

heiten will ich, wo es nothwendig erscheint, später bei den einzelnen Maschinenformen beschreiben oder auch dem Studium der Zeichnungen überlassen.

## a) Die Hebelwage.

### 1. Hebel.

**487.** Bei der Konstruktion der Hebelwage mit festen Hebelnängen (65 a) wird meistens der Grundsatz erfüllt, dass die Schneiden an den Hebeln, die Pfannen am Maschinengestell anzubringen sind. Die Konstruktion sollte aber möglichst auch so gehalten sein, dass man die Hebelübersetzungsverhältnisse, entweder durch genaue Messung, oder durch Wägung leicht auf ihre Richtigkeit kontroliren kann.

**488.** Die Genauigkeit kann auch bei Wagen für hohe Belastungen leicht auf einen hohen Grad gebracht werden. Aber in den Festigkeitsprobirmaschinen hat die Wage nicht nur die ruhende Last zu tragen, sie muss vielmehr geeignet sein, auch Stöße und schiefe Belastungen auszuhalten. Stöße kommen bei jedem Bruch der Probekörper vor, schiefe Belastungen können beispielsweise bei Druckversuchen oder bei der Prüfung von Drahtseilen auf Zug eintreten, letzteres wenn die Maschine nicht so eingerichtet ist, dass die Einspannvorrichtung das Drehmoment auf das Maschinengestell überträgt oder ihm in sich nachgibt. Bei der Werder-Maschine (Taf. 3) ist es beispielsweise bei Prüfung eines sehr starken Drahtseils vorgekommen, dass die Pfannen 19 in den Querhäuptern 21 (Fig. 4) von den Schneiden 20 durch das Drehmoment abgehoben wurden, weil die Kopfschraube an der Einspannung 24 (Fig. 1—3) zu fest angezogen war. Man soll also die Wage so konstruiren, dass auf sie nur die zu messenden Kräfte übertragen werden können; ich führe dies besonders an, weil dieser selbstverständlich erscheinenden Forderung nicht immer Rechnung getragen wird. Auch dafür ist Vorkehrung zu treffen, dass die Schneiden gegen Verschiebung in den Pfannen gesichert sind, so dass nicht Reibungen an den Seitenwangen schwingender Hebel entstehen können. Auch in der Konstruktion der Sicherungen gegen diese Verschiebungen in der Schneidenrichtung wird von namhaften Fabriken gefehlt, und ich habe gelegentlich bei Untersuchung und Prüfung von Festigkeitsprobirmaschinen auf diese eigentlich ungläublichen Fehler hinweisen müssen.

Um zu zeigen, wie selbst bei ganz ausserordentlich weit verbreiteten Maschinen Konstruktionen vorhanden sind, die in unzuverlässigen Händen doch bedenklich werden können, mache ich auf die Maschinen von Riehlé und Olsen (Taf. 19 u. 20) aufmerksam, bei denen der Obertheil der Maschine, der das obere Querhaupt tragende Ständer, durch vier Schrauben mit dem Untergestell verbunden ist. Diese vier Schrauben sollen verhindern, dass der auf den vier Stützschnitten (Absatz 526 — 528) ruhende Obertheil beim Bruch der Probe durch den Rückstoss aus den Pfannen geworfen wird. Die Schrauben sind zu dem Zwecke mit dicken Unterlagscheiben aus Gummi [Pufferringen] versehen. Es ist nicht ausgeschlossen, dass durch Anziehen der Muttern das Prüfungsergebniss beeinflusst werden kann und man muss sich deshalb beim Gebrauch fremder Maschinen über den jeweiligen Spannungszustand dieser Schrauben unterrichten.

**489.** Dass man Werth auf grosse Starrheit der Hebel legen sollte, ohne aber in diesem Punkte über das praktische Ziel hinaus zu schiessen, geht ohne weitere Hinzufügungen aus den Besprechungen in Absatz 483 und 503 hervor.

**490.** Manche Konstrukteure haben grossen Werth auf die vollkommene Ausbalancirung der Hebel gelegt und sie demgemäss nicht blos mit den erforderlichen Gegengewichten, sondern auch noch mit Stellgewichten für die Schwerpunkthöhenlage gegen den Schwingungsnullpunkt versehen, z. B. Gollner Taf. 13, Fig. 1—14. Ohne Zweifel erfährt das Wagesystem hierdurch eine Verbesserung, aber es fragt sich, wie viel hiervon praktisch nothwendig ist und wirklich zur Ausnutzung gelangt. Der Kraftmesser der Festigkeitsprobirmaschine ist doch nur so lange eine frei schwingende Wage, als sich die Maschine im Leergange befindet. Wenn der Probekörper eingelegt ist, können Schwingungen nur entstehen, weil weder der Probekörper noch die Maschinetheile unelastisch sind, und diese Schwingungen sind dann noch wesentlich beeinflusst durch die Trägheit der Massen in den Gliedern der Wage. Ich meine, unter diesen Verhältnissen kommt es schliesslich gar nicht einmal auf die Ausbalancirung der Wage an, [womit ich aber keineswegs die dadurch gegebene Bequemlichkeit und sonstigen Vorzüge leugnen will], sondern weit grösserer Vortheil wird durch möglichste Starrheit der Hebel erreicht. Denn an Stelle der Zurückführung auf die Nullage durch Ausbalancirung könnte geeigneten Falles sehr wohl die Ablesung im Leerzustande, beziehungsweise entsprechende Verschiebung der Skalennullpunkte treten. Dieser Gedanke ist ja in der That auch bei den Maschinen mit Manometern, Messdosen u. s. w. häufig angewendet.

Die Einstellung der Empfindlichkeit und ihre Bestimmung durch Schwingung im Leergange oder bei freier Gewichtsbelastung der Maschine ist schliesslich doch nur von zweifelhaftem Werthe und eigentlich nur ein bequemes Mittel, um sich zu überzeugen, ob Veränderungen im Zustand der Wage eingetreten sind. Aus diesem Grunde [und aus anderen (534 f., 595 i.)] habe ich für die Kontrolle der Maschine in der Charlottenburger Anstalt die Untersuchung des Genauigkeitsgrades durch den Kontrolstab nach dem Vorgange Bauschingers (*L* 217) eingeführt. Die unmittelbare Belastung [oder die Kontrolwage] wird dabei als Ausgangspunkt zur Bestimmung des Hebelübersetzungsverhältnisses im Leergange und bei geringer Belastung genommen (534 a—1).

**491.** Man hat viel darüber geschrieben, ob ein Hebel mit grossem Uebersetzungsverhältniss oder ob viele Hebel mit verhältnissmässig grossen Armlängen bei der Probirmaschine zu verwenden seien. Nach Voraufgehendem brauche ich hier wohl nur auszuführen, dass beide Konstruktionsweisen zufriedenstellende Ergebnisse liefern können, das beweist die grosse Verbreitung, welche beide Bauarten fanden. Ich selbst neige der Ansicht zu, dass die Maschinen mit vielen Hebeln einfach aus der Gewohnheit des Wagenbauers, wahrscheinlich ohne sehr tiefes Nachdenken, übernommen sein werden und mache hier wiederum auf den äusseren Charakter vieler Maschinen aufmerksam. Wenn man beachtet, was in den voraufgehenden und folgenden Absätzen gesagt wurde, wird man begreiflich finden, dass ich wenigen Hebeln mit grossem Uebersetzungsverhältniss den Vorzug gebe, weil sie bei geschickter Benutzung zu einfacheren und bequemerem Bauarten führen, leichter zu übersehen und zu kontrolliren sind, und wesentlich steifer zu sein pflegen, als die Wagen mit vielen beweg-

lichen Gliedern. Schliesslich ist aber diejenige Konstruktion des Kraftmessers immer ausreichend, die zuverlässig den in Absatz 506 geforderten Genauigkeitsgrad liefert, und dieser lässt sich mit einem einzigen Hebel so gut erreichen und kontrollieren, wie bei Anwendung vieler Hebel.

**492.** Um noch einige Besonderheiten der Hebelanordnungen für Kraftmesser zu erwähnen, mache ich auf die Maschinen von Mohr & Federhaff und von Grafenstaden (Taf. 6, 7 u. 8) aufmerksam, bei welchen Differentialhebel in der in Fig. 347 und 348 schematisch dargestellten Anordnung benutzt worden sind.

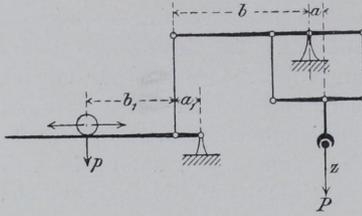


Fig. 347.

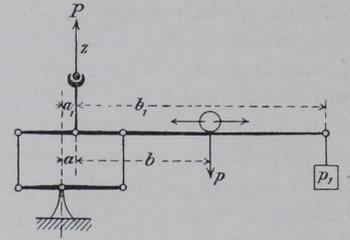


Fig. 348.

Sehr verwickelt ist die Bauart des Kraftmessers in der Gollnerschen Maschine (Taf. 13, Fig. 1—14), namentlich durch die dort benutzte Kraftumkehrung für die verschiedenen Beanspruchungsformen (Absatz 598—601, L 220).

Das Hebelsystem der Riehlschen (Taf. 19) und Olsenschen (Taf. 20) Maschinen ist in Fig. 414 Absatz 525 schematisch erläutert. Das Schema der Wage von Hoppe ist in Absatz 591, Fig. 417 gegeben.

## 2. Schneiden.

**493.** Von einiger Wichtigkeit ist die Frage wegen der Einzelheiten bei der Konstruktion der Schneiden und Pfannen an den Hebeln der Festigkeitsprobirmaschinen, und da über diesen Gegenstand in der Literatur wenig zu finden ist, will ich einige Notizen geben.

Es taucht zunächst die Frage auf, wie stark kann eine Schneide belastet werden? Konstruktionsregeln hierüber sind mir nicht bekannt, ich führe daher aus der Praxis einige Beispiele an. Bei der Werder-Maschine (Taf. 3, Fig. 1—3) hat die Mittelschneide 17 eine Länge von 34,5 cm; die Seitenschneiden haben je 18,5 cm Länge. Auf 1 cm Schneidenlänge entfallen somit 2900 bzw. 2700 kg. Die Schneidenkanten haben im Laufe der Jahre bei den zahlreichen Versuchen, die auf der Maschine der Charlottenburger Versuchsanstalt ausgeführt wurden, immerhin eine sichtbare Abplattung erfahren, und an der nicht ganz harten Pfanne sind Spuren von Eindrücken und Abnutzungen wohl bemerkbar. Schätzt man die Berührungsfläche zwischen Schneide und Pfanne hoch gegriffen auf 0,05 cm Breite, so hat das Material der Schneide und Pfanne an dieser Stelle einen Laibungsdruck von  $2900/0,05 = 58\,000$  at zu übertragen. Die wirkliche Höchstspannung dürfte eher höher als niedriger sein, sie hat an der Maschine im Laufe der Jahre sehr oft, und wie ich oben unter Ab-

satz 488 anführte, auch unter ungünstigen Verhältnissen aushalten müssen; sie hat sich trotzdem zufriedenstellende Leistungsfähigkeit bewahrt. Die Mittelschneiden 8 und 13 der 50 000 kg-Maschine von Mohr & Federhaff (Taf. 6, Fig. 2) haben bei etwa 9 cm Länge 25 000 kg, d. h. 2800 kg/cm aufzunehmen; die Endschneide im Haupthebel 15 (Taf. 9, Fig. 2) der 50 000 kg-Maschine von Pohlmeier wird etwa 3800 kg/cm erhalten, und in der Maschine von Grafenstaden (Taf. 8) dürfte die Beanspruchung noch höher ausfallen. In der 500 000 kg-Maschine von Hoppe (Taf. 10) wird die Beanspruchung in den Hauptschneiden etwa 3500 kg/cm sein. Die meisten dieser Maschinen sind in grosser Zahl gebaut und haben sich gut bewährt; man darf also wohl den Schluss ziehen, dass die Schneidenbeanspruchung bis zu 4000 kg/cm praktisch als zulässig zu erachten ist; jedenfalls wird man nicht ohne Zwang bis auf diese Höhe gehen. Gollner giebt die Schneidenbelastungen für seine Maschine (Taf. 13, Fig. 1—14) auf 24 600 at an (*L* 220, S. 28).

**494.** Die Schneiden sollten, wenn möglich, so in den Hebeln befestigt werden, dass man sie in den Hebeln selbst gerade und parallel zu einander schleifen kann. Diese Bedingung ist meistens schwer zu erfüllen; in der Regel werden nur die Endschneiden der Hebel, im Schwalbenschwanz eingeschoben, so konstruiert; vergl. Taf. 8, Fig. 2 untere Hebel 3 und 4; Taf. 6, Fig. 1 Hebel 7 und 12. Die Mittelschneiden werden meistens durch den Hebel geschoben und dann nur an den beiden Enden abgeschärft, während sie in der Mitte rechteckigen Querschnitt erhalten. Diese Schneiden werden zuweilen nur fest eingeschlagen. Es ist dann kein Wunder, wenn die Schneidenkörper bei den heftigen Stössen beim Bruch der Probekörper mit der Zeit lose werden, namentlich wenn hohe Schneidenkörper in Hebeln von geringer Breite stecken.

