

Hebel trägt das Pendelgewicht und eine sechstheilige Sperrklinke, die in den am Maschinengestell befestigten Zahnbogen 2 eingreift, so dass das Pendel 7 im Augenblick des Bruches in der erreichten Lage stehen bleibt und seine Zeigermarke die erreichte Bruchbelastung an der Bogenskala 2 anzeigt. Neben dem Pendelhebel ist ein Schleppzeiger 13 auf gleicher Achse gelagert, der auf einer an der Pendelstange angebrachten Bogenskala 14 die Dehnung des Probestreifens anzeigt und im Augenblick des Bruches ebenfalls in seiner Stellung stehen bleibt. Das geschieht wie folgt: Die untere Einspannklemme ist an einem Kopf angebracht, der lose auf der Antriebs Scheibe 5 sitzt und beim Ende des Versuches durch sein eigenes Gewicht eine Verschiebung in der Achse erfährt. Hierdurch wird der kleine Winkelhebel 9 bethätigt, dessen Nase nun die Zahnstange 12 freilässt, die bis dahin die gegenseitige Verschiebung zwischen den beiden Klemmen mittelst des Zahnrades 13 auf den Dehnungszeiger übertrug. Der Antrieb geschieht durch Winkelräder und Schraube. Er hat im Augenblick des Bruches keinen Einfluss mehr auf das Pendel und den Dehnungszeiger, die nun die erreichten Höchstwerthe für Belastung und Dehnung anzeigen. Letztere wird in Procenten der Messlänge abgelesen, weil stets Streifen von gleicher Länge zwischen den Klemmen benutzt werden. Dies wird erreicht, indem nach Feststellung des Pendels und der oberen Klemme in der Nullstellung der Antrieb so lange rückwärts gedreht wird, bis die Nase an der Schraube 5 den Hebel bewegt und den Anschlag so schaltet, dass die Handkurbel nicht mehr weiter bewegt werden kann, dann ist die Klemmenentfernung genau gleich  $l$  [180 mm bei Papierprüfungen]. Die Klemmen sind als Excenterklemmen konstruirt, deren Konstruktion aus Taf. 11, Fig. 5 und 6 hervorgeht.

**537.** A. von Tarnogroki in Essen/Ruhr baut Maschinen mit Neigungswage in sehr vielen verschiedenen Grössen von 10 kg bis zu 100 000 kg Kraftleistung.

Zur Untersuchung von Papier und Drähten baut auch W. Carrington in London (*L 183*) [1878?] Maschinen nach dem Grundsatz der Neigungswage.

### c) Die Federwage.

**538.** Die Feder ist von frühester Zeit an und in den verschiedensten Formen im Materialprüfungswesen für die Kraftmessung benutzt worden, namentlich wenn es sich um kleine Kräfte handelte. Die Verwendung war indessen häufig so ungeschickt, dass sich die Apparate mit Federwagen zu Zeiten keines besonderen Vertrauens erfreuten. Die mangelhafte Wirkung war aber meistens in den Nebenkonstruktionen begründet, und man darf nach den Erfahrungen, die beispielsweise auch in der Charlottenburger Versuchsanstalt in mehr als 15 Jahren an einer grossen Reihe von Maschinen und Messfedern gewonnen sind, aussprechen, dass die Feder an sich ein ganz gutes Kraftmessinstrument liefern kann, wenn sie richtig benutzt und kontrolirt wird, und wenn man sich mit den Genauigkeitsgrenzen begnügt, die schon in früheren Absätzen (505) für Materialprüfungsmaschinen gefordert und als genügend erachtet wurden.

Selbstverständlich kann ich bei den folgenden Beschreibungen nur

mit Auswahl vorgehen, da die Zahl der Festigkeitsprüfer mit Federwage sehr gross ist.

