

auf das aus Absatz 65f bereits Bekannte verwiesen und besonders hervorgehoben, dass der Einwand, der zuweilen gegen die Benutzung von Quecksilbermanometern wegen der Wärmeausdehnung erhoben wird, nicht gerechtfertigt erscheint, weil die Ausdehnung zu gering ist. Die Ausdehnungszahl für 1 C° beträgt:

$$3\alpha = 0,00018153,$$

also würde der Fehler in Procenten für einen Wärmeunterschied von 20 C° nur 0,36 betragen, während wir mehrfach 1% noch für zulässig erachteten. Wärmeschwankungen von 20 C° sind in unseren Versuchsräumen sehr selten. Die Fehler in den Uebertragungseinrichtungen, in den Theilungen und in der Ablesung dürften den Fehler wegen der Wärmeausdehnung meistens übertreffen, und letzteren kann man durch Eintheilung der Skala nach mittlerem Wärmezustand sehr klein machen.

Man darf bei den Quecksilbermanometern nicht ausser Acht lassen, dass die Ablesung bei einiger Länge der Säule leicht unbequem wird und dass die Ablesungsfehler schon aus diesen und aus anderen Gründen [Veränderlichkeit der Beleuchtung, Unruhe der Kuppe, ungleiche Ausbildung der Kuppe u. a. m.], an den verschiedenen Stellen eines langen Manometers verschieden ausfallen. Es fragt sich also immer wieder, ob nicht die handlicheren Federmanometer schliesslich doch den Vorzug verdienen, ganz besonders auch, wenn man erwägt, dass wegen der Beschleunigung der Masse dicke Quecksilbersäulen leicht über das Ziel hinauschiessen und den Stand zu hoch anzeigen, wenn man gezwungen ist, an der bewegten Quecksilbersäule abzulesen. Bei Maschinen mit Quecksilbermanometer wird man darauf achten müssen, dass die Geschwindigkeit beim Ansteigen nicht zu gross wird, wenn die Fehler aus der Massenbeschleunigung klein werden sollen.

2. Hydraulische Uebertrager und Messdosen.

554. Da es mir nicht darauf ankommt, eine systematische Darstellung der Formen zu geben, wie die Uebersetzung der Kraft vom Grossen ins Kleine oder umgekehrt ausgeführt zu werden pflegt, so will ich das, was ich zu sagen habe, an die Beschreibung solcher Konstruktionen anknüpfen, die bei Probirmaschinen vorkommen. Ich will dabei ohne grosse Auswahl die Reihenfolge nehmen, wie sie meinem Zweck entspricht.

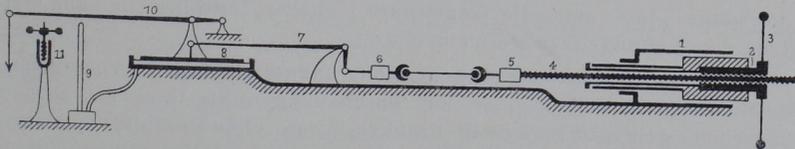


Fig. 392.

555. Bei der Maschine von Thomaset (*L 102*, II. 183, S. 23) ist die hydraulische Uebertragung in ihrer einfachsten Form angewendet; ich will sie, wie früher schon, kurz als Messdose bezeichnen. Das Schema der Maschine ist in Fig. 392, die Konstruktion auf Taf. 15, Fig. 3—6 gegeben.

Der Antrieb geschieht durch eine hydraulische Presse 1 mit Liderkolben, der auf Zug am Probekörper wirkt. Der Kolben trägt in seiner Längsachse eine lange Mutter 2, die durch Handkurbel 3 bewegt wird und deren Spindel 4 zur Anpassung des Raumes zwischen den Einspannungen 5 und 6 an die Probenlänge dient. Die Stücke 5 und 6 sind im Maschinengestell geführt. Die Kraft wird durch den Winkelhebel 7 auf die Messdose 8 übertragen. Der Dosendeckel kann mittelst Kontrolhebel 10 belastet werden, so dass die Kontrolle über die Richtigkeit der Angaben des Manometers 9 bei dieser Maschine zu jeder Zeit einfach und leicht ausgeführt werden kann. Schraube 11 dient zum Entlasten des Deckels.

Die Messdose hat bei der Maschine für 25 000 kg Kraftleistung eine Kolbenfläche $f = 3000$ qcm; sie wirkt auf die Quecksilbersäule im Manometer 9, die bis auf 126 cm ansteigen muss und hierfür 9 cm Inhalt beansprucht. Auf die Gummipatte der Messdose kommt also der sehr geringe Druck von höchstens 1,66 at. Die Hebelübersetzung muss demnach für 25 000 kg Kraftleistung betragen $\frac{25\,000}{3000 \cdot 1,66} = \frac{5}{1}$. Der Weg, den der Messdosendeckel zurücklegt, ist $\frac{9}{3000} = 0,003$ cm; er ist also auch hier so klein, dass man eine grosse Empfindlichkeit der Messdosen wohl erwarten kann.

555a. Man hat aber oft Zweifel an der Zuverlässigkeit solcher Messdosen ausgesprochen, und es sind noch sehr wenige planmässig und ausführlich durchgeführte Reihen über den Genauigkeits- und Empfindlichkeitsgrad solcher Messdosen veröffentlicht worden, obwohl das grosse Interesse der Verfertiger derartiger Maschinen, wie der Benutzer, doch auf der Hand liegt. Selbst aus dem Lande, in welchem sie am frühesten vielfach benutzt und weit verbreitet zu sein scheinen, selbst aus Frankreich, hört man von berufener Seite Bedenken äussern. Die französische Commission d'essai spricht durch ihre Berichterstatter H. Lebasteur und P. Arnould (*L 102*, II, S. 356) etwa wie folgt:

„Eine grundsätzliche Unzutraglichkeit ist die Unbestimmtheit der Auswertung der Kraft. Die Höhe der Quecksilbersäule kann genau gemessen werden; aber der Querschnitt der Platte oder vielmehr deren wirksame Oberfläche, ist unmessbar, weil man den Antheil des freien ringförmigen Theils der Gummihaut an der Uebertragung nicht kennt. Ueberdies kann dieser Antheil während eines Versuches wechseln, in Folge der Pressung, welche die Form des Gummis ändert. Es ist in gleicher Weise wichtig, zu berichten, dass man die Gegenwart jeglicher Luftblase in dem Gefäss und in den Leitungen zu vermeiden hat.“

Aus diesen Aeusserungen geht nicht unzweifelhaft hervor, ob man es mit Erfahrungsthatssachen oder mit Anschauungen zu thun hat. Das ist bedauerlich, weil man gerade in Frankreich, wo viele Maschinensysteme die Messdose benutzen, am ersten Gelegenheit hatte, die Verhältnisse und die Konstruktionsbedingungen genau zu prüfen. Dass dies nicht geschehen ist, scheint mir aber aus den Widersprüchen des obengenannten Berichtes und aus den grundsätzlichen Verschiedenheiten in Benutzung der Messdose hervorzugehen. Um diese Verhältnisse zu beleuchten, muss ich ein klein wenig auf die Sache eingehen; sie scheint mir bedeutungsvoll genug, um das zu rechtfertigen.

556. Einige Seiten später sprechen die beiden französischen Berichterstatter über die Prüfung der Probirmaschinen durch hydraulische Dynamometer der französischen Mittelmeerbahn und beschreiben die in Fig. 8—14 Taf. 15 abgebildeten Instrumente. In diesen Instrumenten ist die Gummiplatte durch ein dünnes Messingblech ersetzt. Die Konstruktionsverhältnisse sind: Dicke des Bleches 0,02 cm; Querschnitt der Dose 44,17 qcm; höchste Pressung in der Dose $p = 500$ at, entsprechend einer Kraftleistung $P = 20000$ kg. Die Pressung wird auf ein Manometer mit Bourdonfeder übertragen, das eine Ablesung ΔP bis auf 50 kg gestattet, also bis auf $\frac{50}{20000} = \frac{1}{400}$ der vollen Belastung.

Diese Einrichtung wird von den Berichterstattern in ganz ausserordentlichem Maasse gelobt. Sie soll sich in langem Betriebe gut bewährt haben und sich besonders gut für die Prüfung von Probirmaschinen auf ihre Richtigkeit eignen. Jedenfalls werde ich Gelegenheit nehmen, diese Vorkehrung demnächst eingehend zu prüfen.

Im Konstruktionsgrundsatz kann es nach Voraufgehendem nicht liegen, wenn die Dosen mit Gummihäuten nicht die gleiche Zuverlässigkeit zeigen. Es liegt meines Erachtens auch nicht in der etwaigen Gegenwart von Luftblasen; sie sind leicht zu vermeiden, wenn man ausgekochtes Wasser benutzt und die Dose so einrichtet, dass sie beim Füllen auf 100° C erhitzt werden kann. Dann werden die Luftblasen leicht mit dem Wasserdampf verdrängt. Auch in der Unbestimmtheit des zwischen Deckel und Dosenrand frei bleibenden ringförmigen Theiles der Haut vermag ich an sich keine grosse Fehlerquelle und Quelle der Veränderlichkeit zu entdecken, wenn richtig konstruirt worden ist. Die Hauptfehler liegen in der Regel in der falschen Anwendung der Gummihaut, indem man ihre Eigenschaften nicht gehörig beachtet. Und diese Fehler sind, so weit aus den mir bekannt gewordenen Zeichnungen ersichtlich, sowohl bei der Maschine von Mailard (557) als auch bei der Maschine von Thomasset gemacht.

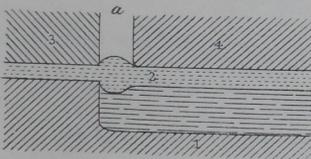


Fig. 393.

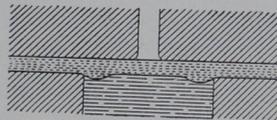


Fig. 394.

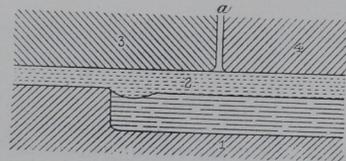


Fig. 394a.

Will man Gummi verwenden [dünne Metallbleche sind unzweifelhaft zweckmässiger, weil sie hohen Drucken ($p = 500$ at siehe oben) ausgesetzt werden können], so sollte man sie nicht, wie in Fig. 393, sondern wie in Fig. 394 gezeigt, einspannen. Durch den Spannring 3 wird der Gummi immer zum Herausquellen gebracht, und dann setzt er sich leicht in den vielleicht reichlich weiten Zwischenraum a (Fig. 393) und behindert die freie Beweglichkeit des Deckels; wird die Pressung einigermassen beträchtlich, so kann er leicht als Keil in dem Ringraum wirken. In Fig. 394 und 394a ist die Wirkung der Einklemmung zwischen 1 und 2 unschädlich gemacht; man thut gut, die dem Gummi zugekehrten Ränder von 3 und 4 ein klein wenig abzurunden und den Spalt a so eng zu machen, als das freie Spiel des Deckels es gerade bedingt. Hierbei ist natürlich

vorausgesetzt, dass der Deckel in seine richtige Lage gebracht wird, so dass die Gummiseibe unter der niedrigsten Belastung ganz eben ist. Je grösser das Spiel des Deckels sein muss, je breiter muss Spalt a werden, und desto geringer ist die zulässige Höchstspannung p in der Dose.

Für meine Schmierölprobirmaschine (L 230) benutzte ich nach dem Vorgange von Napoli die in Fig. 395 in $\frac{1}{10}$ n. Gr. abgebildete Konstruktion einer Messdose. Das Dosengehäuse 1 mit dem Deckel 2 kann mittelst der Schraube 6 in den Druckkopf der Oelprobirmaschine hineingeschraubt werden. Schraube 8 dient zum Festklemmen. Beim Niederschrauben drückt der lose geführte Stempel 5 auf die Lagerschale 10. Der erzeugte Druck wird durch den Stempel 5 auf den Teller 4 und von hier aus auf die durch die Gummiseibe 3 abgeschlossene Flüssigkeit übertragen. Der Flüssigkeitsdruck wird dann am Manometer 3 gemessen. Aus der Manometerablesung ergibt sich der auf 10 ausgeübte Gesamtdruck, der bis auf 2500 kg gesteigert werden kann.