**495.** Grossen Werth auf die gute Herstellung und Lagerung der Schneiden hat u. a. Werder gelegt. Ich habe aus diesem Grunde seine Konstruktion auch für meine 50 000 kg-Maschine benutzt und verweise auf Fig. 10, Taf. 5, weil hier die Einzelheiten besser erkennbar sind als auf Taf. 3, Fig. 3, Stücke 17 und 18. Werder legte seine Schneiden in schwere Gussstücke, um ihnen jede Neigung zu Durchbiegungen zu nehmen, und lagerte diese Gussstücke auf den ebenen gehobelten Flächen seines Hebels, auf denen sie mittelst Justirwinkel und Schrauben befestigt werden. Die Schneiden sind mit Winkelbeilagen (in Fig. 10, Taf. 5 mittelst der eingelegten Schienen 18 und 19) in ihrem Lager festgeklemmt. Die beiden Seitenschneiden 20 (Taf. 3, Fig. 4) können mittelst der Justirwinkel sehr leicht in vollkommen parallele Lage zur oberen gehobelten Ebene des schweren Gusskörpers 13 der Wage gebracht werden, so dass beide Schneiden zuverlässig in einer Geraden liegen, da die Schneidenkanten in ihrem Lagerkörper parallel zu den Anlageflächen dieser Körper geschliffen werden können. Die Mittelschneide ist in ähnlicher Weise so geschliffen, dass sie bei satter Anlage ihres Lagerkörpers an der betreffenden vertikalen Fläche des Hebelkörpers 13 genau in der durch die Schneidenkanten der Seitenschneiden 20 gehenden senkrechten Ebene zur oberen Fläche von 13 liegt. Die Mittelschneide 17 (Fig. 3) kann nun ebenfalls leicht genau parallel zur oberen Fläche von 13 eingestellt werden. Werder hatte sie ursprünglich mit Feineinstellungen versehen, so dass man den Sollabstand von 0,3 cm zwischen der geometrischen Mittelschneidenlinie und der geometrischen

Seitenschneidenlinie genau einstellen, d. h. das Hebelübersetzungsverhältniss der Wage auf  $1/500$  bringen konnte, was mit Hülfe einer Kontrolwage geschah. Diese Justirung am kurzen Hebelarm war immerhin schwierig und ich habe daher später die Mittelschneide ein für alle Mal fest gemacht und die in Fig. 1—3 gezeichnete Justirvorrichtung 15 am langen Hebelarm anbringen lassen.

**496.** Eine eigenartige Form der Schneidenbefestigung und Justirvorrichtung (Fig. 349) benutzte Pfaff für seine Maschine [L. Mach. Out. 1890 S. 81]. Er fräst die Schneide aus einem sonst cylindrischen Bolzen 1 heraus und befestigt diesen mit Hülfe der Tangentialschraube 2 drehbar im Hebel. Die Justirung der Hebellänge geschieht durch Lagenänderung des Schneidencylinders mit Hülfe der in ihn eingreifenden Schraube 2 und die Festklemmung mittelst der beiden Klemmplättchen 3 und 4.

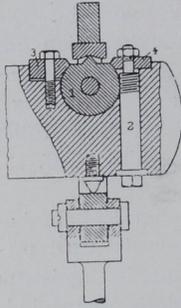


Fig. 349.

**497.** Man erkennt den Vortheil der Werderschen Hebelkonstruktion leicht darin, dass die Verschiebung der beiden Schneidenaxen gegen einander beliebig klein gewählt werden kann; man kann also sehr leicht Winkelhebel mit grossen Uebersetzungsverhältnissen erzeugen.

Ein anderer Vorzug ist der schwere starre Hebelkörper, der vorzüglich geeignet ist, die Biegemomente von der Mittelschneide nach den Seitenschneiden ohne merkliche eigene Biegungen zu übertragen.

**498.** Den Hebel meiner 50 000 kg-Maschine (Taf. 5, Fig. 1—3) konstruirte ich nach gleichem Grundsatz; er bildet einem geraden zweiarmigen Hebel mit dem Uebersetzungsverhältniss  $1/250$ . Die Konstruktion ist aus sich selbst verständlich, wenn bemerkt wird, dass die Verlängerung nach links, der Hebel 25 mit Gegengewicht 26, ein System für sich bildet. Die Gewichtsstücke werden bei dieser Wage mechanisch aufgesetzt, indem die einzelnen Gewichtsscheiben, mittelst Handrad und Schraube 37 bis 39 gesenkt oder gehoben, sich eins nach dem andern auf die Gehängestange 29 der Wage auflegen oder abheben; sie ruhen im letzteren Falle auf den Muttern der Stangen 36 der Aufsatzvorrichtung. Jede Scheibe 30 entspricht einer Belastung von 1000 kg. Die Scheiben 31 entsprechen einer Belastung von je 10 000 kg; sie werden mittelst der Winde 43 bewegt.

**499.** Eine ähnliche Konstruktion benutzte ich für meine kleine 5000 kg-Maschine (Taf. 13, Fig. 18—31). Die Einzelheiten der Hebelkonstruktionen gehen aus den Fig. 25—31 hervor; auch hierbei kann durch Verschieben der Mittelschneide eine sehr grosse Uebersetzung erzielt werden. (L 258).

**500.** Eine andere Konstruktionsform von Hebeln mit sehr grossem Uebersetzungsverhältniss habe ich beim Entwurf der Wage zu der grossen Torsionsmaschine für ein Drehmoment von 2 200 000 kg/cm für die Charlottenburger Versuchsanstalt angewendet (Fig. 350). Dieser Hebel 3 dient zur Unterstützung des einen Endpunktes des Armes 5, an welchem das Probestück befestigt ist. Seine Mittelschneide ist in der Gabel des Hebels selbst unverrückbar befestigt, während die zweitheilige Mittelschneide auf dem Schieber 4 befestigt ist, der, sich auf Vorsprünge am Hebelkörper 3 stützend, so verschoben und eingestellt werden kann, dass

der kleine Hebelarm des Hebels 3 schliesslich jeden Betrag annehmen könnte. Die Schneiden sind, wie leicht zu erkennen, so in ihren Körpern gelagert, dass sie in ihrem Lager leicht auf der Schmirgelmaschine genau parallel zu einander geschliffen werden können. Das Hebelübersetzungsverhältniss ist auf 1:200 eingestellt.

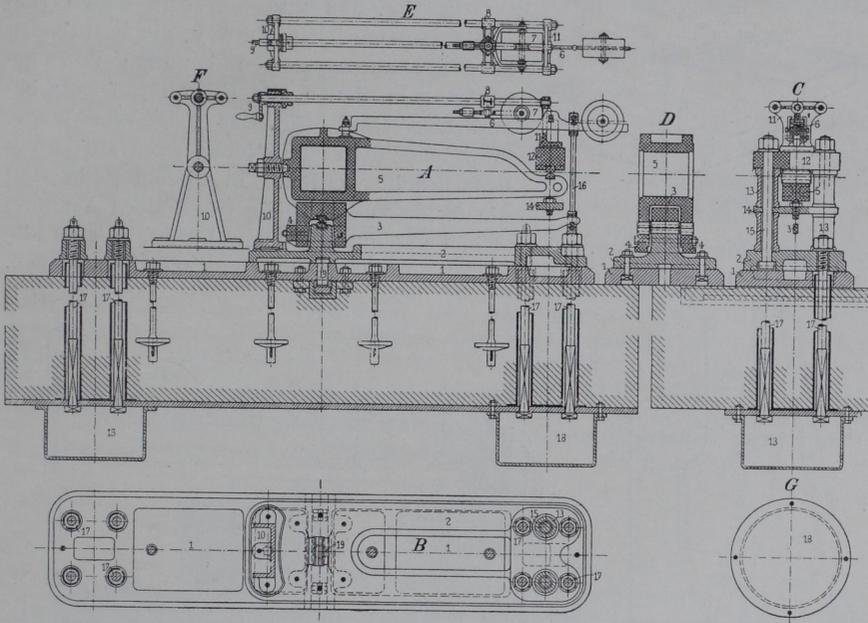


Fig. 350.

Die Wirkungsweise der Wage ist aus dem Schema (Fig. 351) ersichtlich, in welchem die gleichen Theile mit gleichen Ziffern bezeichnet wurden, wie in Fig. 350. Die Kräfte  $P$  des Drehmomentes werden die eine von der Wage aufgenommen, die andere durch das Gestell 15 und Mutterschrauben 17 (Fig. 350) auf das Fundament übertragen. Die Wage ist gebildet aus den Hebeln 3 und 6 und dem Laufgewicht 7. Sie kann rechts und linksdrehende Momente aufnehmen; linksdrehende in der gezeichneten Lage und rechtsdrehende, wenn die ganze Wage um den Drehzapfen 19 um  $180^\circ$  geschwenkt und mit den vier anderen Ankerbolzen 17 verbunden wird. Das Fundament ist, 2,5 m tief, unten auf einer durchgehenden Eisenplatte gegründet. Die Maschine ist von E. Becker-Berlin gebaut.

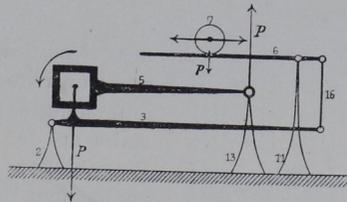


Fig. 351.

### 3. Blattfedergelenke.

501. In Absatz 493 ist von der starken Inanspruchnahme der Schneiden gesprochen worden; die Schneiden leiden leicht und man ist daher vielfach auf den Gedanken gekommen, sie ganz zu umgehen. Hier

kommt besonders der Vorgang von Emery in Frage. Er hat die Schneide in geschickter Weise [vor dem Jahre 1874] durch eine Blattfeder ersetzt, die vor ihm auch bei uns in Deutschland schon für die Konstruktion von feinen physikalischen Wagen versucht, aber wieder aufgegeben worden war.

**502.** Die Einzelheiten der Emeryschen Konstruktion der Wagehebel sind in den Fig. 352—354 gegeben.

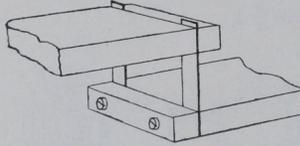


Fig. 352.

In Fig. 352 und 353 sind einige Beispiele gegeben, wie Emery die Blattfedern in Wagebalkensystemen benutzte und befestigte, in denen die Federn auf Zug beansprucht sind. Fig. 354 zeigt eine Wage, in welcher die Federgelenke auch auf Druck beansprucht werden. In diesem Falle sind die freiliegenden Theile der Federn 4 und 6

nur ganz kurz gelassen, sie sind in Versteifungen eingeklemmt, so dass alle Biegungen beim Spiel der Wage sich nur auf einen kleinen Theil erstrecken.

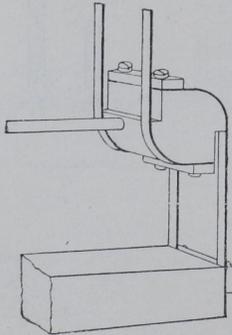


Fig. 353.

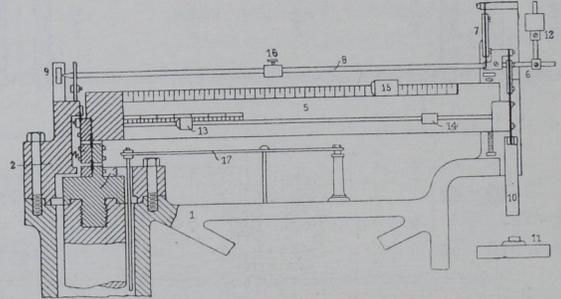


Fig. 354.

Die zu messende Kraft wird durch den auf einer Emeryschen Messdose (559) ruhenden Stempel 3 mittelst Feder 4 auf den eigentlichen stark konstruirten Wagebalken 5 übertragen, an dessen Gehänge 10 der in Fig. 355 dargestellte Gewichtssatz 5 angreift. Dieser Gewichtssatz kann durch Heben und Senken des Gestelles 1—3 zum satzweisen Aufsetzen der einzelnen Gewichtsstücke gebracht werden. Der in 7 (Fig. 354) aufgehängte Zeiger 8 giebt in stark vergrößertem Maassstabe an der Skala 9 das Spiel der Wage an, so dass der Wagebalken 5 nur ausserordentlich kleine Schwingungen zu machen braucht. Die Empfindlichkeit des Systems kann durch Gewicht 12 geregelt werden. 13—16 sind Laufgewichte, von denen 14 und 16 zum Ausgleich der Hebel dienen. Feder 17 gleicht das Gewicht des Stempels 3 aus, der unten und oben, nach der Emeryschen Konstruktionsweise, durch Plattenfedern gerade geführt ist. Neuerdings werden von der Firma Wm. Sellers & Co. etwas andere Konstruktionsformen benutzt, deren Einzelheiten mir leider nicht bekannt wurden.

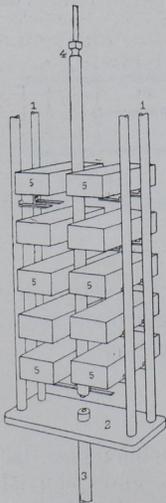


Fig. 355.