**539.** Die Hauptbedingung, die bei Benutzung der Feder zu erfüllen ist, ist die, dass der Kraftangriff und die Befestigung der Feder an den Maschinentheilen keine Nebenbeanspruchungen erzeugen; die Feder muss völlig frei und ohne Zwang die für die Kraftmessung erforderliche Formänderung annehmen können. Man kann beispielsweise von einer Spiralfeder nur dann eine richtige, der Kraftleistung proportionale Längenänderung erwarten, wenn die Kraftrichtung während des ganzen Versuches zwanglos in die Mittelachse der Windungen fällt und wenn die einzelnen Windungen sich nicht gegenseitig berühren. Bei fest geschlossen gewundenen Federn, wie sie beispielsweise bei den später zu beschreibenden Hartig-Reuschschen und den Wendlerschen Maschinen benutzt werden, können die Dehnungen bei Zugbeanspruchungen erst von dem Augenblick an proportional der angewendeten Zugkraft werden, von dem ab alle Windungen frei werden. Man sollte ganz besonderen Werth auf die Art der Verbindungen mit den Maschinentheilen legen. In dieser Beziehung kann ich mich beispielsweise mit den Konstruktionen nicht einverstanden erklären, wie sie bei der Hartig-Reuschschen und bei der Wendlerschen Maschine (Taf. 11, Fig. 9—27) benutzt werden. Hartig klemmt z. B. die Enden seiner Federn zwischen den Enden der Stege mit Schrauben fest und versieht die Stege mit eingeschraubten Oesen, womit sie am Wagen 8 und an der Zugstange 4 (Fig. 9 u. 10) durch Stifte befestigt werden. Abgesehen davon, dass es fast unmöglich sein wird, die Angriffspunkte der Kräfte genau in die Federachse zu verlegen, sind hier die Enden nicht so sicher befestigt, dass das Rutschen der Feder in den Bügeln ganz ausgeschlossen ist. Tritt dieses aber ein, so muss sich der Messwerth der Feder ändern, auch wenn die eigentliche Feder keine Eigenschaftsänderungen des Materials erfährt. Mit Hilfe von besonderen Marken, die etwaige Verschiebungen anzeigen, kann man sich nothdürftig helfen, aber das ist kein befriedigender Zustand. Wendler verwendet die gleiche Federkonstruktion, aber er bewirkt die Befestigung der Federenden, statt durch Einklemmung, mittelst Schrauben durch festes Einstemmen und Verlöthen, ausserdem feilt er noch Strichmarken in Brücke und Federdraht ein, so dass etwaige Verschiebung erkannt werden kann, die übrigens in Charlottenburg bisher nicht nachgewiesen werden konnte. Die Befestigung der Wendlerschen Feder an den Maschinentheilen ist jedenfalls noch ungünstiger als die der Hartigschen; sie wird wohl in keinem Falle ohne Nebenwirkungen auf die Feder bleiben.

**540.** Die Hartigsche Federbefestigung gestattet allerdings, die Federdehnung einem bestimmten Maassstab anzupassen und die etwa veränderte Feder durch Aenderung der Drahtlänge [Windungszahl] wieder auf denselben Maassstab einzustellen, aber ich würde es doch vorziehen, mit einer Feder von fest bestimmter unveränderlicher Länge zu arbeiten und die Feder von Zeit zu Zeit zu prüfen, ihre etwaigen Veränderungen festzustellen und zu berücksichtigen, weil jede Maschine ohnehin auch in ihren übrigen Theilen häufiger Kontrolle bedarf.

**541.** Beim Crosby-Indikator ist die Frage der Federbefestigung in der in Fig. 381 gezeichneten Weise gelöst. Die Feder ist doppelgängig

und mit ihrem oberen Ende mit mehreren Windungen in das Vierflügelstück eingeschraubt, um die genaue Einstellung auf einen bestimmten Maassstab zu ermöglichen. Wenn diese Befestigungsart auch hier nicht ohne Zwang zu bewirken ist, so dürften doch die vielen Angriffspunkte in den vier Lappen fast den gleichen Zustand erzeugen, als wenn die Feder am oberen Ende stark eingespannt [vergossen oder verlöthet] wäre. Wenn das Vierlappenstück so im Gehäuse befestigt ist, dass die am anderen Ende in der Federachse angebrachte Kugel bei Formänderung der Feder mit ihrem Mittelpunkt sich genau in der Cylinderachse bewegt, was durch geringes Abdrehen der Flächen nach Befestigung an der Feder leicht zu erreichen sein wird, so muss diese Feder von dem mit ihrer Kugel verbundenen Kolben zwanglos und biegungsfrei die Kräfte übernehmen.