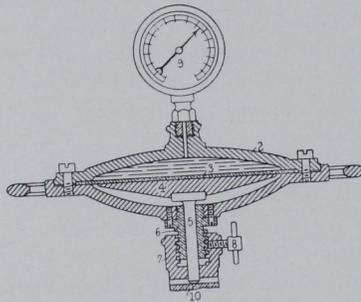


Fig. 395.

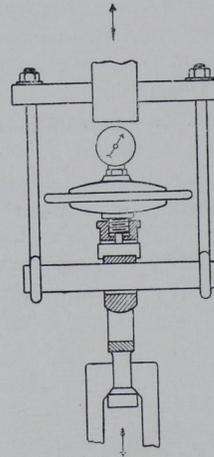


Fig. 396.

Von diesen Druckapparaten wurden zu verschiedenen Zeiten 5 Stück zum Theil wiederholt geprüft. Diese Prüfungen wurden, wie in Fig. 396 angedeutet, in der 50 Ton.-Martens-Maschine der Versuchsanstalt zu Charlottenburg ausgeführt, wobei die Ablesungen am Manometer mit der Lastanzeige der Maschine verglichen wurden. Ich theile hier die Ergebnisse dieser Prüfungen mit, weil sie von allgemeinem Interesse sein werden.

In Tab. 41 sind die Mittelwerthe aus den einzelnen Prüfungen von je 5 Reihen angegeben und darunter findet man die Anzahl der Abweichungen vom Mittel von den im Eingang der Tabelle angegebenen Grössenordnungen. Die Werthe der Tabelle sind dann benutzt, um die in der Fig. 397 Seite 382 mitgetheilten Schaulinien zu entwerfen.

Die Hauptreihen I aus Tab. 41, Liniengruppe A Fig. 397, beziehen sich auf verschiedene Gummiplatten, die mit dem gleichen Manometer in der gleichen Dose benutzt wurden. Die Linien zeigen im Allgemeinen parallelen, aber nicht vollkommen geradlinigen Verlauf. Daraus darf man ableiten, dass das Uebersetzungsverhältniss der Dose durch das Einbringen neuer Gummiplatten nicht wesentlich geändert sein kann, dass also auch die wirksame Dosenfläche, d. h. auch der Antheil der freibleibenden Ringfläche der Gummiseibe an der eigentlichen Druckfläche, nicht wesentlich verändert werden kann. Man würde durch parallele Verschiebung die Linien in Gruppe A wesentlich besser zur Uebereinstimmung bringen können. Die neue Gummiplatte hat eben, hauptsächlich wohl wegen des in Fig. 393 skizzirten Umstandes, eine Verschiebung des Anfangspunktes der Linien zur Folge, die Neigung wird wenig geändert. Die Ringbreite der freien Fläche war in allen

Fällen gleich und wird etwa 0,3 cm betragen haben; die Dicken der Gummiplatten wurden nicht gemessen; ich schätze sie aber auch auf etwa 0,3 cm.

Tabelle 41. Prüfung der Belastungsdosen von verschiedenen Schmierölprobirmaschinen, Bauart Martens.

Manometerablesungen für die übergeschriebenen Belastungen in kg.

Bei Gruppe I waren Dose und Manometer in allen Fällen dieselben; bei Gruppe II waren Dosen und Manometer gleicher Art.

Maschine No. und Bemerkungen	geprüft Datum	Belastungen in kg.									
		250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500
I. Maschine der Versuchsanstalt.											
a) (Chemn. Maschinenfabr.) neu	24./6. 87	0,652	1,200	1,808	2,375	2,938	3,495	4,070	4,660	5,208	5,723
b) neue Gummiplatte eingelegt	23./2. 91	582	156	750	342	888	464	042	650	178	714
c) desgl.	7./9. 92	532	134	764	366	944	528	138	762	332	906
d) desgl.	18./1. 93	616	190	770	356	904	478	068	662	230	774
II. Masch. erbaut v. Ludw. Löwe.											
Geprüft unter A No. 5130	Oct. 93	0,480	0,870	1,350	1,790	2,230	2,700	3,100	3,550	3,970	4,400
„ 5371	8./3. 94	450	880	280	790	140	560	990	410	820	220
„ desgl. 2. Prüf.	19./10. 94	440	850	290	750	150	580	000	410	820	220
Masch. No. 10855 „ 6910a	22./4. 95	366	810	254	672	052	436	810	198	578	952
„ 10856 „ 6910b	22./4. 95	390	776	228	652	050	492	886	348	758	170

Abweichungen in at. 10 ⁻³		Häufigkeit der Abweichungen vom Mittelwerth der je 5 Versuchsreihen, aus denen die vorstehenden Mittelwerthe gebildet wurden.										Mittel at. 10 ⁻⁴
von	bis											
über	+100	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	1
+ 80	+ 99	—	—	0	—	—	—	1	—	—	1	2
+ 60	+ 79	—	2	1	—	—	—	0	—	2	1	7
+ 50	+ 59	—	0	1	1	1	1	0	1	0	0	5
+ 40	+ 49	2	1	1	1	0	1	2	3	1	2	14
+ 30	+ 39	1	3	0	0	0	1	3	3	0	0	11
+ 20	+ 29	3	4	2	3	1	1	0	1	12	7	34
+ 10	+ 19	5	4	5	3	13	7	6	2	3	0	48
+ 0	+ 9	10	7	11	11	9	12	9	7	1	5	82
— 0	— 9	9	7	5	11	8	8	9	11	8	10	86
— 10	— 19	2	0	2	2	0	1	3	3	9	7	29
— 20	— 29	0	4	3	2	2	4	0	1	2	2	20
— 30	— 39	2	1	2	2	2	1	2	1	0	0	13
— 40	— 49	4	0	3	0	1	1	1	3	0	3	16
— 50	— 59	1	3	1	1	1	0	1	0	0	0	8
— 60	— 79	1	2	1	0	0	0	1	0	1	0	6
— 80	— 99	—	—	—	1	1	1	0	0	0	0	3
unter	—100	—	—	—	—	—	—	1	1	1	1	4

Ausser den Fehlern, die durch die Platten bedingt sind, haben aber auch die Fehler in der Theilung des Manometers einen Einfluss auf die Gestalt der Linien in Gruppe A (Fig. 357). Um diesen Einfluss zu untersuchen, habe ich aus den Versuchsreihen die Differenzenreihen gebildet und diese in Fig. 397 als Liniengruppe D eingetragen. Man sieht auf den ersten Blick, dass das Manometer nicht richtig getheilt sein kann, wenn man nicht den gesetzmässigen Verlauf der Linien auf Fehler in der Probirmaschine schieben will. Dies würde aber einen sehr geringen Wahrscheinlichkeitsgrad für sich haben, da die Maschine sich bei den Kontrollprüfungen stets als tadellos erwies. Die dicke Ausgleichslinie für die vier Beobachtungsreihen mit verschiedenen Gummiplatten dürfte also mit einem ziemlichen Grad von Wahrscheinlichkeit die Fehler des Manometers darstellen.

Würden diese Fehler durch Neueintheilung des Manometers beseitigt, so hätte man die Linien in Gruppe A durch Gerade, also nach der Gleichung

$$P = \pm a + bn$$

zu ersetzen, in welcher n der Ablesung am Manometer und b dem Uebersetzungsverhältniss der Dose entsprechen würde, während die Konstante a vom Zustand der Gummipatte abhängig, aber auch durch die Lage des Nullpunktes des Manometers beeinflusst wäre.¹⁾

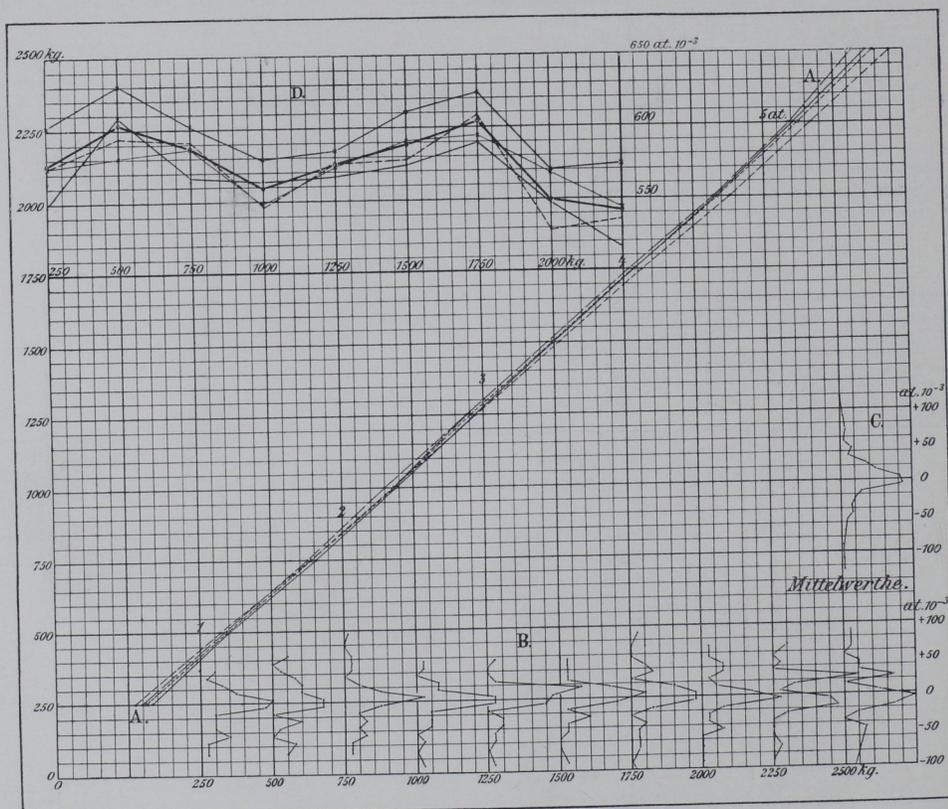


Fig. 397.

Von Interesse ist es, sich noch ein Bild von dem Genauigkeitsgrade zu bilden, mit dem etwa die Beobachtungen mittelst der Messdose behaftet sein mögen. Ohne langwierige Rechnungen giebt die Liniengruppe B Fig. 397 hierfür einigen Anhalt. Sie ist gewonnen, indem man aus allen vorliegenden Beobachtungen [Tab. 41, neun Sätze mit je fünf Reihen] die Abweichungen vom jeweiligen Mittelwerthe bildete, dann für die einzelnen Laststufen die Zahl bestimmter positiver oder negativer Abweichungen feststellte und aus diesen in Gruppe B die Häufigkeitslinien für die verschiedenen Fehlergrößen eintrug. Man sieht auf den ersten Blick, was ja nach Voraufgehendem auch erklärlich ist, dass die Fehler im Grossen und Ganzen durch die Höhe der Belastungen der Dose nicht merklich beeinflusst sind; die Linienzüge gleichen einander, und nur bei den hohen Belastungen [2250 u. 2500 kg] zeigen sich Unregelmässigkeiten. Dieser Befund lässt es anständig erscheinen, aus allen gefundenen Fehlergruppen Mittelwerthe zu bilden.

¹⁾ Hier würde also ein Manometer mit drehbarer Kreistheilung (551) von grossem Nutzen sein, weil dadurch der Werth $a = 0$ gemacht werden könnte.