**503.** Die Anwendung der Blattfeder für die Konstruktion der Wage einer Prüfungsmaschine hat unzweifelhaft den sehr

grossen Vortheil, dass dadurch das ganze Wagesystem gegen Verschiebung in den Gelenkpunkten auf leichte und zuverlässige Art gesichert werden kann (488) und dass die Stösse bei plötzlicher Entlastung sehr wenig Einfluss auf den Zustand des Werkes haben. Aber ich glaube, dass selbst diese Vortheile nicht die allgemeine Einführung der Blattfeder bewirken werden. Dagegen bin ich der Ueberzeugung, dass die Messdosen Emerys [und anderer Konstrukteure] (554—563) sich immer mehr Eingang verschaffen werden, wenn es erst zuverlässige und einfache Mittel für die Prüfung der Probirmaschinen geben wird (504).

**504.** Meine Anschauungen über die Bedeutung der Blattfeder-gelenke für die Konstruktion der Wage und besonders für die Herstellung von Materialprüfungsmaschinen legte ich in einem ungedruckten Bericht über eine Studienreise nach Amerika und in meiner Beschreibung der Sellerschen Bauart der Emery-Maschinen nieder (L 211). Aus letzterer bringe ich hier folgende Sätze zum Abdruck.

Durch Reuleaux hat seiner Zeit die von Emery an die Stelle der Schneide gesetzte Blattfeder eine sehr begeisterte Fürsprache gefunden (L 216). Ich habe schon damals Bedenken gegen die gepriesene Ueberlegenheit der Feder gehabt und habe diese Bedenken bis zur Zeit nicht fallen lassen können, obwohl ich nunmehr Gelegenheit hatte, in Amerika selbst meine Beobachtungen an zahlreichen Maschinen zu machen. Um aber den Leser im Nachstehenden nicht irre zu führen, will ich vorausschicken, dass meine

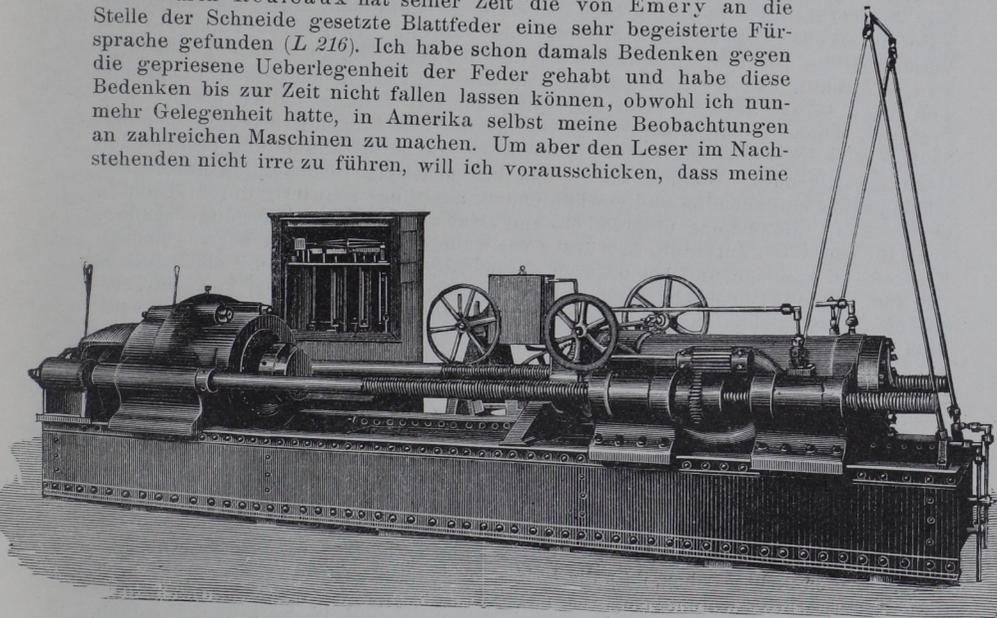


Fig. 356.

Bedenken auch heute noch einen subjektiven Charakter tragen, denn ein Messapparat oder eine Prüfungsmaschine kann zuverlässig nur beurtheilen, wer Gelegenheit hatte, selbst mit ihnen zu arbeiten und ihre Fehler dem Messwerthe nach festzustellen, oder derjenige, dem hinreichend ausführliche und auf ihre Zuverlässigkeit kontrollirbare Messungsreihen vorliegen.

Die übermässig grosse Empfindlichkeit der Emeryschen Wage und ihre für eine Prüfungsmaschine schwerfällige Unterbringung in einem grossen Schranke, Fig. 356, machen es nothwendig, dass der Beobachter sein unausgesetztes Augenmerk auf die Wage zu richten hat. Da die Wage sich nicht langsam und ruhig der Gleichgewichtslage nähert, so ist die Aufmerksamkeit fortwährend in Anspruch genommen; so lange die Presse arbeitet, darf der Beobachter die Hebel zum Aufsetzen der Gewichte kaum ausser Acht lassen; er ist hinter seinen Schrank gebannt. Für die Beobachtung des Probestückes bleibt ihm keine Zeit, auch ist sein Standpunkt, namentlich bei den liegenden Maschinen, in dieser Beziehung fast immer un-

günstig. Die Maschine ist, [623—635, Taf. 18], mit Einspannvorrichtungen versehen, die durch Seitendruck wirken [Beisskeile] und einen gewissen Weg während des Versuches machen. Diese Einspannungen halten aber, wie ich mich durch den Augenschein überzeugte, auch bei der Emery-Maschine nicht immer ganz sicher. Der an die Wage gefesselte Beobachter kann die Thatsache, ob das der Fall ist oder nicht, an den liegenden Maschinen meist nicht überblicken oder am Verhalten der Wage erkennen. Will man mit einiger Sicherheit arbeiten und den ganzen Verlauf des Versuches unter Kontrolle haben, auch während des Versuches noch Formänderungsmessungen vornehmen, so wird man, namentlich bei den liegenden Maschinen, fast immer zwei Personen für die Beobachtung brauchen. Das sollte aber für eine einfache Materialprüfungsmaschine vermieden werden, und es lässt sich vermeiden, wenn man den weiter unten gegebenen Winken folgt [vergl. 559]. Der hier gegen die Emery-Maschine erhobene Vorwurf ist aber — wohlverstanden — ein Vorwurf, den man vielen anderen Maschinenarten, z. B. auch der Werder-Maschine machen kann.

Aber gerade die Emery-Maschine liesse sich bei geschickterer Konstruktion der Wage sehr leicht so bauen, dass der Beobachter die Wage in übersichtlichster Form unmittelbar neben sich hat. Diese Bauart sollte nicht nur aus Ersparnissrücksichten, sondern vor allen Dingen mit Rücksicht darauf bevorzugt werden, dass der verantwortliche Beobachter immer in der Lage sein muss, alle Vorkommnisse in eigener Person zu übersehen und während des ganzen Versuches die Verantwortung für alle Einzelheiten zu übernehmen. Diesen Gesichtspunkt wird man in Zukunft bei der Konstruktion von Materialprüfungsmaschinen kaum aus dem Auge lassen dürfen, wenn man Anspruch auf Vollkommenheit machen will. Praktisch scheint er mir wichtiger zu sein als die Erzielung übermässiger Empfindlichkeit oder eines unnöthig hohen, in der Regel nur in der Einbildung bestehenden Genauigkeitsgrades. Wollten wir in den beiden letzten Beziehungen unsere Maschinen einer eingehenden und erschöpfenden, allerdings schwierig durchführbaren praktischen Untersuchung unterziehen, und zwar nicht bloss im Leergange, sondern auch im belasteten Zustande, so würden wir wahrscheinlich zu sehr überraschenden Ergebnissen kommen und bei unseren allermeisten Maschinenarten finden, dass es mit dem Genauigkeitsgrade nicht so weit her ist, wie wir es uns zuweilen vorrechnen. Ich fürchte, dass bei einer solchen Untersuchung sich herausstellen wird, dass hierin auch die Emery-Maschine kaum eine Ausnahme macht; besonders aber dürfte sich ergeben, dass die Ueberlegenheit der Blattfeder gegenüber der Schneide nicht zum Ausdruck kommt. Ich schliesse dies aus folgenden Umständen.

Die Einführung der Blattfeder ist hier in Deutschland vor Emery schon von sehr berufenen Leuten für physikalische Wagen versucht, aber wieder aufgegeben worden. Das scheint mir ein Beweis dafür zu sein, dass man einsah, wie viel mehr man mit der Schneide erreichen kann und wie viel sicherer und zuverlässiger man mit ihr arbeitet. In dieser Anschauung hat mich natürlich der Umstand bestärkt, dass ich bei meinen Reisen in Amerika allerdings sehr viele Fairbanks-Wagen und andere Arten sah, aber keine Emery-Wagen bemerkte; ich habe auch nicht gesehen, dass die Laboratorien mit Analysenwagen Emeryscher Bauart ausgerüstet waren. Sellers macht Emery-Wagen nicht, und ich habe bestimmte Antworten nicht erhalten, als ich von meinen Beobachtungen sprach. Ob ich das Vorhandensein der Emery-Wagen nur übersehen habe, oder ob diese Wagen sich überhaupt nicht den Eingang verschafft haben, den man nach den pomphaften Ankündigungen hüben und drüben erwarten durfte, vermag ich freilich nicht zu sagen.

Meine Beobachtungen über den Gang der Wagen an den verschiedenen Emery-Maschinen und an einem seiner grossen Manometer lassen es mir wahrscheinlich erscheinen, dass die übergrosse Empfindlichkeit und die Unruhe der Schwingungen durch das zu grosse Uebersetzungsverhältniss und durch den Umstand hervorgerufen sein dürften, dass die Federwirkungen der vielen Blattfedergelenke sich beim Einspielen auf die Gleichgewichtslage zu stark bemerkbar machen. Die Lage der idealen Biegepunkte der Blattfedergelenke wird beeinflusst sein durch die Lage der Hebel; die Biegepunkte in den Federn eines Hebels liegen nicht in einer Ebene. Ohne eingehende Untersuchung lässt sich schwer feststellen, in welchem Grade hieraus entstehende Fehler in die Wägung eingehen. Man wird ferner kaum ohne ausreichenden Grund den Hebeln der Wage so grosse Massen

gegeben haben, denn die Trägheit der Massen kommt immer zum Ausdruck, auch wenn die Bewegungen klein sind. Die Frage liegt also nahe, in welchem Grade die Massen und die elastischen Formänderungen der Hebel, der beweglichen Glieder und auch der Blattfedern auf die Genauigkeit und Empfindlichkeit einwirken, wie dies ja an unseren Balkenwagen bekannt ist.

Dass aber elastische Formänderungen und Wärmewechsel auch auf die Emery-Wage nicht ohne Einfluss sind, ist an sich selbstverständlich, und daher fragt es sich, ob das, was man an Biegsamkeit des Balkens durch Vergrößerung seiner Masse zu vermeiden suchte, nicht durch Erschwerung des Wärmeausgleiches und vermehrte Belastung des Maschinengestelles hinfällig gemacht wird.

Mein — ich will es bis auf weiteres zugeben — Vorurtheil gegen die Ueberlegenheit der Blattfedergelenke wird auch noch durch den Umstand hervorgerufen, dass man nur eine einzige Möglichkeit hat, um das genaue Uebersetzungsverhältniss des Wagesystems an der Emery-Wage zu ermitteln, nämlich die Auswägung, die ja allerdings in letzter Linie auch für die Schneidenwage in Frage kommt. Die Ausmessung der Längen erscheint unzuverlässig, denn man weiss nicht, in welchem Maasse Anspannungen in den Blattfedern, die beim gewaltsamen Einpressen derselben in den Balkenkörper erzeugt werden müssen, die Lage der idealen Drehpunkte des Systems beeinflussen. Für mich bleibt nach allem also die Frage bestehen: ist die Wage mit Blattfedern in der That sicherer und vollkommener als die Wage mit Schneiden? Hier kann nur eine eingehende Untersuchung ausschlaggebend sein, und es wäre wohl zu wünschen, dass man hierzu an geeigneter Stelle Veranlassung nähme.

Der Leser wird erkannt haben, dass meine Einwendungen gegen die Emery-Maschine sich in der Hauptsache gegen die Bauart der Wage richten.

Die Bestimmung des Uebersetzungsverhältnisses in den Messdosen und der Wage der Emeryschen Maschine kann allerdings nur auf empirischem Wege an dem fertigen Dosensystem geschehen. Bei Sellers sah ich eine vorzügliche Einrichtung für diesen Zweck und habe die Ueberzeugung gewonnen, dass hier mit grösster Gewissenhaftigkeit gearbeitet und nur meisterhaft Vollkommenes geliefert wird. Aber man darf nicht vergessen, dass man namentlich bei wagerecht angeordneten Maschinen auch stark auf die Zuverlässigkeit dieser ersten Bestimmungen angewiesen ist; denn die Hilfsmittel für die Untersuchung einer fertigen Materialprüfungsmaschine sind heute immer noch recht schwerfällig oder unvollkommen. Grosses Verdienst würde sich erwerben, wer eine einfache sichere Vorkehrung zur schnellen Untersuchung von Prüfungsmaschinen im vollbelasteten Zustande erfände.