Ich selbst habe bei meinen Konstruktionen in allen Fällen, wo es auf Zuverlässigkeit ankam, die Messfeder mit offenen Windungen benutzt und sie möglichst ohne Zwischenstücke an die Maschinenteile angreifen lassen, in der Art, wie es ja bei vielen Federwagen u. s. w. üblich ist. Vergl. Fig. 382.

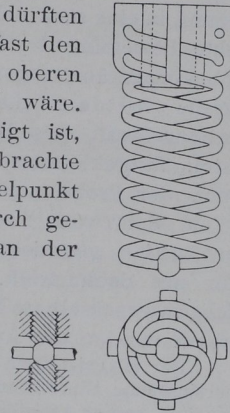


Fig. 381.

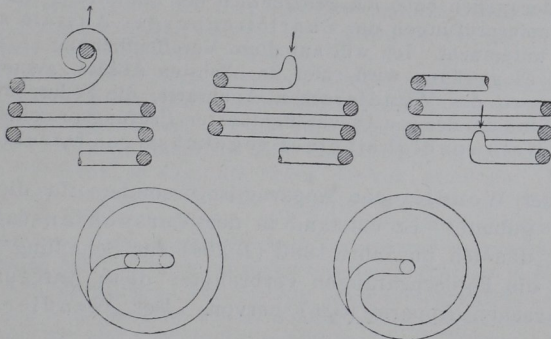


Fig. 382.

**542.** Das Schema des Hartig-Reuschsches Apparates (Taf. 11, Fig. 9—13) ist in Fig. 383 gegeben. Der Probestreifen ist an einem Ende des Maschinengestells [mittels des Bockes 12, Fig. 9 und 10, der entsprechend der Probenlänge eingestellt werden kann] befestigt. Das andere Ende ist an einem Wagen 8 befestigt, der, auf Schienen laufend, den Schreib-

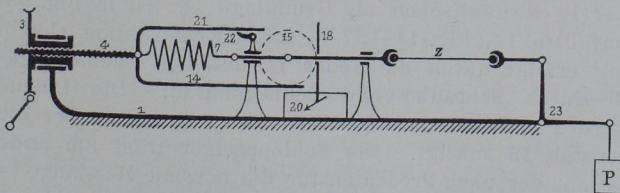


Fig. 383.

apparat trägt. Zwischen Wagen und Antrieb ist die Messfeder 7 eingeschaltet, deren Ausdehnung als Kraftmaass auf die Zahnstange 14 übertragen wird, die mittelst des Zahnradbogens 15 und Zahnstange 18 diese Bewegung in eine senkrechte Bewegung des Schreibstiftes umsetzt. Diese senkrechte Bewegung des Zeichenstiftes liefert also ein Maass für die auf den Probekörper übertragene Kraft. Die zugehörige Formänderung des Probekörpers wird durch die Horizontalbewegung des Wagens 8 gemessen, indem der Schreibstift diese Bewegung durch die Schaulinie auf die am Maschinenstempel festgeklemmte Schreibttafel 20 verzeichnet. Damit die Feder beim Bruch der Probe nicht zusammenschnellt und Beschädigungen anrichtet, ist ein Sperrwerk 22 eingeschaltet, das das Zurücksnellen verhindert. Der Antrieb geschieht mittelst Schraube 4 und Schneckenrad von Hand oder mit Schnurtrieb. Die Kraftäusserung geht bis zu 20 kg; es sind leicht auswechselbare Federn für 4, 9 und 20 kg Kraftleistung im Gebrauch. Gebaut werden die Apparate von Oskar Leuner-Dresden.