Die Mittelwerthe sind in Gruppe C Fig. 397 dargestellt. Man kann daraus ohne Rechnung den wahrscheinlichen Fehler der Beobachtungen durch Augenmaass schätzen. Es ist das diejenige Ordinate [Fehlergrösse], welche die Fläche der Häufigkeiten an der positiven oder an der negativen Seite in zwei gleich grosse Flächen zerschneiden würde. Der wahrscheinliche Fehler wäre also nach Maassgabe von Linie C Fig. 397 auf etwas weniger als $30 \cdot 10^{-3}$ at, d. i. auf $r = \pm 0,030$ at zu schätzen. Will man ihn in Procenten der Ablesungen n [d. h. also auch der gemessenen Belastungen P] ausdrücken, so wird er natürlich mit wachsender Belastung abnehmen. z. B.

ist für $n =$	1	2	3	4	5 at
$r =$	3	1,5	1,0	0,75	0,6%

Für feine Messungen würde danach eine Dose der vorliegenden Konstruktion nicht ausreichend sein, wenn nicht eine Korrekturrechnung auf Grund vorausgegangener Bestimmung der Konstanten des Apparates benutzt werden kann.

Der Empfindlichkeitsgrad ist abhängig von Art und Feinheit der Eintheilung am Manometer; ist das Manometer in 0,1 at getheilt und kann man 0,01 at schätzen, so würde das bei einer mittleren Ablesung von 0,575 at für 250 kg eine Schätzung von P auf etwa $\frac{250 \cdot 0,01}{0,575} = 4,4$ kg bedeuten. Als Empfindlichkeitsgrad der Dose

kann man aber auch denjenigen Belastungszuwachs ΔP ansehen, welcher zu irgend einer Belastung P thatsächlich hinzugefügt werden muss, um den Zeiger des Manometers um eine Einheit der Theilung zu bewegen. Dieser Empfindlichkeitsgrad ist schwankend mit der Höhe der Belastung und verschieden bei der Belastung oder Entlastung; er kann nur durch Versuche bestimmt werden, die bei den hier beschriebenen Untersuchungen nicht ausgeführt wurden.

557. Kraftmessung mittelst Messdose ist auch bei der Maschine von Maillard (*L 102 II*; 183 S. 17; 209) benutzt worden. Das Schema dieser Maschine ist in Fig. 398, die Konstruktion auf Taf. 15 Fig. 23 dargestellt.

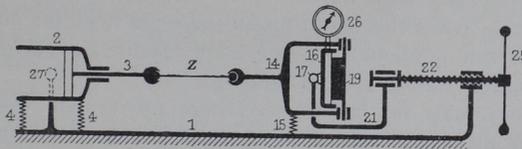


Fig. 398.

Der Antrieb ist hydraulisch, der Presscylinder 2 hat einen Liderkolben 3 und wirkt unmittelbar auf den Probekörper. Das Druckwasser wird in einem Kompressor nach Desgoffe erzeugt, bei dem ein Tauchkolben von etwa 70 qcm Querschnitt mittelst Schraube und Schneckenantrieb in den Cylinder getrieben wird; der verfügbare Hub ist 60 cm, die für die höchste Zugkraft der Maschine erforderliche Wasserpressung ist etwa 80 at; durch einen Hub werden 4,2 l Druckwasser geliefert. Der Cylinder 2 ist um die wagerechte Axe 27 drehbar, und die Einspanneinrichtungen 9 und 10 haben senkrechte Gelenkbolzen 8 und 12. Die einstellbaren Federn 4 halten den Cylinder in der Mittellage.

Die Kraftmessung geschieht durch die ebenfalls um eine wagerechte Axe 17 drehbare Messdose 16, die durch eine Gummischeibe mittelst des Führungsringes für den Dosendeckel 19 abgeschlossen wird. Das Gehänge für die Einspannvorrichtung 14 greift an den Deckel 19 um die vertikale Axe drehbar an. Das Dosensystem wird durch Feder 15 in der Mittellage erhalten. Durch diese vielen Bewegungsmöglichkeiten will man verhüten, dass Biegungsspannungen im Probekörper erzeugt werden. Sie machen

aber die Konstruktion verwickelt, und es ist mindestens zweifelhaft, ob sie nicht eher das Gegentheil der Absicht erreichen. Ich würde es vorziehen, alle Theile einfach und sicher zu führen und den Ausgleich der Biegungsspannungen in der Einspannvorrichtung zu ermöglichen. Die in der Dose erzeugte Pressung kann nach den Abmessungen der Dose auf 80 at steigen; sie wurde bei der beschriebenen Maschine auf ein Galy-Cazalatsches Manometer (*L 234*) übertragen, dessen unteres Gefäss durch die mit einer Gummischeibe gedichtete kleine Fläche eines Differentialkolbens abgeschlossen wird. Die grosse in gleicher Weise gedichtete Fläche wirkt auf eine Quecksilbersäule von 0,4 cm Durchmesser, die bis zu 150 cm steigen kann. Nimmt man an, dass die Steighöhe von 150 cm der Höchstleistung von 25000 kg entspricht, so ergibt sich die Steighöhe für je 100 kg zu 0,6 cm; man wird also wohl Kräfte bis zu 10 kg ablesen können, vorausgesetzt, dass die Empfindlichkeit des Systems ausreicht. Die gesammte verdrängte Quecksilbermenge würde $i = 18$ cm betragen. Die Uebersetzung im Manometer ergibt sich aus der grössten Steighöhe und dem Höchstdruck in der Messdose $n = 80 : 150/76 = 40 : 1$, die aus dem Messkolben verdrängte Wassermenge i_1 ist also $= 18/40 = 0,45$ cm. Bei 20,2 cm Dosendurchmesser ($f = 320$ qcm) macht der Dosendeckel für die Höchstleistung der Maschine einen Weg von etwa $0,45/320 = 0,0014$ cm. Man kann also wohl eine ziemlich grosse Empfindlichkeit des Systems erwarten, wenn die Gummischeibe nicht so dick genommen wird, dass sie durch den Klemmring Stauchungen erfährt, und wenn für reibungsfreies Spiel der bewegten Theile gesorgt wird. Einfacher freilich, als das angewendete Manometer und wahrscheinlich ebenso zuverlässig, würde ein doppeltes Federmanometer sein, das sich selbst kontrollirt (*551*). Man kann dessen Skala leicht etwa 200 mm lang machen und würde bei Ablesungen bis zu 0,25 mm noch bis auf $25000/200 \cdot 4$ etwa 30 kg schätzen können. Für sicher wirkende Rückschlagventile (*412*) wird man in beiden Fällen sorgen müssen.

Sollen Probestücke bis zu 60 cm Länge untersucht werden, so kann das Dosensystem mit dem Schlitten 21, mittelst Schraube 22 und Handrad 25, entsprechend verschoben werden.

558. E. Chauvin und Marin Darbel-Paris. (*L 102 II; 183*). Auch bei dieser Maschine geschieht die Kraftmessung vermöge einer mit Gummi umgedichteten Messdose, die aber umgekehrt beansprucht wird, als es gewöhnlich zu geschehen pflegt. Meistens konstruirt man derartig, dass die Kraftsteigerung im Probekörper eine Pressungssteigerung in der Dose hervorruft; hier wird eine Pressungsverminderung erzeugt. Die Belastung des Stabes z (Fig. 399) wird durch den Hebel H auf $\frac{1}{5}$ vermindert, als Zugkraft auf den Deckel der Dose übertragen und durch die Pressungsverminderung am Vakuummeter abgelesen. Bei dieser Konstruktionsweise kommt man zu übermässigen Abmessungen der Messdose, weil die anwendbare Pressungsdifferenz der Dose für die Null- und Höchstbelastung klein ist.

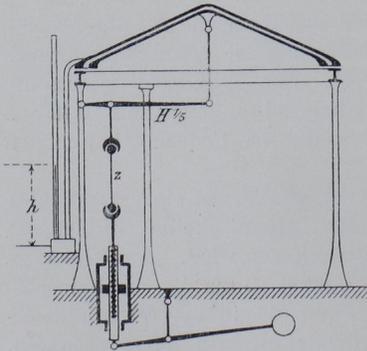


Fig. 399.

Pichler giebt in der Beschreibung einer 30 000 kg-Maschine [aus dem Jahre 1878]¹⁾ eine Zeichnung in $\frac{1}{10}$ natürlicher Grösse, der ich entnahm, dass bei einem Dosendurchmesser von etwa 95 cm, d. h. $f = 7000$ qcm, die Pressungsdifferenz werden musste: $30000/5 \cdot 7000 = 0,86$ at. Ob die Dose sich unter diesen Verhältnissen wohl bewährt haben kann? Pichler sagt, dass die Maschinen für 15, 30, 60 und sogar bis 100 t Kraftleistung gebaut würden; mir sind spätere Beschreibungen und Angaben über das Verhalten der Maschine im Betriebe leider nicht bekannt geworden.

559. Ganz besonders hat Emery die Messdosen vervollkommenet und ausgebildet. Er und die Firma Wm. Sellers & Co. machen bei ihren Probirmaschinen ausgiebigen Gebrauch von der Messdose; wie unzweifelhaft feststeht, mit allerbestem Erfolge. Die Konstruktion der Emery-Maschine, wie sie von Sellers gebaut wird, ist in ihren Einzelheiten auf Taf. 18 dargestellt und in Abs. 623—635 beschrieben; andere Formen sind

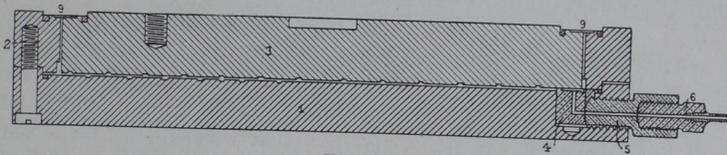


Fig. 400.

in den Fig. 344 (483), Fig. 356 (504) gegeben. Hier will ich als einfaches Beispiel für die Emerysche Konstruktionsform der Messdosen Fig. 400 u. 401 anführen, wie sie beispielsweise in den stehenden Emery-Maschinen

benutzt wurde. Die Dose ist aus zwei ganz dünnen weichen Messingblechen gebildet, die an den Rändern verlöthet und mit telst eines Ringes aus Löthmetall 10 in den Boden des Dosenträgers eingepresst sind. Dieser Boden und ebenso der Deckel sind mit ringförmigen und radialen Riefen versehen, so dass die Dosenbleche sich später in die Vertiefungen hineindrücken und in

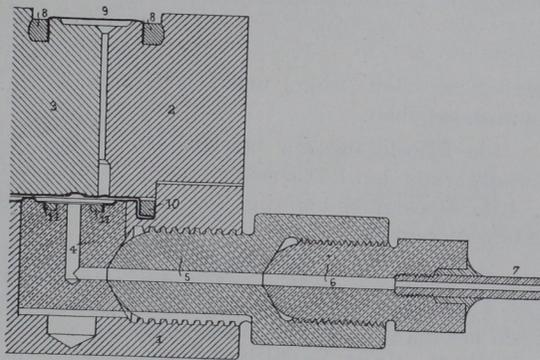


Fig. 401.

der Dose ein Kanalsystem bilden, welches bewirkt, dass die Flüssigkeit auch bei aufeinanderliegenden Blechen sich schnell in der ganzen Dose vertheilt. In der Quelle (L 219) wird mitgetheilt, dass die Flüssigkeitsschicht in der Regel nur 0,5 mm dick ist. Die grosse Dose steht mit einer kleineren von ähnlicher Konstruktion in Verbindung, welche auch den nach der Wage führenden Stempel trägt. Das Dosensystem tritt hier also an die

¹⁾ Zuverlässige Daten über neue Konstruktionen konnte ich nicht erlangen; der Bericht der Commission d'essai, Tome II S. 356, 1895 (L 102) geht sehr kurz über die Maschine hinweg.

Stelle der Kraftverkleinerung durch Hebelwerk, sein Uebersetzungsverhältniss ist durch das Verhältniss der wirksamen Flächen gegeben. Die Verbindungsröhre schliesst Emery in der in Fig. 401 gezeichneten Form an seine Dosen an. An die Dose ist mit Hilfe eines Ringes 11 aus Löthmaterial der Putzen 4 angelöthet, der in die Grundplatte des Dosendeckels passt. Das Rohr 7, aus nur 1,25 bis 1,5 mm lichter Weite, schliesst mit den Schrauben 5 und 6 durch einfache Kegeldichtungen an. Diese Rohrleitung zwischen beiden Dosen will man anstandslos bis auf 45 000 m führen können (??) Man erkennt das Streben Emerys, die Flüssigkeitsmenge und ihre Bewegung in den Leitungen so klein wie möglich zu machen, offenbar um die Wärmeeinwirkungen und die Reibungswiderstände klein zu halten.