**505.** Die Wirkung der Schneiden bei der Kraftübertragung kann man sich, wie Schwedler gelegentlich äusserte, „als ein Schwimmen“ des Materials der Schneide in dem Material der Pfanne denken. Dabei werden beide Körper so lange elastische Formänderungen erfahren, bis sie so weit in einander eingesunken sind, dass Gleichgewicht herrscht. Die Schneide ist als Volleylinder von sehr kleinem, die Pfanne als Hohylcylinder von sehr grossem Durchmesser zu denken. Unter der Last entsteht immer Flächenberührung und, wenn man will, kann man sich diesen Zustand als einen Uebergang zu dem Zustande in der Blattfeder denken. Denn bei Schwingung des Hebels rollt der elastische Schneidenkörper in dem ebenso elastischen Pfannenkörper, und eine Verlegung der Berührungsfläche wird stattfinden müssen, wenn sie auch ausserordentlich klein ist. Wir haben es gewissermaassen mit einer sehr kurzen Blattfeder von sehr geringer Dicke zu thun, deren Breite gleich der wirksamen Schneidenlänge ist.

**506.** Da man also auch bei den wirklichen Schneiden mit geringen Eindrückungen und Veränderungen der Berührungsflächen zu thun hat, so haben sich einige Konstrukteure gefragt, ob es nicht angebracht sei, bei Hebeln mit nur ganz geringen Schwingungen, an Stelle der sehr kleinen Kantenabrundung, den Schneiden eine messbare Abrundung zu

geben. Demgemäss hat z. B. Pfaff (Taf. 13, Fig. 15—17) die Hauptschneiden mit abgerundeten Flächen konstruirt. Ob dies von praktisch wesentlicher Schädigung für den Genauigkeits- und Empfindlichkeitsgrad der Festigkeitsprobirmaschine ist, vermag ich aus eigener Anschauung nicht zu sagen, da ich Maschinen mit solchen Schneiden noch nicht untersucht habe. Die Benutzung von Schneiden mit starker Abrundung hat jedenfalls den Vortheil, die Schneidenbeanspruchung wesentlich zu vermindern, also auch bleibende Formänderungen und Abnutzungen wirksam zu verhüten; man kann bei grossen Belastungen die Schneiden kürzer, also auch widerstandsfähiger gegen Biegungsbeanspruchungen machen.

Bei Beurtheilung aller dieser Verhältnisse muss man aber im Auge behalten, dass es völlig ausreichend ist, wenn unsere Festigkeitsprobirmaschinen **zuverlässig eine Genauigkeit von 1 % in der Kraftanzeige besitzen.**

Grössere Genauigkeit ist thatsächlich schwer zu erreichen, aber auch nicht nothwendig, weil unsere Materialien selbst einen wesentlich grösseren Ungleichförmigkeitsgrad haben (*L 102, 128*).

#### 4. Hebelwage mit Aufsatzgewicht.

**507.** Die Hebelwage mit Aufsatzgewichten in ihrer einfachsten Form findet sich nur bei verhältnissmässig wenigen Maschinen, z. B. bei der Werder-Maschine (Taf. 3, Fig. 1—3). Diese Form der Wage bedingt meistens, dass zur Bedienung der Maschine neben dem Beobachter noch ein zweiter Mann erforderlich wird, der bei der Werder-Maschine allerdings gleichzeitig das Pumpwerk oder die Zulassventile zu bedienen hat. Probirmaschinen sollten aber stets so konstruirt sein, dass während des Versuches der Beobachter ganz allein die Maschine beherrscht und bedient, so dass er jeden Vorgang beobachten und für das Ergebniss in vollem Umfange allein die Verantwortung übernehmen kann.

**508.** Hebelwagen mit gleichbleibender Hebellänge und mechanisch aufsetzbaren Gewichten benutzen die Maschinen von Emery (502 Fig. 355), Gollner (Taf. 13, Fig. 1 u. 3, No. 47—56), Martens (Taf. 5, Fig. 1 u. 3—5, No. 27—61 und Taf. 13, Fig. 18—31). Die Gewichte werden bei den grossen Maschinen der beiden zuletzt genannten Bauarten mittelst Schraube und Handrad, bei meiner kleinen 5000 kg-Maschine (Taf. 13, Fig. 23 u. 24) mittelst Handhebel 33 und 34 und der Winkelhebel 21 bewegt, die die Rasten für die Gewichtsstücke 18 oder 25 senken und dadurch das Aufsetzen dieser Gewichtsstücke eins nach dem andern bewirken. Die Zahl der aufgesetzten Gewichte kann an dem Klinkbogen 35 neben der Einfallklinke der Hebel 33 und 34 abgelesen werden, so dass der Beobachter unmittelbar von seinem Stande aus die Belastung der Wage ablesen kann. Hebel 33 bewegt die grossen Gewichte 18 für je 1000 kg Belastung und Hebel 34 die kleinen Gewichte 25 für je 100 kg Belastung. Bei meiner 50000 kg-Maschine (Taf. 5) sind die kleinen und die grossen Gewichtsscheiben unter einander angeordnet. Der kleine Gewichtssatz wird mittelst Handrad 38 (Fig. 1) gehoben oder gesenkt, während der grosse Gewichtssatz durch die Winde 43 (Fig. 5) bewegt wird. Die kleinen Gewichtsscheiben 30 geben je 1000 kg, die grossen 31 je

10000 kg Belastung. Gollner wendet allerdings eine ähnliche Senkvorrichtung für die Gewichtssätze an (Taf. 13, Fig. 1 u. 3), aber er befolgt doch einen anderen Grundsatz. Während Emery und Martens einen Satz gleicher Gewichte benutzen, benutzt Gollner einen Satz von vier ungleichen Gewichten 47—50 (Fig. 1), so dass mittelst geeigneter Kombination dieser vier Gewichte, sowie von einer Anzahl in der Zeichnung nicht angegebener kleiner Gewichtsstücke und des Schiebegewichtes jede beliebige Belastung von 0 bis 20000 kg bis auf kleinste Stufen von 0,5 kg aufgebracht werden kann. [Diese kleinen Laststufen dürften aber wenig praktische Bedeutung haben gegenüber dem Umstande, dass Fehler bis zu 1% bei der Prüfung als zulässig erachtet werden müssen (506).] Die Gollnersche Anordnung der Gewichte bedingt, dass dann neben der mechanischen Aufsatzvorrichtung nun doch noch die Hand in Thätigkeit kommen muss, indem von Hand Querkeile in die Hängestange [mittlere Stange 46] gesteckt werden müssen. Diese Querkeile fangen das Gewichtsstück ab, welches zur Wirkung kommen soll; man kann also auf diese Weise die Auswahl zwischen den Gewichten 47—50 treffen und sie nach Bedarf kombinieren.

**509.** Unter die Wagen mit gleichbleibender Hebellänge und Aufsatzgewichten muss man auch die Wagen mit einem Schrotzulauf rechnen, wie er z. B. von F. Michaëlis angewendet wird. Die Maschine von Michaëlis wird namentlich zur Prüfung von Cement- und Mörtel-Probekörpern auf Zugfestigkeit benutzt; sie ist für Preussen als Normalapparat für die Cementprüfung vorgeschrieben und hat auch über die Grenzen Deutschlands hinaus eine sehr weite Verbreitung gefunden. Bei ihr sind die Zusatzgewichte alle gleich und sehr klein, entsprechend dem Gewicht der gleichzeitig auflaufenden Schrotkörner. Wird statt des Schrotzulaufes Wasserzulauf [siehe Fig. 358] benutzt, so findet eine stetige Belastungszunahme statt (L 259).

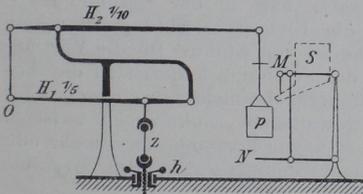


Fig. 357.

a. Wegen der Bedeutung des Michaëlisschen Apparates für die Cementprüfung und zugleich als Beispiel für verschiedene Punkte, die im Prüfungswesen Beachtung finden müssen, will ich hier den Apparat von Michaëlis etwas näher besprechen; er ist in Fig. 357 schematisch dargestellt.

Die Aufgaben der Antriebsvorrichtung werden von der Wage übernommen; wenn auch ein Handrad  $h$  mit Schraube vorhanden ist, wird dieses doch nur zur Einstellung der Wage in die Anfangslage benutzt. Die Wage hat eine Gesamtübersetzung von  $\frac{1}{50}$  und ist für 500 kg Kraftleistung gebaut. Die Belastung  $p$  wird durch Bleischrot erzeugt, welcher aus dem Gefäß  $S$  durch eine Rinne einläuft, deren Oeffnung so eingestellt werden kann, dass die in der Sekunde

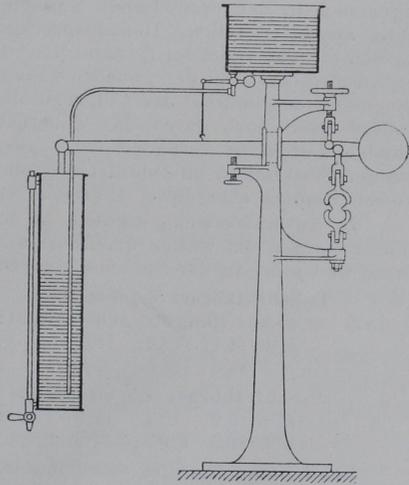


Fig. 358.

auslaufende Schrotmenge 100 gr beträgt. Wenn der Probekörper reisst, so fällt der Eimer  $p$  auf den Ausschalthebel  $N$  und veranlasst den Verschluss des Schrotzulaufes. Das Gewicht des Eimers sammt Schrotmenge wird dann nach Anhängung an die Oese  $o$  mittelst des Hebels  $H_2$  durch Gewichte festgestellt, die auf die kleine Schale zu setzen sind.

Trotz dieser dem Maschinenbauer und Mechaniker mindestens umständlich erscheinenden Konstruktionen und trotz des umständlichen Betriebes hat sich der Michæli'sche Apparat eine sehr grosse Verbreitung geschaffen. Das ist sicherlich Folge der leichten Uebersichtlichkeit und Zugänglichkeit der einzelnen Theile, der Leichtigkeit, mit welcher er kontrolirt werden kann, und wohl auch Folge der benutzten Probenform, sowie der guten Einspannung. Aber auch der Umstand, dass der Apparat in Preussen als officieller Apparat angenommen wurde, dürfte zu seiner allgemeinen Verbreitung beigetragen haben. Es ist merkwürdig, wie viele Nachahmer und Verbesserer dieser Apparat gefunden hat. Besonders versuchte man den Schrotzulauf, dessen Mängel und Umständlichkeiten ja auf der Hand liegen, durch Wasserbelastung zu ersetzen, vgl. den Apparat von Reid (L 47, 1878) Fig. 358. Hierbei ist denn meistens die Wassermenge an einem Standrohr, womöglich als Bruchspannung in kg/qcm ausgedrückt, abzulesen. Wie viel sicherer und einfacher wäre nicht die Anwendung der Neigungswage.

b. Die Wage selbst wurde von der Charlottenburger Versuchsanstalt durch direkte Belastung mit Gewichten bis zu 500 kg auf Genauigkeitsgrad und Empfindlichkeitsgrad, sowie auf die Formänderungen der Maschinenteile geprüft und bestand diese Prüfung vollkommen befriedigend. (L 1, 1896, S. 177.) Man fand, dass sich das Uebersetzungsverhältniss bei dem untersuchten Apparat nur sehr wenig ändert; es war im Mittel = 49,93 statt 50.

Ein Zusatz von 1 gr bringt die Wage um 12 mm aus der horizontalen Anfangslage, 10 gr um etwa 50 mm zum Ausschlag. Da die Senkung beim Versuch selbst bis zum Abreissen des Probekörpers etwa 30 mm betragen mag, so wird aus diesem Grunde die Kraft schätzungsweise um etwa  $7,50 = 350$  gr zu gering angezeigt werden d. h. die Zugfestigkeit bei dem normalen Probenquerschnitt  $f = 5$  qm um  $\Delta\sigma = \frac{0,35}{5} = 0,07$  at zu klein gefunden. Für die Normenfestigkeit von 16 at für 28 Tage alte Proben würde der Fehler also auf  $-0,44\%$  zu schätzen sein.

c. Von wesentlichem Einfluss auf das Prüfungsergebniss ist auch die Geschwindigkeit, mit welcher der Schrot in den Eimer läuft; deswegen ist für den Zugversuch in den preussischen Normen festgesetzt, dass in der Sekunde 100 gr Schrot auslaufen sollen. Dementsprechend ist die Einlaufvorrichtung zu regeln. Die Schrotgrösse und der Zustand der Oberfläche ist von Einfluss für die Wirkung des Ausfliessens. Bei der gleichen Einstellung des Schiebers ändert sich die Ausflussgeschwindigkeit mit der Zeit, weil die Schrotoberfläche nicht nur von der Luft, sondern auch noch durch das gelegentliche gewaltsame Einklemmen zwischen Schieber und Rinne verändert wird. So kann es sogar kommen, dass mehr oder weniger Stockungen im Zulauf eintreten. Folgende Versuchsergebnisse lassen den grossen Einfluss aller dieser Umstände erkennen.

d. Auslaufversuche ergaben, an dem gleichen Apparat bestimmt, wenn  $h$  die Höhe bedeutet, um welche der Abschlusschieber zum Oeffnen der Rinne gehoben wurde und  $p$  die in der Sekunde ausgelaufene Schrotmenge in gr bedeutet:

1. Schrotkörner 3,1 mm Dmr.

a) alt [längere Zeit benutzt:	b) neu
$h = 11,1; 12,0; 14,9$ mm	$h = 10,4; 11,1; 12,0; 14,9$ mm
$p = 88,5; 125,5; 238$ gr/sec.	$p = 140; 176; 227; 410$ gr/sec.