Der Hartig-Reuschsche Apparat hat sich durch seine handliche Form und übersichtliche Einrichtung, sowie durch die zahlreichen und werthvollen Arbeiten Hartigs, seiner Assistenten und Schüler [Hugo Fischer, Müller, Connert u. a.] einen wohlbegründeten Ruf erworben. Er ist namentlich für Unterrichtszwecke vorzüglich geeignet, wenn er auch nicht sehr strengen Anforderungen zu genügen vermag. Ich benutze ihn bei den Uebungen meiner Schüler mit Vorliebe, weil er mehr als die grossen Probirmaschinen selbständiges Arbeiten gestattet und es ermöglicht, das Uebungsfeld des Einzelnen ohne grossen Zeit- und Kostenaufwand zu erweitern.

Seine Fehlerquellen habe ich gelegentlich der Einführung des Apparates für die amtlichen Papierprüfungen der Charlottenburger Anstalt sehr sorgfältig und eingehend untersucht. Ich will auf diese Veröffentlichung (*L 227* u. *215*) nur verweisen, weil es genügen wird, hier im nächsten Absatz, gemeinsam mit den Prüfungsergebnissen des Wendlerschen Apparates, die Federprüfungen zu besprechen. Das Studium der a. a. O. veröffentlichten Prüfungsprotokolle wird aber wiederum die Nothwendigkeit einer regelmässigen Maschinenkontrolle beweisen.

**543.** Der Wendlersche Apparat ist besonders für die Zwecke der Papierprüfung gebaut. Er entstand in der Versuchsanstalt aus Anlass eines Aufrufes, den ich im Jahre 1886 (*L 226*) zur Schaffung eines Specialapparates für die Papierprüfungen verbreitete; diese Anregung rief auch den Schopperschen Apparat (*536*) hervor. Der Wendlersche Apparat

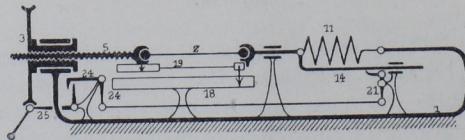


Fig. 384.

hat den Hartig-Reuschschen als Grundlage; er ist in Fig. 384 schematisch und auf Tafel 11, Fig. 14—27 in seiner Konstruktion abgebildet. Die Kraftmessung erfolgt durch die Feder 11 mit dem Rückschlagessperr 15, der Antrieb durch Schraube und Schneckenrad. Die Dehnungen der Feder 11 werden auf den Schleppzeiger 19 übertragen, der die Kraft in kg am Maassstab 18 anzeigt. Der Schleppzeiger trägt am anderen Ende einen Maassstab, der nach Procenten für die normale Messlänge  $l = 180$  mm getheilt ist. Der an der zweiten Klemme angebrachte Zeiger giebt auf

diesem Maassstab die gegenseitige Verschiebung beider Klemmen an, also auch die Dehnung des Probestreifens in Procenten von  $l$ , selbstverständlich unter der Voraussetzung, dass kein Gleiten in den Klemmen eintritt. Die Klemmen sind als Excenterklemmen so konstruirt, dass dieses Gleiten kaum vorkommt; man überzeugt sich davon an Hand von Bleistiftmarken, die neben der Klemme auf den Papierstreifen angebracht werden.

Die Wendlerschen Maschinen der Anstalt werden zu vieren durch einen kleinen doppelcylindrigen Wassermotor der Firma Möller & Blum in Berlin mittelst Schnurtrieb angetrieben. Jede einzelne Maschine ist mit einer von mir konstruirten selbstthätigen Ausrückung versehen. Die Sperrklinke für das Rückschlagesperre ist hierbei an einem Hebel 21 befestigt, der um einen kleinen Betrag ausschlagen kann. Dieser Ausschlag wird auf die Winkelhebelhemmung 24 übertragen, deren Nase nun den Winkelhebel 25 auslöst, so dass die in diesem Hebel gelagerte Antriebschraube niederfällt und ausser Eingriff kommt; die Maschine steht und man kann nun die Kraft und Dehnung von den Maassstäben ablesen. Ein Beobachter kann also alle vier Maschinen bedienen. Die Maschine ist mit Federn für 7 und 18 kg Kraftleistung ausgerüstet.