Benutzt man die gegebenen Abmessungen und die eingestreuerten Bemerkungen (*L 219*), so kann man ableiten, dass in einer 50 000 kg-Maschine die innere Pressung, welche die Dose erfährt, etwa 60 at betragen mag.

Es wird angegeben, dass das Spiel der Dosendeckel sich bei einer solchen Maschine in der Hauptdose auf insgesamt 0,00006 mm beläuft, danach ist bei einer wirksamen Fläche von etwa 800 qcm die verdrängte Flüssigkeitsmenge auf 0,005 ccm zu schätzen und die Gesamtbewegung der Wassermenge in dem 1,25 mm weiten Leitungsrohr auf 0,4 cm. Ueber die in den Dosen benutzten Plattendicken habe ich leider keine Angaben finden können. Die Breite der freiliegenden Ringfläche des Dosen-

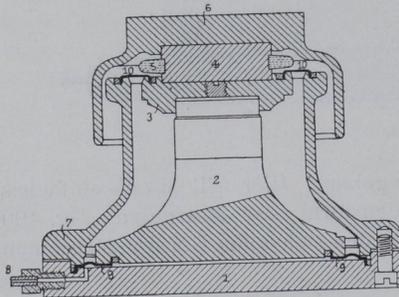


Fig. 402.

bleches zwischen Deckel und Dosenträger ist in den Zeichnungen auf etwa 2 mm angegeben.

Die Befestigung der beweglichen Deckel an den Dosenträgern und ihre Geradföhrung bewirkt Emery durch scheibenförmige Blattfedern 9 Fig. 400 u. 401, die ähnlich befestigt sind, wie die Dosenbleche. Fig. 402 zeigt eine andere Dosenkonstruktion.

a. Man erkennt aus dem soeben (554—559) Mitgetheilten und aus den Erfolgen der Emery-Maschinen, dass die Benutzung der Dosenübertragung wesentliche Vortheile zu bieten vermag, weil unzweifelhaft sehr einfache und geringen Raum beanspruchende Maschinen konstruirt werden können, namentlich wenn es gelingt, sie in Verbindung mit einfachen Federmanometern zu benutzen. Ich habe selbst seit Jahren an diesem Gedanken gearbeitet, ohne ihn bisher bei meiner starken Inanspruchnahme zur Reife bringen zu können. Da auch meine vielfachen Anregungen, die ich einzelnen Fabrikanten gab, nicht zum Ziele führten, will ich sie hier öffentlich wiederholen. Ich bin überzeugt davon, dass es gelingen wird, zuverlässige Maschinen mit weniger als 1% Fehler nach dem Grundsatz der Messdosen zu konstruiren, denn es ist kein Grund einzusehen, weswegen die richtig konstruirte und nicht übermässig beanspruchte Röhrenfeder nicht ebenso zuverlässig arbeiten sollte, wie die Spiralfeder im Indikator oder in den Papierprüfungsapparaten von Hartig, Wendler u. a.

b. Ich habe schon vor Jahren eine planmässige Untersuchung der Festigkeit und Empfindlichkeit dünner Metallbleche in solchen Messdosen begonnen, sie aber wegen Zeitmangel nicht zu Ende führen können. Bei diesen Untersuchungen habe ich gefunden, dass die anwendbaren Spannungen ziemlich hoch sind und dass die Empfindlichkeit auch bei ziemlich grossen Deckelbewegungen für die hier be-

sprochenen Zwecke noch genügend zu sein scheint. Von meinen Versuchsergebnissen will ich einige herausgreifen; die Ergänzungen hierzu werde ich nach Abschluss der Versuche veröffentlichen.

Die ersten Versuche wurden mit einer Messdose angestellt, die in die 100 t Pohlmeier-Maschine eingespannt und bis 790 at Pressung belastet werden konnte. Die Dosenweite war 93 mm, der Deckeldurchmesser 87 mm, so dass die Breite des freibleibenden Plattenringes 3 mm betrug. Platten von 137 mm Durchmesser aus verschiedenen Materialien und von verschiedener Dicke wurden in ebenem Zustande in die Dose gelegt und mit Wasserdruck bis zum Platzen in dem untenstehenden ringförmigen Wulst oder bis zum Höchstdruck von 790 at geprüft.

Kupferplatten von 0,10 mm Dicke zeigten schon bei 27 at bemerkbare bleibende Wulstbildung; und der Bruch trat bei 173 at ein. Bei 0,20 mm Dicke brachen sie bei 318 und 356 at; zwei Platten von 0,50 mm Dicke kamen nicht mehr zum Bruch, erhielten aber unter 790 at starke Wulste. Messingplatten von 0,18 mm Dicke gingen bei 460 und 540 at zu Bruche und hielten bei 0,23 mm Dicke schon 790 at ohne Bruch aus; sie erhielten dann starke Wulste. Stahlplatten von 0,19 mm Dicke hielten nur 255 at aus und zeigten bei 0,5 mm Dicke nach Beanspruchung auf 790 at nur flachen Wulst; ebenso ein Zinkblech von 0,92 mm Dicke. Hiernach scheint weiches Messingblech ein besonders geeignetes Material für Messdosen zu sein. Man sieht aus den Zahlen, welche grossen Kräfte man in den Dosen spielen lassen darf, und erkennt den hierin liegenden Vortheil für die Konstruktion von Probereinrichtungen. Hoffentlich wird man bei Fortführung der Versuche auch ausreichende Empfindlichkeit und Beständigkeit in der Lastanzeige feststellen können.

560. Amagat (*L 102*, II, S. 109, Taf. X) hat eine kleine Maschine zur Prüfung von Kupfercylindern auf Druckfestigkeit konstruirt, bei der die Messdose als Kolbenpresse ausgebildet ist. Der Antrieb wird durch die Schraube 7, Fig. 403, besorgt. Die Kraft wird auf den Kupferkörper durch den gehärteten, im Maschinengestell sauber geführten Stahlcylinder 6 übertragen und von da aus durch einen gleichen Cylinder 5 auf die Stützstange 4 und den Kolben 3 übergeführt. Der Kolben 3 von 330 mm Durchmesser ist in den Cylinder 1 schliessend eingeschliffen. Er hat auf seinem Umfang eingedrehte Nuten zur Aufnahme des Ricinusöls, das zwischen Kolben und Cylinder unter dem Kolben hervorquillt. Das Ricinusöl steht über einer Quecksilberschicht, die mit dem 4 m hohen offenen Quecksilbermanometer verbunden ist. Die Reibung zwischen Kolben und Cylinder ist aufgehoben durch die Drehbewegung, die dem Kolben durch die Handhabe 10, um 20 bis 30° schwingend, erteilt wird. Man kann Kräfte bis zu 4500 kg messen; aber die Ablesung des 4 m hohen Quecksilbermanometers ist gerade keine bequeme Sache.

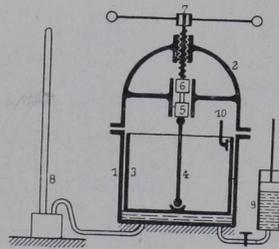


Fig. 403.

561. Amsler-Laffon [Taf. 14] hat auf ganz dem gleichen Grundsatz (453) seine Kraftmessung aufgebaut, nur benutzt er eine hydraulische Uebertragung der Pressung im Antriebskolben ins Kleine, um ein kürzeres Quecksilbermanometer für grössere Kraftleistung anwenden zu können; er misst die Kraftleistung durch die Pressung im Antriebeylinder, während Amagat eine besondere Messdose benutzt.

Die Konstruktion der Amslerschen Einrichtung ist in Fig. 333 S. 388 veranschaulicht. Die Pressung in dem Ricinusöl unter dem Kolben 27 wird durch den dünnen Kolben 26 auf den grösseren 3 übertragen. Der im Verhältniss zu den Kolbenquerschnitten verminderte Druck wirkt durch die

Leitung 4, 5 auf das Quecksilbermanometer, dessen Theilung auf der einen Seite Kilogramme und auf der anderen Spannungen, bezogen auf den Normal-Druckkörper von 7,1 cm Kantenlänge [Cement- und Mörtelprüfung], anzeigt. Die Kolben 3 und 26 werden durch Hebel 28 und Stange 30 vom Rädchen 35 aus in schwingende Drehbewegung gesetzt. Es ist also auch hier die Aufhebung der Reibung nach dem Amagatschen Grundsatz durchgeführt. Das Quecksilbermanometer ist mit einem

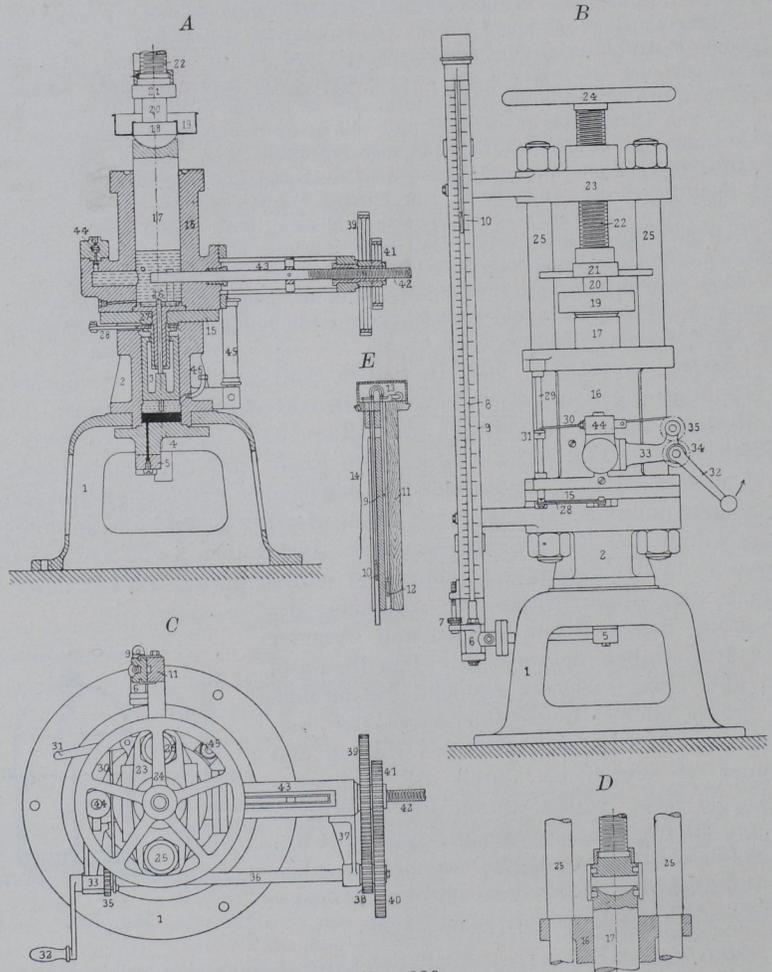


Fig. 333.

Schwimmer versehen, dessen Gewicht durch Gegengewicht fast ausgeglichen ist. Es läuft über eine ganz schwach gebremste Schnurrolle, die das Rückgehen des Schwimmers verhütet, so dass man die Höchststellung nach dem Versuch ablesen kann. Die Bewegungen dieser Schnurrolle benutzt Amsler zur Uebertragung der Kraftanzeige auf seinen Selbstzeichner (719).

Die Wiederauffüllung des sehr langsam zwischen Kolben- und Cylinderwandung ausfliessenden Oeles geschieht durch die Pumpe 45 oder das Röhrechen 46.