2. Schrotkörner 1,5 bis 2,5 mm Dmr.

$h = 9,7; 10,4; 11,1$ 12,0 mm
$p = 86,2; 120,5; 147,7; 184,5$ gr/sec.

Bei 1a fand häufiges Stocken statt; bei  $h = 11,1$  hörte nach 8–9 Sekunden das Fliessen oft ganz auf; bei 1b fand glattes Fliessen statt. Man sieht also, wie achtsam der Apparat behandelt werden muss, wenn er einwandfreie Ergebnisse liefern soll.

e. Von dem Augenblick des Probenbruches bis zum Abschliessen des Schrotzulaufes vergeht eine gewisse Zeit. Um die Schrotmenge, die während derselben

noch in den Eimer nachfliesst, wird also die Bruchlast zu gross gefunden. Die Fallhöhe des Bechers wird man auf etwa 5 cm schätzen können; demnach ist die Zeit vom Bruch bis zum Abschluss der Rinne:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,05}{9,81}} = 0,1 \text{ sec.}$$

Beim normalen Auslauf ist also die nachlaufende Menge auf etwa 0,1 · 100 = 10 gr zu schätzen, d. h. auf 500 gr Zugkraft am Probekörper. Die Zugfestigkeit würde also um  $\Delta\sigma = \frac{0,5}{5} = 0,1$  at zu gross angegeben werden; für die normenmässige 28-Tage-Festigkeit wäre das 0,5% zu viel. Was aber wichtig und rechnermässig nicht einfach verfolgbar ist, ist die Wirkung des Schrotstosses auf den Becher.

f. Die Form und Aufhängung der Einspannvorrichtung für den Zugkörper ist durch Fig. 359 gegeben. Der Bügel ist durch eine Körnerspitze getragen und kann sich deswegen leicht einstellen. Die Angriffsflächen des Bügels sollen, wie Schnitt *ab* zeigt, leicht gewölbt sein, damit der Angriff am Probekörper in 4 Punkten erfolgt, die möglichst in der Mittelebene der Probe liegen. Schiefe Einspannung und damit das Auftreten von

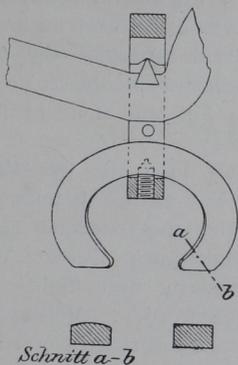


Fig. 359.

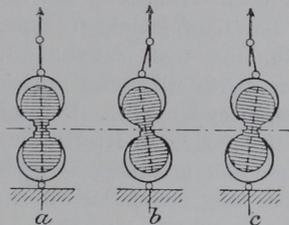


Fig. 360.

Biegungsspannungen im Körper, ist trotzdem nicht ausgeschlossen. Um über die Grösse des eintretenden Fehlers eine praktische Anschauung zu gewinnen, wurden mehrere Reihen von Proben mit absichtlich übertrieben schiefer Einspannung geprüft (vergl. Fig. 360 *a* bis *c*); man erhielt im Mittel für Fall

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
22,6	23,1	23,5 at.

Eine wesentliche Beeinflussung konnte nicht erwiesen werden, was namentlich aus den im Original (*L 1*, 1896 S. 177) mitgetheilten Einzelwerthen hervorgeht; die Fehlergrenzen des Versuches sind eben an sich schon zu hoch.

**510.** Auch der Auftrieb des Wassers [hydrostatische Wage] ist schon benutzt worden, um bei gleichbleibender Hebellänge eine Wage mit stetiger Belastungszunahme zu konstruiren; vergl. Maschine von Petit (*L 102*, 1888, S. 41, Fig. 28; *39*, 1895, S. 646) Taf. 15, Fig. 25. Zu welchen Ungeheuerlichkeiten man sich dabei verstiegen hat, erkennt man aus den Abmessungen für den Schwimmer, der bei 1,25 m Durchmesser 1,38 m Höhe hat. Zu beachten ist hierbei, dass die Wärmeausdehnung des Wassers und der Gefässe den Belastungswerth für 1 cm Steighöhe der Wage beeinträchtigen muss. Die Konstruktion der Maschine ist im übrigen aus der Zeichnung verständlich.

## 5. Laufgewichtswage.

### Laufgewicht und Skala.

**511.** Die Laufgewichtswage ist bei den Materialprüfungsmaschinen ausserordentlich viel verwendet. Sie bietet ohne Zweifel manchen Vortheil und ist weiterer Vervollkommnung wohl zugänglich.

Bei der einfachen Laufgewichtswage wird das auf dem Balken reitende oder auf einer besonderen Laufstange gleitende Gewicht von der Hand entweder an einer Theilung verschoben oder in besonderen Einkerbungen oder Einklinkungen festgestellt, die dann nach bestimmten Vielfachen fortschreitenden Gewichten entsprechen. Das Laufgewicht und die Balkenlänge wird nicht immer so bemessen, dass die Verschiebung des Gewichtes vom einen Ende bis zum anderen der ganzen Kraftleistung entspricht; vielfach werden bestimmte grosse Laststufen durch an das Balkenende angehängte Gewichte herbeigeführt, und innerhalb der hierdurch gegebenen Belastungsstufen wieder die Zwischenwerthe durch Verschieben des Laufgewichtes erzeugt, das dann natürlich für jede neue Stufe wieder auf den Nullpunkt zurückgeführt werden muss.

Bei den Laufgewichten erster Art richtet man die Verhältnisse oft auch so ein, dass man verschiedene Gewichtsstücke benutzt, so dass je nach der erforderlichen Kraftleistung ein leichteres oder ein schwereres Gewicht angewendet wird. Der vom Laufgewicht zurückgelegte Weg wird also für die geringen Kraftleistungen vergrössert, und kleine Momente können dann mit grösserer Sicherheit abgelesen werden. Meistens benutzt man hierbei die gleiche Skala mit Gewichten, die sich wie 1 : 10 : 100 oder 1 : 2 : 5 : 20 : 50 verhalten, so dass man leicht die Momente an derselben Bezifferung ablesen kann. Häufig werden auch zwei oder mehr Laufgewichte von verschiedener Grösse neben einander benutzt, die sich in der Regel wie 1 : 10, 1 : 100, 1 : 1000 verhalten. Dann wird das grosse Gewicht sprungweise von einer Einkerbung zur anderen versetzt, und das kleine Gewicht läuft jedesmal vom einen Ende seiner Skala zur anderen, die Zwischenmomente anzeigend.

**512.** Man kann die Benutzung der grossen Aufsatz- oder Laufgewichte gewissermaassen als eine Vergrösserung der Skala, d. h. Verlängerung des Wagehebels ansehen, die entsprechend den oben angegebenen Verhältnisszahlen gleich dem doppelten, fünf-, zehn- u. s. w. fachen der wirklichen Balkenlänge ist. Die Ablesung wird feiner und kann auch genau sein, wenn die Theilung der Skala genau ist, wenn das Uebersetzungsverhältniss der Wage auch während der Belastung unverändert bleibt und wenn der Empfindlichkeitsgrad der Wage für die feine Ablesung ausreicht. Angesichts der bei manchen Prüfungsmaschinen erkennbaren Uebertreibung dieser ideellen Hebelarmverlängerung muss man sich die Frage vorlegen, ob eine solche Verlängerung nöthig und zweckmässig sein kann? Ich glaube diese Frage verneinen zu sollen.

Wenn wir die Ueberzeugung haben müssen, dass die Ungleichmässigkeit des Materials uns im Allgemeinen hindert, dessen Festigkeit mit mehr als 1% Zuverlässigkeit festzustellen [von ganz besonderen Ausnahmefällen abgesehen, wird diese Grenze sogar in den weitaus meisten Fällen gar

nicht einmal annähernd erreicht], wenn wir wissen, dass es ausserordentlich schwer ist, unseren Probirmaschinen einen wesentlich grösseren Genauigkeitsgrad als 1% zu verleihen, wenn selbst unsere besten Feinmessapparate zur Bestimmung der Formänderungen höchstens etwa 0,5% Genauigkeit sicherstellen, wenn wir als praktische Konstrukteure wissen, dass unsere Rechnungen mit überlieferten Mittelwerthen den wahren Eigenschaften des verwendeten Materials nicht entsprechen, wenn wir wissen, dass diese unsere Rechnungen Annäherungsrechnungen sind, die ganz gewiss mit mehr als 1% von der Wirklichkeit abweichen, was hat es dann für einen Sinn, die Genauigkeit der Ablesung an der Wage zu übertreiben? Warum bleiben wir da nicht innerhalb der Grenzen des praktisch Nothwendigen und mit einfachen Mitteln Erreichbaren?

Ich meine, wenn der Hebel einer Laufgewichtswage so lang gemacht wird, dass man bei den kleinsten Probestücken, für die die Maschine vernunftgemäss noch benutzt werden kann, die Gewichte mit 1% der anzuwendenden Bruchlasten sicher bestimmen kann, so ist das völlig ausreichend; denn ebenso verkehrt, wie es sein würde, an einer Schwarzwälder Uhr Sekunden zu messen, ebenso verkehrt ist es, auf einer 50000 kg Maschine Drähte oder gar Pferdehaare zu zerreißen.

Bei der Forderung von 1% Genauigkeit dürfte es völlig genügen, wenn der Balken in  $\frac{1}{1000}$  der grössten Krafftleistung der Maschine eingetheilt ist. Ist die Theilung scharf eingeschnitten und die Strichentfernung 1 mm oder mehr, so kann man dann immer noch Fünftel oder Zehntel der Theilung, also  $\frac{1}{8000}$  oder  $\frac{1}{10000}$  der höchsten Krafftleistung schätzen, bei 50000 kg also bis auf 5 kg; der Fehler, mit dem eine Ablesung behaftet ist, braucht dann nicht grösser als  $\pm 10$  kg angenommen zu werden. Sehr wahrscheinlich wird die Maschine einen weit geringeren Genauigkeitsgrad besitzen. Die Empfindlichkeit geht zuweilen noch weiter; meine 50000 kg-Maschine (Taf. 5) zeigt z. B. im Leergange ganz deutlich ein Gewicht von 0,5 kg an, das an die Einspannklaue gehängt wird. Wenn die Wage empfindlich genug ist, so wird man selbst bei einem einzigen Laufgewicht unter den eben besprochenen Verhältnissen noch Laststufen von 1000 kg für die Feinmessungen mit ausreichender Genauigkeit einstellen können, denn der mittlere Fehler der Einstellung wird weit geringer als 1% werden, da ja bei den Feinmessungen nicht Einzelwerthe ermittelt, sondern immer Messungsreihen ausgeführt werden. Will man die Einstellung für die Feinmessungen noch sicherer machen und ist genügend Empfindlichkeit der Wage vorhanden, so sollte man die Einrichtung treffen, dass für die Feinmessungen ein wesentlich kleineres Laufgewicht [ $\frac{1}{10}$  des grossen] benutzt wird.

**513.** An dieser Stelle möchte ich auf einen Vorschlag zurückgreifen, den ich schon im Abs. 40, S. 22 machte. Durch geschickte Konstruktion des Laufgewichtes kann man mit leichter Mühe erreichen, dass das Gewicht dem jedesmaligen Probenquerschnitt  $f$  beim Zerreißversuch so angepasst wird, dass die Ablesungen an der Skala unmittelbar die Spannungen  $\sigma$  im Probestab in at (kg/qcm) anzeigen. Für die in der Regel vorkommenden Querschnitte würde man einige Hauptgewichte haben, die so einzurichten wären, dass sie mit der eigentlichen Reitervorrichtung derartig verbunden werden können, dass eine Schwerpunktsverschie-

bung ausgeschlossen ist. Für grössere, nicht mehr vernachlässigbare Abweichungen des Probenquerschnittes von dem normalen Querschnitt, wie sie in Folge von Bearbeitungsfehlern vorkommen, würde man Zusatzgewichte hinzuzufügen haben.

