspruchung fest und spröde, es bricht wie Glas mit muscheligen Bruch. Wenn man Pechstücke in ein Gefäss wirft und sie lange Zeit sich selbst überlässt, so werden die Stücke ihre Form ändern bis sie zusammengelassen sind und eine Oberfläche bilden, genau wie eine Flüssigkeit. Stellt man nun das Gefäss geneigt auf, so wird das Pech in einigen Wochen ausfliessen, wie wenn es ausgegossen würde, und der ausfliessende Faden wird hierbei dennoch die Sprödigkeit eines festen Körpers zeigen, wenn man etwa schnell seine Form ändern wollte.

285. Die Zähigkeit oder innere Reibung der Flüssigkeit muss überwunden werden, wenn man ihre Theilchen in Bewegung setzen will. Hierzu ist Arbeit erforderlich. Sollen die Theilchen ihren Weg schneller