561a. Amsler-Laffon wendet seine Einrichtung für die Kraftverkleinerung auch in besonderer Aufstellung neben der eigentlichen Maschine an, wie es aus Taf. 14, Fig. 6 und 9 hervorgeht. Hier steht der Druckverkleinerer neben der Kapselpumpe auf dem gleichen Rahmen. Der Konstruktionsgedanke ist der gleiche, wie in der in Abs. 561, Fig. 333, beschriebenen Einrichtung, nur ist ausser den Kolben 3 und 5, Fig. 404, noch ein dritter Kolben 4 angewendet, der so eingerichtet ist, dass er für gewöhnlich mit seinem vorspringenden Rande sich in der Kammer des Gussstückes aufhängt, also ausser Wirkung kommt. Der durch Rohr 22 von der Presse kommende Druck überträgt sich durch den dünnen Kolben 5 auf den grossen Kolben 3 und wird, entsprechend dem Kolbenflächenverhältniss, verkleinert. Beide Kolben 3 und 5 werden durch die Hebelhülse 9 in schwingende Drehbewegung versetzt, die durch die lange Nase der Hülse, zunächst auf 3 und von hier aus auf den in einer Nute auf diesem Kolben 3 stehenden Kolben 5 übertragen wird. Soll das Uebersetzungsverhältniss in dieser Messdose ein geringeres werden, so braucht man nur mit der Oelpumpe 14 viel Oel in den Raum 11 zu pressen. Dadurch wird Kolben 3 soweit gehoben, dass sich Kolben 4 in die Nute von 3 einsetzt und zum freien Spiel kommt. Kolben 4 und 5 kommen also gemeinsam zur Wirkung wie ein Kolben, und das Uebersetzungsverhältniss ist demgemäss verringert. Im Uebrigen ist die Wirkungsweise wie bei der vorherbeschriebenen (561) Einrichtung. Die Schwingbewegung ist von der Pumpe aus eingeleitet. Auf dem Kolben 3 steht eine Stange 10, deren Ende die Kolbenstellung anzeigt, also erkennbar macht, ob der Kolben 4 in Wirksamkeit ist oder nicht. Man kann daher äusserlich am Druckverminderer sehen, welches Uebersetzungsverhältniss zur Zeit gerade in Benutzung ist. Ebenso ist dieser Zustand auch am Quecksilbermanometer kenntlich gemacht, so dass der Beobachter sofort sieht, an welcher der beiden Skalen er abzulesen hat. Für die 150 000 kg-Maschine der Firma ist z. B. die Hauptskala in 200 kg und die zweite Skala in 20 kg eingetheilt.

562. Auch Unwin hat die Messdose mit dem Quecksilbermanometer in einer sehr hübschen Weise, ähnlich wie Thomaset (Taf. 15, Fig. 3—6), verwendet, um eine Reihe von kleinen Maschinen zu konstruieren, die sich ausgezeichnet für Lehrlaboratorien eignen. Leider muss ich es mir wegen mangelnden Entgegenkommens der Firma Bayley & Co. in Manchester, die diese Maschinen baut, versagen, näher auf sie einzugehen. Diese kleinen Maschinen sind für Zug-, Druck-, Dreh-, Scheerversuche u. s. w. eingerichtet.

563. Man kann bei Anwendung der Messdosen ausserordentlich

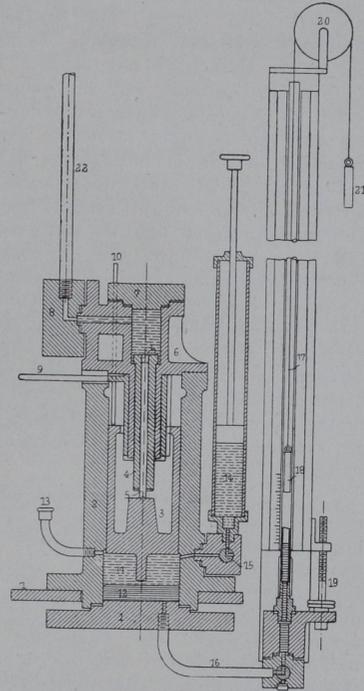


Fig. 404.

grosse Uebersetzungsverhältnisse erzielen, wie ich bei der Beschreibung meiner 50 000 kg-Maschine (*L 162*) ausführlich mittheilte. Obwohl aus den in Abs. 530 angegebenen Gründen diese Vorrichtung wieder ausser Betrieb gesetzt worden ist, will ich den auf die Dose und Schreibvorrichtung bezüglichen Theil hier zum Abdruck bringen, weil die gemachten Erfahrungen in mancher Beziehung lehrreich sind.

a. Soll die Maschine (Taf. 5 Fig. 1—4) den Versuch selbstthätig ausführen, so ist die rechte Seite ausser Wirkung zu setzen, indem alle Scheiben und Gewichte abgehoben werden und die Wage vollständig entlastet wird. Nachdem dann die Kopfschraube 58 in der Druckstange 56 der linken Seite soweit heraufgeschraubt ist, dass die Schneide des Wagebalkens in seiner Nulllage zum Aufliegen auf die Pfanne kommt, welche in dem Schraubenkopfe 58 enthalten ist, ist die Maschine zum Gebrauche fertig. Der Probestab 11 wird an seinen Ringmarken mit zwei federnden Klemmen versehen, welche mit Schneiden in die Ringmarken eingreifen und so die Messlänge abgrenzen. Die untere Klemme trägt eine Oese zum Befestigen des Fadens, und die obere Klemme hat ein Röllchen, über welches der Faden 89 [ein sehr feiner Kupferdraht] zu den Leitrollen an der linken Säule und von dort zur Zeichentrommel 84 geführt ist. Diese Leitrollen sind einstellbar an einem an der Säule befestigten Stabe angebracht. Dadurch, dass ein Theil des Fadens senkrecht zur Probestabaxe abgeleitet ist, sind die Bewegungen, welche der Stab ausser seiner Formänderung etwa erfährt [Rutschen in den Keilen, wenn Keileinspannungen benutzt werden], von der Aufzeichnung ausgeschlossen (534) und es kommen nur die gegenseitigen Bewegungen zwischen den Schneiden und Federklemmen, also die Stabdehnung in der Versuchslänge, zur Wirkung. Wenn der Stab, wie bei den Normalrundstäben, mit Köpfen versehen ist, können ohne grossen Fehler die Bewegungen des Kolbens unmittelbar zur Aufzeichnung gelangen, was immerhin etwas bequemer für die Versuchsausführung ist. Das Zeichenpapier ist mittelst federnder Messingschienen schnell und bequem auf die Zeichentrommel zu spannen. Die Trommel ist um ihre senkrechte Axe zwischen Spitzen leicht beweglich und kann eben so leicht herausgenommen werden. Durch ein kleines Gegengewicht wird der Kupferfaden in gleichmässiger Spannung erhalten.

Vom Probestabe aus wird die auf ihn ausgeübte Kraft durch die Wage auf die Druckstange 56 übertragen, welche ganz frei durch den Kontrolgewichtssatz 51 hindurchgeht und mit ihrer Spitze auf den Deckel 67 einer nach dem Emeryschen Systeme gebildeten Dose des Druckerzeugers, Fig. 8 und 9 Taf. 5, drückt. An ihrem oberen Ende ist die Stange, mittelst eines Lenkers 57, mit dem Querhaupte der Maschine verbunden (Fig. 1 und 2). Der bewegliche Deckel des Druckerzeugers ist durch zwei eingelegte dünne Metallplatten 62 und 64 gerade geführt und sein Spiel durch den übergreifenden Rand des äusseren Verschlussringes 60 auf ein sehr kleines Maass beschränkt. Der Deckel und der Boden des Gefässes sind kegelförmig gestaltet, so dass nach dem Umdrehen des ganzen Druckerzeugers, beim Einfüllen von Wasser, alle Luft durch das Loch am Boden entweichen kann. Vor dem Umkehren und nach geschehenem Füllen wird der Deckel durch drei Seitenschrauben unverrückbar festgestellt, welche in dem äusseren Verschlussringe angebracht sind und den inneren Verschlussring festkleben können. Hierdurch wird beim Umkehren des Druckerzeugers das dünne Metallblech, welches den Abschluss der Dose zwischen Gefäss und Deckel bildet, auch dann geschont, wenn man zur Ausführung der Füllung die Geradföhrungen entfernte. Dies empfiehlt sich, um den ganzen Dosenkörper beim Füllen durch untergestellte Gasflammen anwärmen zu können. Das abschliessende Metallblech ist, zur Erzielung vollkommener Dichtigkeit, in den vorher verzinnnten Nuten des Gefässes und des Deckels verlöthet worden, und zwar wurde zum Verlöthen des Deckels ein etwas schwerer fließendes Loth benutzt als zum Verlöthen des Gefässes. Um möglichst klare Wirkung zu haben, sind die Verschlussringe so eingerichtet, dass sie die Blechplatte hart an den Gefässrändern fassen und niederpressen. Bei der Füllung wurde zunächst bei umgekehrter Dose die Luft durch leichtes Bewegen des Deckels und fortwährende Erschütterung durch Klopfen ausgetrieben; das Wasser war vorher ausgekocht. Dann wurde der Körper so lange angewärmt, bis

aus dem mit der Bodenöffnung vorläufig verbundenen Gummirohre Dampf entwich; das andere Ende dieses Rohres wurde in ausgekochtes Wasser gestellt und nun der Körper abgekühlt. Dies Verfahren wurde mehrmals wiederholt, dann das endgiltig zu benutzende, vorher vollständig mit ausgekochtem Wasser gefüllte Rohr möglichst so aufgesetzt, dass keine neue Luft eindringen konnte, und nun das Anwärmen und Abkühlen, zuletzt nachdem man den Dosenkörper vorher umkehrte, so lange wiederholt, bis alle Luft entfernt war. Dieser Zustand muss durchaus erreicht werden, wenn man später proportionale Theilung für den Kraftmaassstab der Schaulinien erhalten will. Auf dem Dosendeckel ist ein Fühlhebel angebracht, welcher mit einer Uebersetzung von 1:50 den Stand des Dosendeckels anzeigt, und welcher ursprünglich als Schlüsselvorrichtung für den elektrischen Strom mit mangelhaftem Erfolge benutzt wurde.

b. Der auf die Dose des Druckerzeugers ausgeübte Druck des Probekörpers wird durch das Wasser auf ein feines Häutchen übertragen, welches in dem unteren Theile des Gehäuses 75, 76 für den elektrischen Schlüssel angebracht ist (Fig. 8 rechts) und den Wasserinhalt der Dose in sich vollkommen abschliesst. Rechts unter dieser kleinen Abschlussdose sieht man ein ganz feines Röhrchen, welches mit einem Abschlussventil versehen ist und mit einem hochstehenden Wassergefäss verbunden werden kann. Durch Heben oder Senken dieses Gefässes kann man nun den Deckel des Druckerzeugers mit Hülfe des erwähnten Fühlhebels in diejenige Lage bringen, in welcher er am besten spielt; alsdann wird das Ventil geschlossen. Grössere Aenderungen im Wärmezustande der Metall- und Wassermassen [z. B. Sommer und Winter] haben Lagenänderungen des Dosendeckels im Gefolge; man kann mit Hülfe des Abschlussventiles und der geschilderten Einrichtungen diese Lagenänderungen leicht beseitigen.

Der Druck des Probekörpers wird nun durch eine Hartgummistange auf die zweite obere, ganz gleich konstruirte Dose des elektrischen Schlüssels übertragen und wirkt von hier aus, mittelst einer zwischenliegenden Wasserschicht, auf das Quecksilber in dem unten an der linken Säule (Fig. 3) in Schlitten laufenden Quecksilbergeässe; die letzte Verbindung mit diesem Gefässe wird durch einen überspannten Gummischlauch hergestellt. Auf der Quecksilberoberfläche im Gefässe schwimmt eine Eisenplatte, um die Massenbeschleunigung bei Bewegung der Flüssigkeiten im Rohrsysteme auf die ganze Quecksilbermasse zu übertragen und damit einen möglichst ruhigen Quecksilberstand zu erzielen. Das Quecksilbergefass bildet ein hydraulisches Wagesystem; es muss den Kraftäusserungen des Probestabes entsprechend gehoben oder gesenkt werden, um durch den hydrostatischen Druck im Druckerzeuger dem Drucke des Probekörpers das Gleichgewicht zu halten.