In Verbindung mit einer solchen Einrichtung würde man dann die Formänderungen des Stabes unmittelbar in Procenten der ursprünglichen Länge nach den in Abs. 40, 137 angegebenen Maassnahmen ablesen oder von der Maschine aufzeichnen lassen und gewönne auf diese Weise Prüfungsergebnisse, die sich unmittelbar mit einander vergleichen lassen oder bei gleichem Material sich decken. Welche grossen Vortheile hiermit gegeben sein würden, geht aus dem früher Gesagten mehrfach hervor (40); ich will das hier nicht wiederholen, sondern nur darauf aufmerksam machen, auf wie verschiedene Weise man den gedachten Zweck erreichen kann.

**514.** Ebenso wie man die Skala gleichbleibend benutzt und das Gewicht von veränderlicher Grösse macht, kann man bei der Laufgewichtswage bei gleichbleibendem Gewicht und fester Hebelänge die Theilung entsprechend dem Probenquerschnitt veränderlich machen, so dass man die Spannungen  $\sigma$  an der dem jeweiligen Probenquerschnitt entsprechenden Skala abliest. Dabei braucht man keineswegs eine Reihe von Skalen auf dem Hebelarm einzugraviren. Vielmehr kann man beispielsweise einen sogenannten verjüngten Maassstab, mit von einem Punkte ausstrahlenden Theilstrichen, auf dem Hebelarm anbringen. Dieser Maassstab würde dann allen Skalen entsprechen, die für einen gewissen kleinsten und grössten Probenquerschnitt gültig sind und man brauchte mit dem Laufgewicht nur eine Zeigermarke zu verbinden, die, wie in Fig. 361 angedeutet, auf der dem Stabquerschnitt  $f$  entsprechenden Linie, die in jedem Augenblick herrschende Spannung  $\sigma$  in at angiebt. Man wird selbstverständlich die Zeigermarke so einrichten, dass sie genau auf die dem Querschnitt  $f$  entsprechende Linie zeigt. Wenn man den Kunstgriff braucht, mehrere auswechselbare Laufgewichte zu benutzen, so braucht der verjüngte Maassstab gar nicht einmal einen grossen Umfang zu haben.

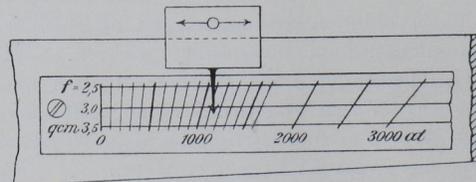


Fig. 361.

Ebenso könnte man die verjüngten Maassstäbe auf Metallstreifen auftragen, die auswechselbar am Wagehebel zu befestigen wären. Auch könnten die Skalen auf einen Cylindermantel gewickelt werden, so dass die dem Stabquerschnitt entsprechende Linie durch Drehen des Cylinders auf die Zeigermarke des Laufgewichtes eingestellt werden müsste. Diese Skalen könnten bei geeigneter Konstruktion des Laufgewichtes natürlich auch neben dem Hebel am Maschinengestell befestigt werden.

### Fortbewegung des Laufgewichtes.

**515.** Für die Fortbewegung des Laufgewichtes sind die mannigfaltigsten Konstruktionen im Gebrauch, so dass ich hier nur die charakteristischen besprechen kann.

Die Fortbewegung von Hand in ihrer einfachsten Form ist in den vorausgehenden Absätzen schon berührt. Diese Bewegung wird oft durch eine besondere von Hand betriebene Vorkehrung mittelst Schnurzug oder Schraube auf das Laufgewicht übertragen, wobei man die Zeigermarke des Wagebalkens fortgesetzt im Einspielen zu erhalten sucht. Der Antrieb durch Schnur oder Schraube muss selbstverständlich so konstruirt sein, dass durch die zur Fortbewegung des Gewichtes erforderliche Kraft kein Moment auf die Wage übertragen werden kann. Die Kraft- und Widerstandsrichtungen sollten daher stets durch die Mittelschneide gehen.

**516.** Die Bewegung des Laufgewichtes durch Schnurzug ist beispielsweise bei der Maschine von Delaloë Taf. 15, Fig. 19 und 20 (*L* 38, 1887, S. 273, *L* 34, 1891, S. 25) und bei den Maschinen von Greenwood & Batley, Taf. 17, Fig. 1—6 benutzt.

**517.** Bei der Maschine von Mohr & Federhaff, Taf. 6, Fig. 1 wird die im Hebel an beiden Enden gelagerte Schraube 26 durch eine am Maschinengestell parallel zu ihr gelagerte Welle mittelst Zahnräder bewegt, deren Eingriff in der Verlängerung der Stützschnide für den Laufgewichtshebel liegt. Das Drehmoment der Zahnräder wirkt dabei senkrecht zur Schwingungsebene des Wagehebels, so dass nur die sehr geringe Reibung zwischen den Zahnflanken einen wahrscheinlich sehr kleinen Einfluss auf die Empfindlichkeit der Wage ausüben wird. Die Antriebswelle kann von beiden Enden aus mit Handrad bewegt werden.

**518.** Die Grafenstadener Maschine, Taf. 8, Fig. 1, 2 und 30, ist mit einer ähnlichen Einrichtung versehen. Das Schraubenrad 40 treibt die Schraube 8 zur Bewegung des Laufgewichtes 9. Die Hebeltheilung für das Laufgewicht geht bis auf 40 000 kg. Soll die Maschine bis zu 50 000 kg benutzt werden, so wird das Zusatzgewicht für 10 000 kg Belastungswerth aufgesetzt; dieser Werth ist dann den Ablesungswerthen hinzuzufügen. Das Schraubenrad 40 und die Schraube 8 machen gleiche Umdrehungen wie die Antriebswelle 39 mit dem Handrad 37. Der Gewichtshebel hat Theilung von je 500 kg. Eine Umdrehung des Handrades 37 verschiebt das Laufgewicht um eine Theilung, und da das Handrad in 50 Theile getheilt ist, so entspricht die Theilung je 10 kg Belastung. Die ganzen Umdrehungen dieses Rades werden durch eine horizontal laufende Zählscheibe gezählt, welche ebenfalls die Theilung für je 500 kg trägt; an ihr kann man also die Stellung des Laufgewichtes am Hebel ebenfalls ablesen.

**518a.** L. Paupier-Paris (*L* 183, S. 12, Taf. I, Fig. 7) baut Maschinen für Cementprüfung, bei denen der Antrieb durch die Laufgewichtswage mit besorgt wird. Die Maschinen sind für Zug- und Druckversuche bis zu 2000 kg bestimmt.

**519.** Bei der Wickstedt-Maschine, Taf. 16, wird das schwere Laufgewicht 14, mit Rädern auf Schienen am Hebel 13 laufend, entweder von Hand mittelst des Handrades 17 oder durch ein Riemenvorlege 23 be-

wegt. Der Vorwärts- und Rückwärtsgang wird durch die Handhabe 41 eingeleitet. Die Fortbewegung geschieht durch das Räderwerk 16, das auf die Schraube 15 wirkt. Bei der neuesten Form der Wicksteed-Maschine findet die Bewegung des Laufgewichtes durch eine wagrecht angebrachte hydraulische Presse statt. (L 235.)

**520.** Bei dem in Fig. 350 dargestellten Laufgewicht der Torsionsmaschine von Martens ist das Laufgewicht als Rolle 7 ausgebildet, die zwischen Spitzen in der durch Gegengewicht ausgeglichenen Gabel eines Wagens läuft, der seinerseits auf zwei Leitschienen durch Schraube verschoben wird. Die Einstellung des Wagens und damit auch die der Rolle, werden auf der Skala und am Handrad abgelesen (524).

**521.** Als Beispiel von mechanisch betriebenen Laufgewichten wurde schon die Maschine von Wicksteed erwähnt (519). Bei dieser Maschine muss aber der Beobachter die Geschwindigkeit der Fortbewegung des Laufgewichtes noch so regeln, dass die Wage möglichst unausgesetzt im Einspielen bleibt. Bei anderen Konstruktionen ist die Sache so geordnet, dass die Geschwindigkeit von der Maschine beeinflusst wird. Diese Selbstregelung kann man nach verschiedenen Gesichtspunkten vornehmen. Meistens lässt man den Antrieb mit einer bestimmten Geschwindigkeit vorgehen und ändert dann das Moment des Kraftmessers in der Weise, dass die Wage immer nahezu im Einspielen erhalten wird. Man kann aber auch den umgekehrten Weg verfolgen und das Moment des Kraftmessers gleichförmig wachsen lassen und hiernach die Geschwindigkeit des Antriebes so regeln, dass die Wage im Einspielen bleibt. Zur Steuerung der Bewegungsvorrichtungen benutzt man im ersten Falle meistens die Bewegungen des Hebels.

**522.** Auf meiner Studienreise in Nordamerika sah ich eine Einrichtung, bei der auf einfachem mechanischen Wege das Laufgewicht durch ein Getriebe bewegt wurde, welches vom Wagebalken gebremst wurde. Ich habe das Schema hierzu in Fig. 362 nach dem Gedächtniss wiedergegeben, da ich einen Theil meiner Notizen leider unterwegs verloren habe. Die Vorrichtung war an der Maschine nachträglich angebracht. Das Laufgewicht *p* wurde auf dem Balken durch das von dem Gewicht 5 getriebene Laufwerk 1 verschoben. Die Nase 2 am Hebel hemmte das Laufwerk, wenn er nach unten ausschlug; es lief also nur im Sinne der Belastung. In Fig. 362 deutete ich am Gewicht eine Rolle 3 an, über welche die Treib-

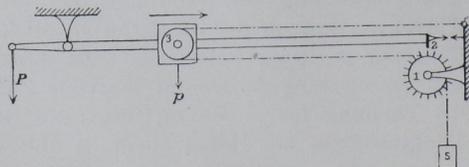


Fig. 362.

schnur nach Punkt 4 am Maschinengestell läuft. In Wirklichkeit war die Ausführung viel einfacher; ich wollte aber darauf hinweisen, dass die Zugrichtung der Fortbewegungskraft durch die Mittelschneide gehen muss und vor allen Dingen einen Uebergang zu Fig. 363 schaffen, welche zeigt, wie man diese einfache Vorrichtung auch für Hin- und Rücklauf des Gewichtes

einrichten kann. In Fig. 363 sind zwei Laufwerke angebracht, die in der Mittellage des Hebels beide von den Nasen 2 gehemmt, aber wechselseitig freigelassen werden, wenn das Gleichgewicht gestört wird. Laufwerk 1 besorgt den Hingang, es wird durch Gewicht 5 getrieben; Laufwerk 4 bewirkt den Rückgang, es wird durch Gewicht 7 mittelst Rolle 8 getrieben, während Gewicht 6 nur zur Schnurspannung dient.

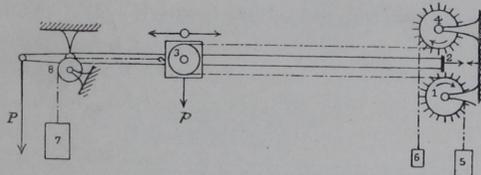


Fig. 363.

**523.** Der zuletzt beschriebene Grundsatz steckt schliesslich auch in dem Apparate, mit welchem ich meine 50 000 kg-Maschine für die Aufzeichnung des Schaubildes ausrüstete, wenn hierbei auch nicht das Laufgewicht einer Wage bewegt, sondern das Quecksilbergefäss eines Manometers gehoben und gesenkt wurde. Der Grundsatz lässt sich auch in der von mir für diesen Fall gewählten Form auf die Bedienung der Laufgewichtswage übertragen. Mein Apparat ist in (L 162) ausführlich beschrieben, besonders habe ich dort die zahlreichen Erfahrungen niedergelegt, die ich bei dem Bestreben machte, sehr grosse Uebersetzungsverhältnisse zu erzielen. Weil gerade dieses Beispiel lehrreich ist, habe ich es in Abs. 563 beschrieben, obwohl es für das praktische Versuchswesen schliesslich von nebensächlicher Bedeutung ist; ich begnüge mich daher an dieser Stelle mit der Bemerkung, dass der Apparat aus zwei elektromagnetisch gebremsten Laufwerken besteht, an welchen mit loser Rolle das Quecksilbergefäss [Laufgewicht] hängt. Das linke Werk dient zum Heben des Gefässes, es wird durch ein schweres Gewicht getrieben, während das rechte Werk durch das sinkende Quecksilbergefäss von kleinerem Gewicht bewegt wird. Die Bewegung des einen oder des anderen Laufwerkes wird wechselseitig durch den elektrischen Strom gehemmt, der, abhängig von der auf den Probestab übertragenen Kraft, durch eine Kontaktvorrichtung so gesteuert wird, dass der Apparat stets mit sehr kleinem Spiel um die Gleichgewichtslage der Belastungsvorrichtung schwankt. Das Quecksilbergefäss folgt auf diese Weise genau der im Probekörper herrschenden Inanspruchnahme, und sein Stand ist ein Maass für diese Kraft.

**524.** Man kann das, was man bei dem vorigen Beispiel durch Elektrizität bewirkte, auch mit Wasserbetrieb erreichen. Ich benutzte die Gelegenheit der Berliner Unfallverhütungsausstellung, um diesen Grundsatz an einer kleinen Maschine für 500 kg-Leistung vorzuführen, die nach meinen Plänen von der Werkstatt der Versuchsanstalt gebaut wurde und Gegenstand der Ausstellung der Anstalt war. Sie ist in Fig. 364 in 1 : 12,5 nat. Gr. dargestellt.