Um diese Bewegungen des Quecksilbergeässes selbstthätig durch den Probestab zu bewirken, ist der vorgenannte Hartgummistab zwischen den Häuten des kleinen Dosensystemes benutzt, indem seine sehr kleinen Bewegungen, in der durch Fig. 405 gezeichneten Weise, zum Öffnen und Schliessen eines schwachen elektrischen Stromes benutzt sind. Der in den Hartgummistab eingelassene Platinstift *a* bewirkt den Stromschluss, sobald er das Platinblättchen am Hebel *b* berührt. Der Hebel *b* ist durch die Feder *c* nur ganz schwach angespannt, so dass er sofort nachgibt, wenn der Hartgummistab seinen Weg weiter fortführt. Hierdurch entsteht jedesmal eine leichte reibende Bewegung zwischen den Berührungsflächen, und der Stromschluss wird daher um so sicherer. Die Schraube *d* dient zur Veränderung der Höhenlage des Berührungspunktes und gestattet diejenige Lage aufzusuchen, in welcher die beiden Abschlusshäutchen am empfindlichsten wirken. Um die Berührungsflächen möglichst zu schonen, wird stets mit ganz schwachem Strome gearbeitet. Ausserdem ist aber in den Stromkreis ein Kondensator eingeschaltet, welcher den Unterbrechungsfunken auf das kleinste Maass zurückführt.

Von dem Schlüssel aus geht der Strom zu einem Relais, durch dessen Anker ein starker elektrischer Strom geschickt ist. Dieser Strom wird nun zu den Elektromagneten zweier gemeinsam in einem Kasten untergebrachten Laufwerke 85, Fig. 3 Taf. 5, geführt; wenn der Strom im ersten Stromkreise geschlossen ist, so geht der

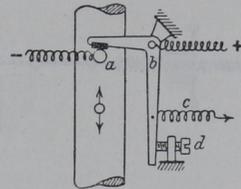


Fig. 405.

zweite starke Strom zum rechten Magneten M_2 Fig. 406; wenn der erste Kreis geöffnet ist, so geht der starke Strom zum dritten Magneten M_1 . Diese Magnete beherrschen die Bremsen für die Laufwerke U_1 u. U_2 , und die Folge ihres Spieles ist, dass im ersten Falle das linke, im zweiten Falle das rechte Laufwerk gebremst ist; das nicht gebremste Laufwerk kommt also in Thätigkeit. Nun wird das linke Werk durch ein schweres Gewicht P , das rechte aber durch das leichtere Eigengewicht des Quecksilbergefässes Q nebst seiner Führungsstange getrieben. Deshalb wird, wenn der erste Stromkreis geschlossen ist, also der Probestab zu stark auf den Dosendeckel drückt, das Quecksilbergefäss gehoben, bis der Quecksilberdruck das Uebergewicht bekommt und den ersten Stromkreis öffnet. Dann geht das Spiel des Relais ausserordentlich rasch vor sich, und das Quecksilbergefäss pendelt mit sehr geringem Spiel um seine Gleichgewichtslage, die dann von dem an der Führungsstange des

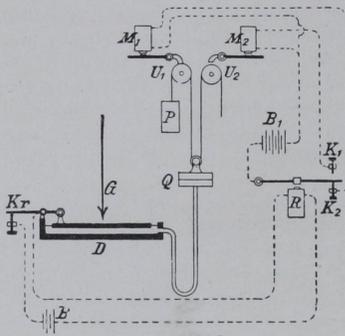


Fig. 406.

Gefässes angebrachten Schreibstift auf die Zeichentrommel übertragen wird.

Die Gleichgewichtslage des Quecksilbergefässes für die Nullbelastung kann man beliebig auswählen, indem man nach entsprechender Einstellung des Gefässes die Verschlusschrauben an dem obersten Punkte der Rohrleitung 74 vom Schlüssel 75 zum Gefäss löst und entweder Wasser aus dem Rohr 74 abfliessen lässt oder hinzufügt. Soweit dieses Rohr aus Metall besteht, ist es mit Baumwolle umwickelt und mit Leder überzogen, weil Wärmeänderungen dieses Theiles einen erheblichen Einfluss auf die Lage des Nullpunktes haben, da diese ja durch die Lage des Quecksilberspiegels im Gummirohre bedingt ist.

Die hier bereits aufgeführten Vorsichtsmaassregeln sind durchaus nicht alle vorbedacht, sondern zum Theil, wie die späterhin noch zu erwähnenden Umstände, erst nach vielen Versuchen ausfindig gemacht. Es ist deswegen wohl nicht unzweckmässig, die wichtigsten der gemachten Erfahrungen auch hier eingehend zu besprechen, weil sie vielleicht für andere Gelegenheiten verwertbar sein können. Ich will hier einer früher von mir (*L 115*) gegebenen Darstellung der Wandlungen folgen, welche der Apparat im Laufe der Zeit durchmachte, weil ich die Sachlage kaum kürzer und übersichtlicher vorführen könnte. Hierbei wird es genügen, sich an die in Fig. 406—408 gegebenen schematischen Darstellungen zu halten.

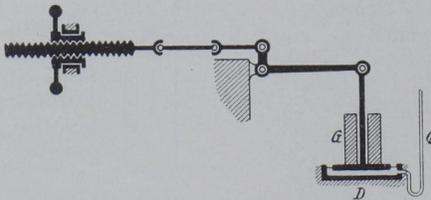


Fig. 407.

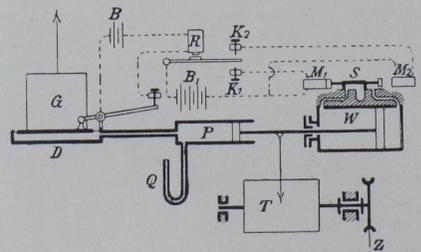


Fig. 408.

c. Die erste Erprobung des Systemes wurde an einer kleinen Maschine für 1000 kg Leistung gemacht; die Einrichtung ist in Fig. 407 gegeben. Die Zeichnung wird aus sich selbst verständlich sein. Das Gewicht G ist ein wenig schwerer, als es der grössten Kraftleistung der Maschine entspricht; es ist auf dem Dosendeckel D angebracht. Der Doseninhalt steht mit der Quecksilbersäule Q in Verbindung, die das Gewicht gerade in der Schwebelage erhält. Bei Anspannung des Probestabes wird ein Theil des Gewichtes von G auf diesen übertragen und der Dosendeckel gehoben, bis der Quecksilberdruck dem Restgewicht entspricht.

d. Da es mühsam und nicht sehr zuverlässig war, während des ganzen Versuches die Quecksilberoberfläche abzulesen, so sollte der Apparat selbstzeichnend gemacht werden. Unter den möglichen Formen schien für den vorliegenden Fall die in Fig. 408 dargestellte am meisten geeignet zu sein.

Die Höhenveränderung der Quecksilbersäule wird hier nicht mehr durch die Inhaltsveränderung der Dose D erzielt, sondern durch die Inhaltsänderungen des Cylinders P , welche durch sehr kleine Bewegungen des Dosendeckels geregelt werden, die das Relais R beherrschen, durch welches mittelst der Magnete M_1 und M_2 der Steuerungsschieber S zum Pumpwerke W umgesteuert wird. Die Bewegungen der gemeinsamen Kolbenstangen von P und W geben ein Maass für die Höhe des Quecksilberdruckes, also auch für denjenigen Theil des Gewichtes G , welcher vom Probetabe getragen wird. Diese Bewegung der Kolbenstangen wird auf die Papiertrommel T gezeichnet. Die Drehungen der letzteren entsprechen den Stabdehnungen; sie werden vom Stabe selbst durch den Schnurzug Z besorgt.

e. Die dritte Form ist die für die hier beschriebene Maschine ursprünglich angewendete; sie ist in Fig. 406 schematisch gezeichnet, und es wird genügen hervorzuhoben, dass das Pumpwerk W durch die Laufwerke U_1 und U_2 ersetzt ist, deren Einrichtung ja aus Früherem bekannt ist. Q ist das Quecksilbergefäss, Kr der früher erwähnte Fühlhebel [vergl. Fig. 405] und R das Relais für die Magnete M_1 und M_2 der Laufwerkbremsen.

f. Allen drei hier genannten Konstruktionsformen ist ein Uebelstand gemeinsam, welcher sie für genaue Messungen unbrauchbar oder doch wenigstens sehr unbequem macht: die Beweglichkeit, welche dem Dosendeckel in mehr oder minder hohem Grade belassen worden ist. Am meisten störend wirkt dieser Umstand bei der Form Fig. 407. Denn hier muss der Deckel stets eine so grosse Bewegung machen, als es der Quecksilbersäule entspricht. Diese Bewegungen sind immerhin beträchtlich genug, um eine wesentliche Fehlerquelle zur Wirkung kommen zu lassen, nämlich die durch Formänderung bedingte Zustandsänderung des dünnen Abschlussbleches und die Wirkung der Reibung der Flüssigkeit in dem engen Verbindungsrohre zwischen Dose und Quecksilbergefäss. Nimmt man beispielsweise einen wirksamen Dosen-Dmr. $D = 20$ cm, also etwa 300 qcm Querschnittsfläche an, so würde einem Belastungsunterschiede der Dose von 100 kg eine Quecksilbersäule von 25,3 cm entsprechen. Den Querschnitt der Quecksilbersäule wird man mit Rücksicht auf die Kapillarwirkung nicht kleiner als 0,5 qcm wählen, und daher wird die zur Erzeugung von 25,3 cm Fall der Quecksilbersäule in die Dose eintretende Wassermenge $25,3 \times 0,5 = 12,7$ ccm betragen, was eine Bewegung des Dosendeckels um $12,7/300 = 0,042$ cm verlangt. Diese Bewegung muss wegen der starren Dosenteile fast ganz von dem dünnen Metallblech ausgeführt werden. Die Breite des zur Wirkung kommenden ringförmigen Theiles dieser Platte kann man leicht so wählen, dass die erforderliche Beweglichkeit noch vorhanden ist, da wegen des geringen Flüssigkeitsdruckes (40 cm Quecksilber) das Blech sehr dünn sein darf. Ausser den vorhin berechneten beabsichtigten Bewegungen kommen aber noch die Folgen der Stösse beim Abreissen des Probetabes in Betracht und der Umstand, dass dem Dosendeckel bei der Form l in dem Augenblicke die Geradföhrung fehlt, in welchem die Schneide des Wagehebels die Pfanne der mit dem Deckel fest verbundenen Zugstange verlässt. Dann kann schiefe Belastung der Dose stattfinden, welche gemeinsam mit der gleichzeitigen Stosswirkung die dünne Blechplatte ungünstig beansprucht und Zustandsänderungen begünstigt. Wie erst bei den späteren Konstruktionsformen sicher erkannt wurde, äussern sich diese Zustandsänderungen vorwiegend in Nachwirkungserscheinungen, deren Grösse und Geschwindigkeit des Verlaufes von einer Reihe von Umständen bedingt und durch die Reibungswiderstände in den engen Röhren verdeckt wird. Beides veranlasst nämlich, dass die Kraftänderung durch den Stand des Quecksilbers nicht in dem Augenblick angezeigt wird, in welchem sie entsteht, sondern erst einige Zeit später. Man konnte dies bei dem Apparate Fig. 407 bequem nachweisen, da das Gewicht G aus mehreren leicht abhebbaren Scheiben bestand.

Die Nachwirkungen wegen der Reibung in den Leitungsrohren kann man auf ein geringes Maass zurückführen, wenn man die Gesamtlänge des Rohrsystems und die Rohrweite so wählt, dass nur ein geringer Höhenüberschuss der Quecksilbersäule erforderlich ist, um die für die Wirkung nöthige Flüssigkeits-

menge in dem Bruchtheil einer Sekunde durch das Rohrsystem zu bewegen. Praktisch brauchbare Verhältnisse werden sich für die Konstruktionsform Fig. 407 voraussichtlich schwer gewinnen lassen, wenn man die wahre Kraftanzeige in weniger als 1 Sek. erreichen will; dies wird ja aber auch nicht für alle Zwecke nothwendig sein.¹⁾ Es ist bei Benutzung der Form Fig. 407 noch Rücksicht darauf zu nehmen, dass die in Bewegung zu bringende Quecksilbermenge nicht zu gross ist, um nicht die Trägheit der Masse bei schnellen Kraftänderungen zu sehr zur Wirkung kommen zu lassen, was wiederum die Schnelligkeit der Anzeige beeinflussen würde. Am leichtesten wird man die vorbereiteten Uebelstände beseitigen können, wenn man die durch das Rohr zu bewegende Flüssigkeitsmenge auf das kleinste Maass zurückführt. Diese Forderung verlangt, dass man dem Dosendeckel nur möglichst geringes Spiel giebt, und hiermit sind dann unter Umständen zugleich auch die Zustandsänderungen im Abschlussbleche auf ein möglichst kleines Maass gebracht.

g. Die Formen Fig. 407 und 408 genügen dieser Forderung insofern, als die Arbeitsbewegungen des Dosendeckels, d. h. diejenigen Bewegungen, welche der Deckel beim Spiele des Apparates macht, auf ein sehr kleines Maass zurückgeführt sind. Benutzt man nämlich einen elektrischen Schlüssel *k* (Fig. 408 u. 406 oder Fig. 405), der die gegenseitigen Bewegungen zwischen Deckel und Gefäss in vergrössertem Maassstabe auf das Schlussende überträgt, und wählt man einen sehr schwachen Strom, womöglich unter Anwendung eines Kondensators, so kann man es leicht dahin bringen, dass der zum Stromschlusse erforderliche Weg des Dosendeckels sehr klein wird. Für den schwachen Strom genügt eine Bewegung der Schlusstellen von etwa 0,02 mm, um Unterbrechung oder Schluss zu bewirken. Nimmt man die oben bereits benutzten Verhältnisse und ein Uebersetzungsverhältniss des Schlüssels von 1/50 an, so würde der Dosendeckelweg nur $0,002/50 = 0,0004$ cm betragen. In Wirklichkeit wird jedoch dieser Weg aus mehrfachen Gründen grösser ausfallen, weil erstens, wegen der Trägheit der Massen, die Einzelbewegungen alle über die jeweilige Gleichgewichtslage hinausgehen, zweitens weil elastische Formänderungen des Dosenkörpers eintreten, welche Inhaltsveränderung der Dose und unbeabsichtigte Bewegung des elektrischen Schlüssels hervorrufen; ferner entstehen Lageänderungen des Deckels gegen den Dosenkörper infolge etwaiger mangelhafter Geradföhrung des ersteren, und endlich Verzögerungen, welche durch die Wirkung der Ausgleichvorrichtungen [bei Form 408 der Wasserpumpe, bei Form 405 des Laufwerkes und deren Zwischenmechanismen] bedingt sind. Praktisch hat die Sache so gelegen, dass man bei Form 408 ohne eine wesentliche Aenderung des Erfolges das Uebersetzungsverhältniss des Schlüssels auf 1/1 zurückführen, also die Schliessvorrichtung an Körper und Deckel unmittelbar anbringen konnte.²⁾ Hieraus geht hervor, dass man die wirklich vorhandenen Bewegungen des Deckels in dem benutzten Apparate sicher auf etwa 0,005 cm schätzen kann, ein Maass, das sich bei Neukonstruktionen und bei Berücksichtigung aller vorher besprochenen Umstände vielleicht noch vermindern lassen dürfte. Rechnet man aber hiermit, so findet man, dass zur Erzielung eines Bewegungswechsels im Deckel eine Flüssigkeitsmenge von $300 \times 0,005 = 1,5$ cm, also von nur 1/8,5 des für Form *l* ermittelten Betrages durch das Verbindungsrohr zu bringen ist. Man wird also auch hier gut thun, das Rohr kurz und nicht zu eng zu machen.³⁾ Diese Flüssigkeitsmenge lässt sich bei sehr sorgfältiger Uebersetzung aller Abmessungen und guter Justirung der Vorrichtungen allerdings wohl noch erheblich vermindern, sie wird aber für Form 408 und 405 immer den Hauptpunkt der Schwierigkeiten bilden, dem man nach meinen jetzigen Erfahrungen am besten durch völlige Absperrung des Flüssigkeitsinhaltes der Dose vom Quecksilbergefässe begegnet. Dies ist mit Erfolg bei dem letzten Stande der Einrichtungen für die hier beschriebene 50000 kg-Maschine [Maschine *G* der Versuchs-

¹⁾ Die Anwendung von Federmanometern wird bei Konstruktionen dieser Art besser am Platze sein.

²⁾ Man beachte das in Absatz 528*b* Gesagte.

³⁾ Man beachte, dass Emery Rohre von 1,25 bis 1,5 mm Lichtweite anwendet und dass man die Länge dieser Rohre gelegentlich sehr gross machen will. Eine genaue Nachprüfung dieses Gedankens wäre wohl am Platze (559).

anstalt] geschehen; die beiden in die Schlüsselvorrichtung [Fig. 8, Taf. 5] eingeschalteten Plättchen bilden diesen Abschluss. Das mittlere Flächenverhältniss dieser Plättchen zu der Dose ist etwa $1/880$, und das grösste mögliche Spiel der Plättchen ist $0,08$ cm [die Schlussschrauben bedingen dieses Maass] bei etwa $1,3$ qcm Querschnittsfläche. Die ganze für jeden Spielwechsel durch die Rohrleitung zu bewegende Flüssigkeitsmenge ist aber erheblich geringer als $0,08 \times 1,3 = 0,104$ cm, da auch hier für die Schliessung des Kreises eine Bewegung des Schliesspunktes von nur $0,002$ cm nöthig ist. Rechnet man für das Spiel den zehnfachen Betrag, so ist der Weg des Dosendeckels etwa $10 \times 0,002/880 = 0,00002$ cm, und zwar kommt diese Rechnung der Bewegung des Deckels in Wirklichkeit sehr nahe, da alle Fehler, welche aus der Anordnung des Schlüssels an anderer Stelle und wegen mangelnder Führung des Deckels früher bestanden, bei der jetzigen Konstruktion ausgeschlossen sind.

h. Es ist wohl werth und besonders lehrreich, hier auch die Misserfolge zu besprechen, welche durch die beiden zuletzt genannten Umstände veranlasst worden sind. Man wird erkennen, wie ausserordentlich man sich oft bei Vernachlässigung der Formänderung der Maschinenteile seine Aufgabe erschweren kann.

Anfangs war ich der Meinung, dass ich dem Dosendeckel keine bessere Geradföhrung geben könnte, als es durch seine feste Verbindung mit der Druckstange und Führung der letzteren durch den an dem Querhaupte gelagerten Lenker 57 (Fig. 1 u. 3, Taf. 5) geschehen konnte, bis ich durch Zufall darauf aufmerksam wurde, dass diese Führung eine ausserordentlich bedenkliche war. Ich liess gelegentlich die Zeichentrommel durch das links neben ihr an der Säule angebrachte Uhrwerk 86, 87 treiben, um letzteres auf seine Zuverlässigkeit zu prüfen, und wollte den Zeichenstift 83 des Quecksilbergefässes benutzen, um Minutenmarken auf das Papier zu zeichnen. Gleichzeitig machte ein Assistent auf der Maschine einen ZerreiBversuch, und obwohl der Wagehebel 25 gar nicht in Beröhrung mit der Druckstange 56 war, fing der Apparat an, genau in derselben Weise zu arbeiten, wie wenn er absichtlich in Thätigkeit gesetzt wäre; er beschrieb eine Schaulinie, die fast aussah wie die bei einem ZerreiBversuch erhaltene. Dieser Umstand war dadurch veranlasst, dass Druckstange und Dose den Formänderungen der Maschine folgten und hierdurch Lageänderungen des Deckels gegen das Gefäss verursachten, welche den damals noch verwendeten Schlüssel zur Thätigkeit brachten. Man konnte sich zuerst diese Erscheinung nicht erklären, bis nach einigen Tagen der Zufall wieder zu Hölfe kam. Eine bei den Bemühungen zur Auffindung der Gründe der Erscheinung benutzte Wasserwage stand neben der linken Säule 2 auf dem Maschinenbett 1 und zeigte deutlich Biegungen während des Versuches an. Weitere Versuche ergaben, dass sich die obere gehobelte Bettfläche neben der linken Säule in der Hauptrichtung der Maschine bei 15 t Belastung des Probestabes um 25 Sek. neigte, während in der Nähe des Presscylinders die in gleicher Richtung aufgestellte Wasserwage durchaus keine Aenderung erkennen liess. In der zur ersten senkrechten Richtung betrogen die Neigungen, gemessen am Rande der Bettoberfläche, in der Mittelebene der linken Säule bei 15 t 6,3 Sek., in der Mittelebene des Cylinders bei 15 t 12,6 Sek., und zwar hatten die letzten beiden Biegungen entgegengesetzten Sinn.

Nach dieser Erfahrung wurde die feste Verbindung zwischen Deckel und Druckstange aufgegeben, die jetzige Form der Uebertragung gewählt und zugleich der Deckel mit der jetzigen Parallelföhrung versehen. Auch die Schlüssleinrichtung am Rande des Gefässes wurde aufgegeben und versucht, diese Vorkehrung von den Formänderungen der Dosenscheibe unabhängig zu machen, indem man die Bewegungen zwischen Druckstange und dem Gestell für den Kontrollgewichtssatz benutzte. Hierbei war zur Uebertragung der Bewegung nach dem Schlüssel, der mit $1/100$ Uebersetzungsverhältniss arbeitete, eine Stahlstange von etwa 130 mm Länge und 2 mm Dicke benutzt. Diese Stange wurde wieder ein Quell der Verdriesslichkeiten. Denn so wie nur durch Oeffnen von Thür und Fenster Luftzug erzeugt wurde, bekam die Schaulinie Zacken, welche nicht dem Wesen des Materiales entsprachen. Die geringsten Wärmeschwankungen gingen schnell auf die Uebertragungsstange über und veranlassten Veränderungen der Gleichgewichtslage des Dosendeckels, welche eine Veränderung der Höhenlage des Quecksilbergefässes bedingten. Erst als der elektrische Schlüssel in der jetzigen

Weise allein von der Bewegung der Flüssigkeit im Rohrsystem abhängig gemacht wurde, erhielt man wirklich befriedigende Ergebnisse.

i. Aber die Erkenntnis, dass namentlich die Menge der in Bewegung gesetzten Flüssigkeit die wesentlichsten Bedingungen für die gute Wirkung giebt, war Veranlassung, den Gegenstand nicht ruhen zu lassen. Es sind noch weitere Versuche gemacht, die Bewegungen zu verringern, welche von dem in Fig. 409 dargestellten Grundgedanken ausgingen. Um den wirksamen Querschnitt des Schlüsseldöschens auf das kleinste Maass zurückzuführen und zugleich die Bewegungshindernisse zu beseitigen, welche die beiden Häutchen durch etwaige einseitige Spannungen immer noch geben, ist an deren Stelle ein Gummisäckchen *c* angebracht, welches ein kleines mit Quecksilber gefülltes Glaskügelchen *a* abschliesst. Das Säckchen ist in das Rohr *g* eingeschlossen, welches zur Dose führt. Das Quecksilber tritt bei wachsendem Druck in *g* in Form einer Kuppe durch die etwa 2 qmm im Querschnitt haltende Oeffnung in das Gefäss *b* über, bis es den Platinstift *e* berührt. In *b* befindet sich eine nichtleitende Flüssigkeit; der Strom ist also erst geschlossen, wenn die metallische Berührung stattfindet. Ein zweites Säckchen *d* schliesst die nichtleitende Flüssigkeit gegen das zum Schreibwerke führende Rohr *h* ab. Nimmt man an, dass die Bewegungen der Quecksilberkuppe zur Erzeugung des Spieles etwa 0,05 cm betragen, so ist die zu verdrängende Flüssigkeitsmasse $0,05 \times 0,02 = 0,001$ ccm und der entsprechende Dosendeckelweg $0,001/880 = 0,000001$ cm. Die Bewegungen des am Wagebalken hängenden Probeabstandes würden von dieser Grösse nur $1/250$ betragen, wenn es möglich wäre,

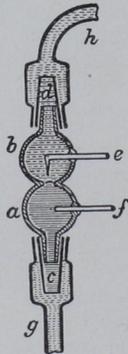


Fig. 409.