Der Antrieb erfolgt durch einen von der Wasserleitung getriebenen Liderkolben 3, dem vor- und rückläufige Bewegung durch Umsteuerung des Hahnes 22 erteilt werden kann.

Das Laufgewicht ist durch einen Wagen 9, mittelst der um den Mittelzapfen schwingenden Gabel, in Spitzen so geführt, dass auf den Wagebalken fast nur das Eigengewicht der grossen Rolle wirkt. Der Wagen läuft auf den beiden Seitenschienen 8; er wird getrieben durch ein Uhrfeder-Stahlband 10, das an den Stift 11 am Wagen angreift. Dem Wagebalken 7 ist zwischen den Stellschrauben 23 nur ein ganz geringes Spiel gewährt. Dieses Spiel wird auf Stange 18 übertragen, die in dem Ventilgehäuse 19 einen entlasteten Schieber bewegt. Die Kanäle sind in das

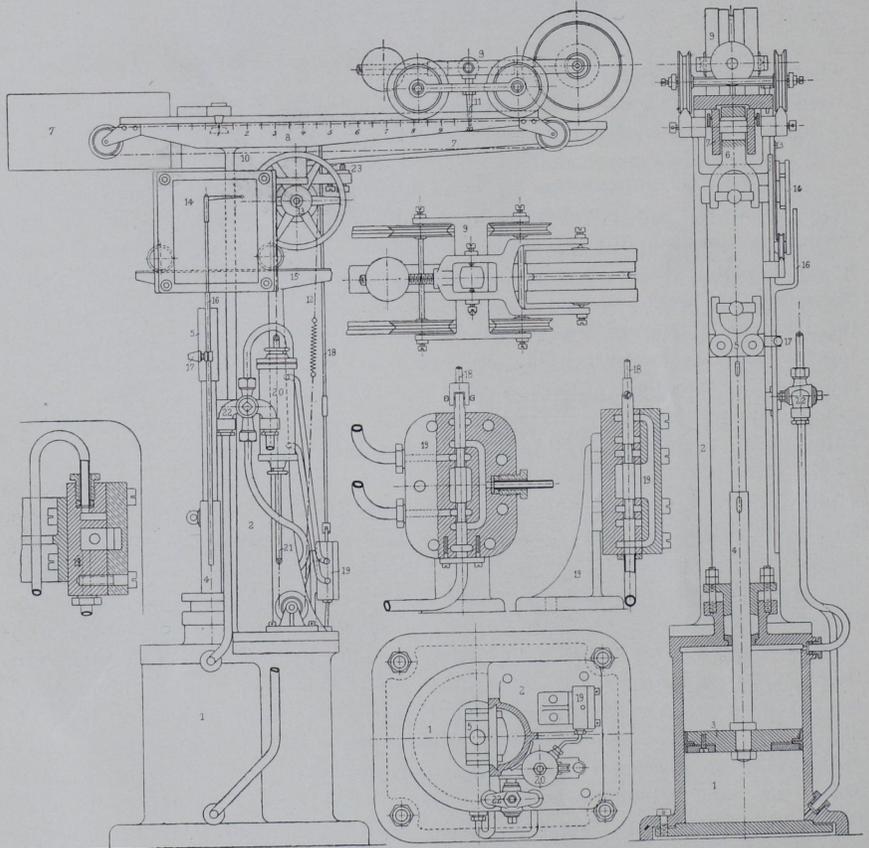


Fig. 364.

Gehäuse 19 eingefräst, wie aus Fig. 364 zu ersehen ist. Man erreicht hierdurch sehr scharfe Abschlusskanten, und ein geringes Spiel von wenigen Zehntel-Millimetern genügt für die Umsteuerung. Diese setzt abwechselnd den oberen oder unteren Raum des Cylinders 20 mit der Druckwasser- oder mit der Abflussleitung in Verbindung. Dadurch wird die mit der Kolbenstange 21 verbundene Uhrfeder 12 hin und her bewegt, welche nun das Getriebe 13 in Thätigkeit bringt. Dieses muss der Bewegung des Steuerventils, d. h. des Wagebalkens 7 folgen, und dadurch wird mittelst des am Getriebe befestigten Bandes 10 das Laufgewicht um die jeweilige Gleichgewichtslage der Wage pendelnd erhalten. Die Gleichgewichtslage

ist aber abhängig von der Spannung in der zu untersuchenden Probe. Die hin und her gehende Bewegung des Getriebes wird mit Hilfe einer Zahnstange auf die Zeichentafel 14 übertragen, die auf der Führung 15 mit Rollen läuft. Der Zeichenstift schreibt ausserdem die Längenänderungen der Probe auf, da er durch Stange 16 und Klemme 17 mit der unteren Einspannklaue 5 verkuppelt ist.

**525.** Der Antrieb der Maschine von Olsen (Taf. 20) und die Fortbewegung des Laufgewichtes ist in Fig. 365 schematisch erläutert. Ich will die Beschreibung hiernach gleich auf die ganze Einrichtung erstrecken; sie wiederholt sich in geringer Veränderung bei den meisten Olsenschen Maschinen; der Vergleich mit Fig. 365 wird auch die Abbildungen auf Taf. 20 leicht verständlich machen.

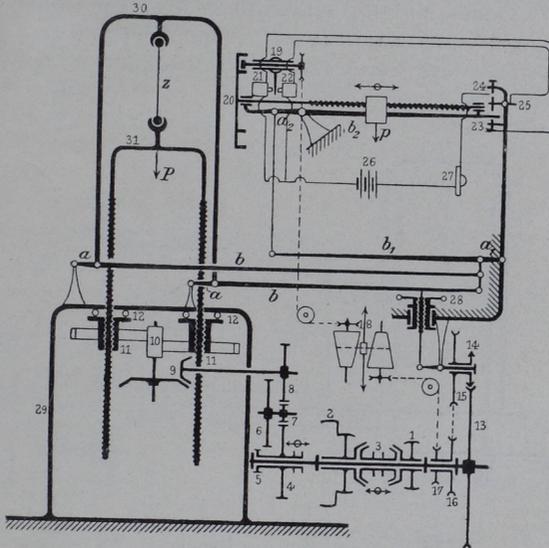


Fig. 365.

Bei der Olsenschen Maschine wird das Laufgewicht durch eine von dem Antriebe aus mittelst Schnurlauf betriebene Schraube bewegt; die Bewegungsrichtung wird selbstthätig durch das Spiel des Wagehebels mittelst einer elektrischen Umsteuerung geregelt. Der Antrieb des Schnurlaufes erfolgt von der Hauptwelle aus, die durch gekreuzten und offenen Riemen mittelst der Riemenscheiben 1 und 2 (Fig. 365), je nach dem Eingriff der Reibungskuppelung 3, rechts- oder linksdrehend bewegt wird. Diese Bewegung wird durch ein Rädervorgelege 4 bis 11 auf die vier Schrauben des Querhauptes 31 übertragen [12 sind vier Kugellager, die zur Reibungsverminderung dienen]. Hierdurch wird die Zugkraft mittelbar durch die Probe und das Querhaupt 30 oder unmittelbar durch den Druckprobenkörper auf den in Fig. 365 fortgelassenen Tisch abgegeben, der in den gegabelt ausgeführten beiden unteren Hebeln ( $ab$ ) vier Stützpunkte findet. Von diesen Hebeln wird die Kraft mittelst des Hebels  $a_1b_1$  auf den Laufgewichtshebel übertragen. In dem Laufgewichtshebel  $a_2b_2$  ist die Fortbewegungsschraube für das Laufgewicht gelagert, er ist am linken Ende

mit einer Zifferscheibe versehen, die zwei Reibungsränder besitzt, an welche das kleine Reibungsvorgelege 19 angreift, das, je nachdem an welchem Rande es angreift, rechts- oder linksdrehend auf Scheibe 20 wirkt. Die Umsteuerung dieses schwingend gelagerten Vorgeleges geschieht mit Hilfe der Elektromagneten 21 und 22 durch den Strom der Batterie 26, wenn Kontakt 25 geschlossen ist, so dass Belastung, und wenn Kontakt 23 geschlossen ist, Entlastung der Wage erfolgt. Wenn das Laufgewicht dem Wachstum der Spannung im Probekörper nicht folgen kann, so wird erst der federnde Kontakt 25 geschlossen und darauf 24; hierdurch macht die Klingel 27 den Beobachter auf diesen Zustand aufmerksam. Der Beobachter kann dann die Geschwindigkeit des Hauptgewichtes regeln, indem er das in den Schnurlauf eingeschaltete Kegel-Riemengetriebe 18 entsprechend einstellt. Dieses erhält seine Bewegung durch den Schnurtrieb 13 bis 17, indem mittelst Schraube 28 das am Hebel laufende Reibungsrad 14 an 13 angepresst wird. Die Zifferscheibe 20 giebt die Hunderter und Zehner an, während die Tausender an der Hebeltheilung vom Laufgewichte angezeigt werden.

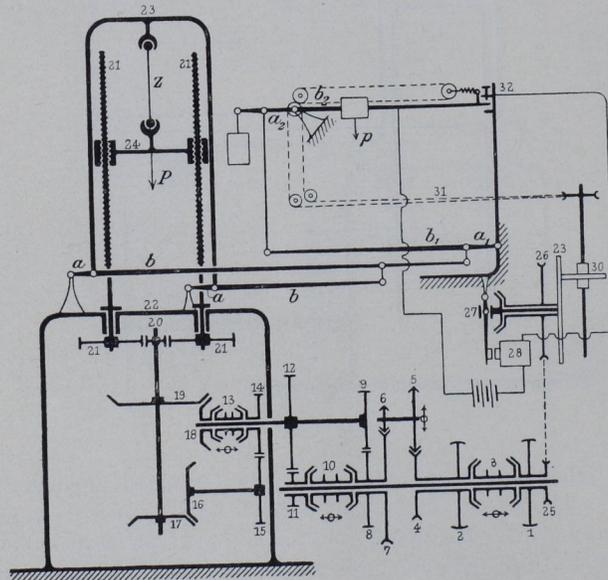


Fig. 366.

**526.** Der Antrieb der Maschine von Riehlé ähnelt in der ganzen Anlage demjenigen der Olsen-Maschine; er ist in Fig. 366 mit Auslassung einiger Zwischenräder schematisch dargestellt. Der Antrieb erfolgt durch offenen und gekreuzten Riemen; er wird unter Benutzung der Kuppelungen 3, 10 und 13 und des Reibungsvorgeleges 5, 6 durch die Triebe 4, 7, 8, 9, 11, 12, 14 bis 20 auf die beiden Zugschrauben 21 mit verschiedenen Geschwindigkeiten übertragen. Die Schrauben 21 geben die Kraft an den Zug- oder Druckprobekörper ab, von wo aus sie mittelbar oder unmittelbar zunächst auf den [in Fig. 366 fortgelassenen] Tisch und von diesem auf die vier Stützpunkte der beiden gegabelten Hebel *ab* übertragen werden.

Durch Hebel  $a_1 b_1$  wird die Kraft an den Laufgewichtshebel  $a_2 b_2$  abgegeben. Das Laufgewicht der Wage wird durch den Schnurtrieb 31 voran bewegt. Der Schnurtrieb wird von der Haupttriebwellen aus durch Scheiben 25, 26 getrieben, von denen 26 mittelst der elektromagnetisch schliessbaren Kuppelung 27 mit dem Scheibenrad 29 gekuppelt werden kann. Von 29 aus treibt das Reibungsrad 30, das von der Hand auf beliebige vor- und rückläufige Bewegung eingestellt werden kann, den Schnurlauf 31. Der Stromkreis zum Elektromagneten 28 wird durch den Laufgewichtshebel und Kontakt 32 beherrscht.

**527.** Eine Eigenthümlichkeit zeigt noch das Laufgewicht selbst; es ist nämlich mit einer Theilscheibe versehen, die in einer Oeffnung Hunderter und Zehner abzulesen gestattet, während die Tausender an der Balkentheilung abgelesen werden. Der Antrieb der Zählscheibe erfolgt durch eine am Hebel befestigte Zahnstange.

**528.** Riehlé Bros. benutzen auch eine Form des Laufgewichtshebels, bei der dieser Hebel durch die Schraube selbst gebildet ist, während die im Laufgewicht drehbar gelagerte Mutter von einer schwachen am Hebel gelagerten Welle aus mittelst Stirnradtriebes gedreht wird. Die Mutter verschiebt so sich selbst und das Laufgewicht, das auf Rädchen in einer Nuth der Schraube läuft. Die Hebeltheilung zeigt die Tausender und die Theilung auf der Mutter Hunderter und Zehner an.

**529.** Noch viel verwickelter sind die von Fairbanks benutzten Konstruktionen. Er bewegt das Laufgewicht mittelst elektromagnetischer Maschinen, die im Laufgewicht selbst angebracht sind. Da die Fairbanks-Maschinen, wie es scheint, nicht mehr gebaut werden, will ich mich hier mit der Aufzählung begnügen (*L 113 u. 221*).

a) Die elektrischen und elektromagnetischen Umsteuerungen oder Antriebe der Laufgewichte, haben in letzter Zeit immer mehr Anwendung gefunden. Das ist bei dem grossen Fortschritt, den die Anwendung der Elektrizität in der Technik gemacht hat, an sich begreiflich. Ich halte mich aber doch für verpflichtet, auch hier die Frage nach der Nothwendigkeit und Zweckmässigkeit der Anwendung zu stellen und aus eigener Erfahrung und Beobachtung an fremden Orten das Folgende mitzuthemen, um daran wieder den Ruf anzuschliessen, dass man den einfachen und sicheren Konstruktionen immer den Vorzug geben soll, wenn sich mit ihnen der für das Materialprüfungswesen nothwendige und ausreichende Genauigkeitsgrad der Arbeit erzielen lässt. Die exakte Leistung, die sich bei geschickter Benutzung der Elektrizität ja ohne allen Zweifel erreichen lässt, und die sinnreichen Konstruktionen bestechen immer wieder zu neuen Konstruktionen an. Bei sauberster Instandhaltung und unausgesetzter Aufmerksamkeit lassen sich ja auch vorzügliche Ergebnisse erzielen, aber für die allgemeine Praxis, wo man solche Aufmerksamkeit nicht spenden kann, sollte man verwickelten Konstruktionen fern bleiben. Jedenfalls ist es, übrigens nicht blos beim elektrischen Betriebe, nothwendig, dass man sich von der Zuverlässigkeit und von den Fehlergrenzen beim mechanischen Antrieb der Laufgewichte Kenntniss verschafft.

b) Als Beispiel will ich hier einige Versuche mittheilen, die ich mit elektrisch umgesteuerten Laufgewichten anstellte; da es sich um fremde Maschinen handelt und die Namen für das, was ich zu sagen habe, gleichgültig sind, so nenne ich die Maschinenart nicht. Es liegen zwei Konstruktionen vor, die eine nach Fig. 367, die andere nach Fig. 368.

Es ist klar, dass das einmal in Bewegung befindliche Laufgewicht über das Ziel hinausschiessen wird, wenn die Bewegung schnell und die bewegte Masse gross ist. Das Laufgewicht wird also mehr oder minder weit über die jeweilige Gleichgewichtslage hinausgehen und die Wage wird dann nicht in der Einspiel-

lage des Balkens zur Ruhe kommen, sondern sich höher oder tiefer einstellen. Geschieht die Umsteuerung des Laufgewichtes, wie in Fig. 367 und 368 vorausgesetzt, durch elektrische Kontakte, so wird, wenn das Spiel zwischen den Kontakten gross genug ist, der Balken zwischen ihnen zum Einspielen kommen können. Ganz besonders kann dies aber auch dann eintreten, wenn die Vorkehrung zur Uebertragung der Bewegung auf das Laufgewicht Kraft- oder Reibungsmomente an die Wage abgibt und diese unempfindlich macht. In diesen Fällen zeigt also die Stellung des Laufgewichtes nicht die auf den Probestab wirklich ausgeübte Kraft an. Durch den Versuch lässt sich ein Urtheil über die Grösse der entstehenden Fehler gewinnen.

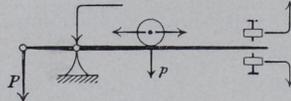


Fig. 367.

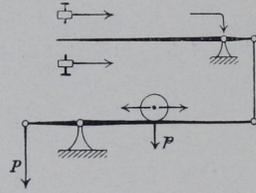


Fig. 368.

Zu dem Zweck beschwerte ich den kurzen Hebel noch mit dem Gewicht  $P$  und liess dann in mehrfacher Wiederholung die Wage durch den mechanischen Antrieb der Maschine entweder durch Bewegung im Sinne der Belastung oder der Entlastung zum Einspielen kommen; dies kann durch Niederdrücken oder Anheben des Hebels bis zum Kontakt und plötzliches Loslassen leicht eingeleitet werden. Bei zwei nach Fig. 367 und 368 angeordneten Maschinen [A und B] erhielt ich folgende Ablesungen:

	Hebel nach oben	nach unten gedrückt:
Masch. A:	2000	2000
	00	00
	15	15
	15	10
	03	17
Mittel:	$2006,6 \pm 4,4$	$2008,4 \pm 4,9$
Unterschied:	1,8	
Masch. B:	6320	6360
	40	40
	00	60
	30	10
	288	70
Mittel:	$6315,6 \pm 12,9$	$6348,0 \pm 14,4$
Unterschied:	32,4	
Bei der Anordnung nach Fig. 368 ergab sich:		
Masch. C:	14380	15068
	315	60
	340	68
	410	72
	295	62
Mittel:	$14348 \pm 28,4$	$15066 \pm 3,0$
Unterschied:	718	

Der Unterschied in den mittleren Einstellungen für Be- und Entlastung fällt bei Maschine A noch in die Fehlergrenzen für die Einstellung; er ist kleiner als der wahrscheinliche Fehler der Einstellung. Bei Maschine B ist dieser Unterschied schon erheblich grösser als der wahrscheinliche Fehler; man muss daher die Ursache hierfür in der ungünstigen Anordnung der Kontakte oder anderen in der Maschine liegenden Dingen suchen. Bei Maschine C zeigt sich ohne weiteres die ungeschickte Anwendung der ganz weit gestellten Kontakte, wie ich es in

Fig. 368 andeutete. Der Konstrukteur hatte im Uebereifer einen besonderen Hebel für die Vergrößerung der Laufhebelbewegung angebracht, weil er glaubte, die Empfindlichkeit der Maschine zu erhöhen. Mit welchem Erfolg das geschehen ist, zeigt der Unterschied von 718 Einheiten, welcher den wahrscheinlichen Fehler der Einstellungen an sich um das 46fache übertrifft. Die Benutzung der Maschine in diesem Zustande ist natürlich bedenklich. Es liegt auf der Hand, dass dieser Fehler durch einfaches Aneinanderrücken der Kontakte beseitigt werden kann, das so lange fortzusetzen ist, bis der Unterschied etwa die Grösse der wahrscheinlichen Einstellfehler erreicht.

c) Welchen grossen Einfluss bei den Laufgewichtswagen die Geschwindigkeit hat, mit welcher das Laufgewicht bewegt wird, zeigt folgendes Beispiel, das an der ersten der drei vorhin in Vergleich gestellten Maschinen gewonnen wurde. Ich liess bei Maschine A die Einstellungen im Sinne der Belastung einmal bei sehr langsamem und einmal bei sehr schnellem Gange des Laufgewichtes machen und erhielt

	langsamer Gang	schneller Gang
Masch. A:	2020	1975
	50	40
	50	70
	00	00
	00	30
Mittel:	$2024 \pm 15,1$	$1943 \pm 18,6$
Unterschied:	81	

Bei diesen Versuchsreihen ergab die Maschine grössere wahrscheinliche Fehler der Einstellung und einen beträchtlichen Unterschied in der angezeigten Gleichgewichtslage bei der gleichen Belastung; dieser Unterschied betrug immerhin das Fünffache des wahrscheinlichen Fehlers und dieser war gewachsen.

Die hier angeführten Beispiele zeigen wiederum schlagend, wie nothwendig es ist, Maschinen genau auf ihre Zuverlässigkeit zu prüfen. Ich bin sehr neugierig auf die Ergebnisse, die man finden wird, wenn einmal Maschinen mit schweren Laufgewichtern und grossen Hebelmassen auf die Zuverlässigkeit ihrer Anzeigen geprüft werden.

**530.** Bei Benutzung der mechanischen oder elektrischen Umsteuerung des Laufgewichtes kann man, wie wohl aus den voraufgehenden Absätzen schon zum Bewusstsein gekommen ist, zwei Wirkungsweisen der Umsteuerung unterscheiden, die freilich in einander übergehen können. Bei der einen [Fig. 368 zeigt davon ein übertriebenes Beispiel] ist die Umsteuerung derartig geregelt, dass die Wage zwischen den die Umsteuerung veranlassenden äussersten Stellungen [zwischen den Kontakten] spielen und gegebenen Falles zur Ruhe kommen kann; während bei der anderen Art die Dinge so geregelt sind, dass Umsteuerung auf Umsteuerung in so schneller Folge vor sich geht, dass das Laufgewicht auch bei beständiger Belastungssteigerung fortwährend um die Gleichgewichtslage pendelt. Letzteres kann auf mehrfache Weise erreicht werden. Zwei verschiedene Formen benutzte ich bei meiner 50 000 kg- (Taf. 5) und 500 kg-Maschine (524, Fig. 364).

a) Obgleich bei dieser 500 kg-Maschine der Weg, den das Laufgewicht um die Gleichgewichtslage machte, etwa einem Belastungsunterschiede bis zu 15 kg entsprach, so konnte man doch noch an der Schaulinie, von der ein Stück in nat. Gr. in Fig. 369 dargestellt ist, die Verschiebung deutlich unterscheiden, die 2 kg Zusatzgewicht am kurzen Hebel veranlasste (vergl. 2 bis 6 Fig. 369), so dass man die Bestimmungen bis auf 1 kg der Probenbelastung vornehmen konnte.

b) Bei der Bewegung des Quecksilbergefässes für die 50 000 kg-Maschine bin ich noch weiter gegangen (563).

Dort erfolgte die Umsteuerung der beiden Laufwerke so schnell, dass die Bremshebel ein surrendes Geräusch hören liessen. Demgemäss beschrieb der Blei-

stift, der mit dem fortwährend fallenden und steigenden Quecksilbergefäß verbunden war, eine Linie, an der keine Zacken mehr zu erkennen waren. Dies wurde durch die Anwendung eines Kontaktes erreicht, in dessen Stromkreis ein genau geregeltes Relais eingeschaltet war, welches die Stromkreise der Bremshebel der Laufwerke beherrschte. Jede Stromunterbrechung und jeder Stromschluss musste also Umsteuerung bewirken, und die Schnelligkeit, mit welcher dies geschah, war so fein regelbar, wie oben angegeben. Obwohl ich auf diese Einrichtung viel Mühe verwendete [wie aus den lehrreichen Mittheilungen (*L 162*) ersehen werden kann] und auch sehr gute Ergebnisse erzielte, ist doch schliesslich auch diese Einrichtung dem Schicksal verfallen, das meistens solchen verwickelten Konstruktionen zu Theil wird; sie wird zur Zeit nicht mehr benutzt, weil man zu einfacheren Einrichtungen überging.

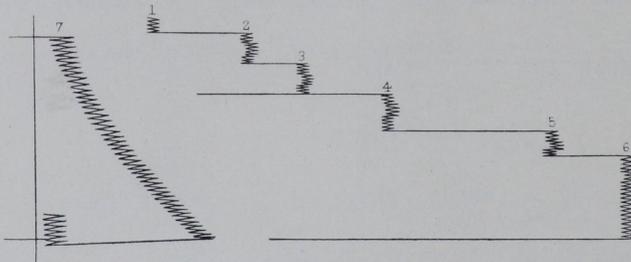


Fig. 369.

### b) Die Neigungswage.

**531.** Nach dem Grundsatz der Neigungswage ist in mehr oder weniger deutlich erkennbarer Weise eine ganze Reihe von Kraftmessern an Festigkeitsprobirmaschinen konstruirt. Man findet sie von der vollständig ausgebildeten Form: Pohlmeier, Schopper, v. Tarnogroki, Michele u. a. m. bis zu denjenigen Formen, die äusserlich in die gewöhnliche Hebelwage übergehen. Während man bei der Neigungswage die unter dem Einfluss des Kraftangriffes veränderte Ruhelage zur Bestimmung des auf die Wage übertragenen Momentes für den vollen Umfang der zu messenden Kraftleistung benutzt, wird die Hebelwage nur in seltenen Fällen innerhalb eines Spieles vom Anschlagpunkt des Hebels bis zur Gleichgewichtslage als Neigungswage benutzt. Die Balkenwage wirkt als Neigungswage, wenn man die kleinen Gewichtsunterschiede, statt durch Verschiebung des Reitergewichtes, durch den Ausschlag der Wage aus der Gleichgewichtslage bestimmt. Hier ist auch wohl der Ort, noch auf den Umstand aufmerksam zu machen, dass man gewissermassen auch dann noch von einer Neigungswage sprechen darf, wenn von dieser letzten Bestimmungsweise kein äusserlich erkennbarer Gebrauch gemacht wird. Jeder Wagehebel biegt sich; daher muss auch an dem wegen Ueberlastung der Wageschale auf dem Anschlag ruhenden Hebel, bei steigender Spannung im Stabe ein Neigen um dessen Mittelpfanne stattfinden. Ja man könnte diese Neigung ganz ohne Zweifel als Maass für die eingeleitete Kraft benutzen, wenn man die Endschneide des langen Hebels am Maschinengestell festlegen und die Neigung mit geeigneten Messinstrumenten [Spiegelinstrumente oder Libellen] messen wollte. Man würde es also dann gewissermassen mit einer Neigungswage zu thun haben, bei der das Pendelgewicht seinen Stand nicht ändert,