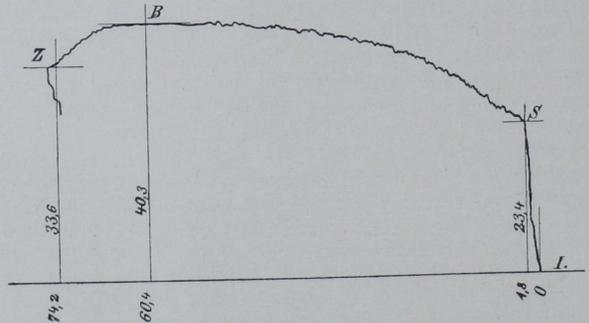


Fig. 410.

ein vollkommen starres Maschinengestell zu erzeugen; in Wirklichkeit kommen noch elastische Formänderungen des Gestelles in Frage. Treten plötzlich grössere Kraftschwankungen ein, wie z. B. beim Abreissen des Probestabes, so vermag das Laufwerk ihnen nicht so schnell zu folgen, und die beiden Plättchen, bzw. Gummisäckchen, müssen den Kraftüberschuss aufnehmen und sozusagen Abschlussventile bilden; es tritt also der gleiche Fall ein wie bei einem Wagebalken, wenn er sich an den etwa vorhandenen unteren oder oberen Anschlag anlegt und den überschüssigen Teil seines Momentes an das Maschinengestell abgiebt. Hierbei wird eine Verschiebung des Inhaltes der Gummisäckchen entstehen, welche schätzungsweise einer Inhaltsänderung von etwa 0,5 ccm, also einer Bewegung des Dosendeckels von etwa 0,000005 cm entspricht, die das grösste Spiel der Dose darstellt; sie würde durch eine Dehnung des Probestabes um etwa 2 Zehn-Milliontel Millimeter ausgeglichen werden können. Der Stab würde sich also bei einer plötzlichen Unterbrechung des Versuches durch Stillstehen der Maschine schon durch eine ausserordentlich geringe Nachstreckung selbst entlasten können, wenn nicht die elastischen Formänderungen des Maschinengestelles ihn, gleichsam als Feder wirkend, anspannten und einen grösseren Weg zu ihrer Unwirksammachung erheischen.

Gerade diese ausserordentlich günstige Inanspruchnahme des Probestabes, welche es ihm ermöglicht, für jede Versuchsgeschwindigkeit die Belastung seiner Widerstandsfähigkeit anzupassen, haben mich zu zähem Festhalten an der Ver-

wirklich des von mir verfolgten Grundgedankens veranlasst und werden Ursache sein, der gleichen Richtung noch weiter zu folgen, indem ich Konstruktionsformen aufsuchen werde, welche die Formänderungsarbeit des Maschinengestelles auf das kleinste Maass zurückzuführen gestatten.¹⁾

Auf einen Umstand, welcher das Aussehen der von der Maschine gezeichneten Schaulinien beeinflusst, habe ich noch aufmerksam zu machen, das sind die Ungenauigkeiten in den zur Uebertragung der Bewegungen auf das Quecksilbergefäß gebrauchten Ketten. Hierdurch bekommen die Linien immer ein etwas zackiges Aussehen, wenn auch das Spiel des Quecksilbergefäßes um seine Gleichgewichtslage sonst so klein ist, dass man die hiervon herrührenden Bewegungen des Zeichenstiftes kaum mit blossen Auge bemerkt [vergl. Fig. 410]. Diese Gründe waren Veranlassung, an Stelle des Uhrwerkes einen von der Wasserleitung betriebenen Pumpcylinder zu entwerfen, dessen Kolben die auf- und abgehenden Bewegungen unmittelbar auf das Quecksilbergefäß überträgt. [Diese Vorkehrung hat sich indessen beim Gebrauch, wegen der Unreinigkeiten im Betriebswasser, wenig bewährt.] Gleichzeitig soll auch versucht werden, durch Verdoppelung des in Fig. 409 gezeichneten Schlüssels das Relais entbehrlich zu machen und, das Pendeln um die Gleichgewichtslage vermeidend, die Belastungsvorrichtung zur Ruhe kommen zu lassen, sobald der Stab sich im Gleichgewichtszustande befindet. Das Wesen dieser neuen Einrichtung ist in Fig. 411 schematisch dargestellt; es wird ohne weiteres verständlich sein, wenn hier noch bemerkt wird, dass die elektromagnetische Steuervorrichtung für die Pumpe *W* nur in Wirkung kommt, wenn im Schlüssel *k*₁ oder *k*₂ metallische Berührung stattfindet; sobald Stromunterbrechung eintritt, zieht die eine oder die andere der Gegenfedern *F*₁ oder *F*₂ das vom Anker beherrschte entlastete Ventil *S* der Steuerung in seine Mittelstellung, so dass beide Zufusswege abgeschlossen oder wenigstens gleich weit geöffnet sind. Das Spiel der beiden Schlüssel kann mit Hülfe der Nachstellvorrichtung *R* leicht so geregelt werden, dass die geringste Kraftänderung bei *k*₁ oder *k*₂ Stromschluss bewirkt.

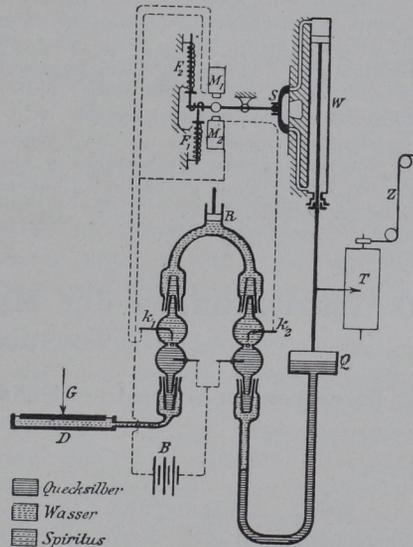


Fig. 411.

k. Wie aus dem Voraufgehenden sich ergibt, sind mehrere Ursachen vorhanden, welche veranlassen, dass die inneren Widerstände und die Uebersetzungsverhältnisse langsamen Schwankungen unterworfen sind, und es war deswegen von vornherein Bedacht auf die Möglichkeit einer bequemen und schnellen Kontrolle der Angaben des Schaulinienzeichners genommen. Hierzu dient in erster Reihe der Kontrollgewichtssatz, mit welchem unmittelbar vor und nach jedem Versuche die jedem Belastungsgewicht entsprechenden Schaulinienhöhen durch den Apparat aufgezeichnet werden. Die Einrichtung des Kontrollgewichtssatzes ist die gleiche, wie beim Hauptgewichtssatz. Der Belastungswert der erreichten Höhenordinate kann ausserdem während des Versuches an jeder Stelle der Schaulinie sofort festgestellt werden, indem man mit Hülfe des Gewichtssatzes die rechte Seite der Maschine so lange belastet, bis sich die linke Schneide von der Druckstange abhebt. Der Schreibapparat geht auf Null, und das Gewicht auf der

¹⁾ Ich will aber an dieser Stelle nochmals wiederholen, dass es für Maschinen, die der täglichen Praxis dienen sollen, gänzlich verkehrt sein würde, allzuverwickelte Konstruktionen anzuwenden. Das Einfachste ist das Beste, und es ist ausreichend, wenn eine Genauigkeit von 1% erreicht wird.

rechten Seite giebt den Höhenwerth der Ordinate. Hierbei bleibt der Probestab durchaus in seinem Belastungszustande.

Die jetzige Einrichtung [wie sie unter Absatz *e* und *g* beschrieben ist] hat sich, bis auf die geschilderten kleinen Mängel, bei Versuchen über die Festigkeit erhitzten Eisens vorzüglich bewährt; vergl. *L 1*, 1890, H. 4, woselbst auch die bei der Kontrolle des Apparates gefundenen Ergebnisse mitgetheilt sind. Die kleinen durch die Unregelmässigkeiten im Laufwerke hervorgerufenen Zacken stören wenig und lassen immer noch ein ausreichend scharfes Ablesen der Schaulinienhöhen zu. Die Ordinate sind in ausreichendem Maasse proportional den Belastungen.

Mit Hülfe der hier beschriebenen selbstthätigen Belastungsvorrichtungen kann man schliesslich die Kraftaufzeichnung an einem beliebigen Ort, also auch bei grossen Maschinen in der Nähe des Probestabes, vornehmen, wie denn das System mannigfacher Abänderung fähig ist. Aber auch hier wird zu versuchen sein, ob man nicht mit Hilfe von Federmanometern zu einfacheren Mitteln so zum Ziele kommen kann, dass der Kraftanzeiger jeden beliebigen Platz neben der Maschine einnehmen kann.

l. Um aus Zweckmässigkeitsgründen an dieser Stelle die Beschreibung der Maschine zu erschöpfen, sind zum Schlusse noch kurz zwei Einrichtungen zu erwähnen, und zwar das an der linken Säule untergebrachte Uhrwerk, welches ursprünglich zur selbstthätigen Regelung der Kolbengeschwindigkeit vorgesehen war, sich für diesen Zweck aber als entbehrlich erwies und nun gelegentlich zum gleichmässigen Antriebe der Zeichentrommel benutzt wird, und die beiden Löwischen Gasgebläse. Von diesen Gebläsen ist nur dasjenige der rechten Seite gezeichnet. Sie dienen zur Erwärmung der Probestäbe in einem in die Maschine eingehängten Ofen (Fig. 18, Taf. 5), wenn die Stäbe bei hohen Wärmegraden (295—308) zerrissen werden sollen (*L 1—1890*, H. 4).

D. Einrichtungen der Maschinen für verschiedene Versuchsarten.

1. Maschinenbau-Actien-Gesellschaft Nürnberg, vorm. Klett & Co. in Nürnberg.

(Taf. 3—5) (*L 239*).

564. Allgemeines. Die Maschinenfabrik Nürnberg baut die Maschinen nach der Bauart Werder und Martens. Die Werdersche Maschine hat sich über die Grenzen Deutschlands hinaus verbreitet; die Maschine von Martens ist bisher nur einmal für die Versuchsanstalt in Charlottenburg gebaut worden, obwohl sie sich hier in 15jährigem Betriebe in jeder Beziehung bewährt hat. Die allgemeinen Einrichtungen der Maschinen sind zum grössten Theil bereits aus den Absätzen 452, 483, 489, 495 und 497 bekannt.

565. Aufbau. Die Werdermaschine ist liegend angeordnet und für die Ausführung von Zug-, Druck-, Biege-, Knick-, Dreh-, Scheer-Lochversuchen eingerichtet; sie wird namentlich für 100 000 kg Kraftleistung gebaut (Taf. 3) und ist in dieser Ausführung ganz besonders durch Bauschingers zahlreiche und hervorragende Arbeiten bekannt geworden. Eine kleinere Maschine von etwas abweichender Form baut die Firma nach dem Plane Taf. 4, Fig. 6—15. Die grosse Maschine hat hydraulischen Antrieb (453), die kleine Kraftbetrieb mit Schraube 20—26, Fig. 6—8, der von der Waage aus mit den Handhaben, Stangen und Hebeln 27—34 gesteuert werden kann. Während bei der grossen Maschine der Kraftmesser