a. Die Ausführung der regelmässigen Kontrolle über die Messfedern der in der Versuchsanstalt zu Charlottenburg benutzten Hartig-Reuschschen Apparate beschrieb ich bereits im Jahre 1887 (*L* 215 S. 36). Ich will hier über das Ergebniss dieser Prüfungen einen Ueberblick geben, indem ich vorausschicke, dass seit jener Zeit die sehr zahlreichen Prüfungen der Federn des Wendlerschen Apparates, der jetzt an Stelle des Hartigschen benutzt wird, keinerlei Veränderungen an den Federn erwiesen haben. Die Federn sind heute, nach jahrelangem Gebrauch, so zuverlässig, wie zu Anfang.

Die Prüfung der Federn geschieht mittelst genau ausgemessener Winkelhebel, die am Maschinengestell mit besonderen Hülfeinrichtungen (Taf. 11 Fig. 27 u. 30) befestigt werden. Zur Belastung werden stets die gleichen mit Präcisionsaichung versehenen Gewichtsstücke benutzt. Die Belastung wird mittelst der Maschine zum Einspielen gebracht, so dass die Feder sie voll aufnimmt. Die zugehörige Federdehnung wird entweder auf die Tafel aufgeschrieben [Hartig-Reusch] oder am Millimeter- beziehungsweise am Kraftmaassstab abgelesen [Wendler]. Die für verschiedene Belastungen in fünf Versuchsreihen gewonnenen mittleren Ablesungen werden bei den Nachprüfungen mit den vorhandenen Maassstäben verglichen oder bei Neuprüfungen zur Bildung der Federmaassstäbe benutzt.

Im letzteren Falle wird die Federdehnung zuerst am Millimeterstab abgelesen. Dann werden für die einzelnen Belastungsstufen die Differenzenreihen gebildet, um zu sehen, von welchen Belastungen ab die Federn sich proportional dehnen. Die Ablesungswerthe werden tabellarisch zusammengeschrieben, vergl. Tab. 35 auf Seite 364.

b. Mit dem für Be- und Entlastung gefundenen Mittelwerthe  $\Delta m = 7,593 \text{ mm}$  für die proportionale Ausdehnung auf 0,5 kg kann man nun einen Maassstab für die Grenzen von 1 kg<sup>1)</sup> bis 6 kg berechnen und diesem die Ablesungen (Tab. 35) gegenüberstellen, wie es in Tab. 36 S. 364 [wieder nur für die Belastung] geschehen.

Die Tabelle 36 enthält gewissermassen den Vergleich von fünf fehlerhaften Maassstäben, aus denen man einen möglichst richtigen ableiten soll. Mit diesem als richtig angenommenen Maassstabe wird man offenbar jeden der ermittelten falschen Maassstäbe vergleichen können. Es würde aber verkehrt sein, wollte man Nullpunkt an Nullpunkt anlegen, weil ja auch der Nullpunkt mit Fehlern behaftet ist. Deswegen wird man die beiden zu vergleichenden Maassstäbe gegenein-

<sup>1)</sup> Ich habe hier die Tabellen aus (*L* 215) in abgekürzter Form gegeben, da es sich ja nur um ein Beispiel handelt. Für jeden besonderen Zweck ist natürlich zu unterscheiden, ob man den Federmaassstab nur für den meistens ausreichenden Fall der Belastung oder als Mittel für Be- und Entlastung zu bestimmen hat.

ander verschieben müssen, dass sich alle Theilstriche so vollkommen wie möglich decken, d. h. derart, dass die noch verbleibenden Fehler ein Minimum werden. Dieser Vorgang kann auf die fünf Beobachtungsreihen angewendet werden, indem man jede um den Betrag der Mittelwerthe aus Tabelle 36 verschoben denkt, d. h. diese Werthe von den beobachteten abzieht. Dann erhält man die Gegenüberstellung Tabelle 37 [wieder nur für die Belastung gebildet].

Tabelle 35. Feder No. 1 für 6 kg Krafftleistung.

Drahtdicke 4,4 mm; Durchmesser der Windungen (spannungslos) 86 mm.

Zahl der Windungen 8,5.

$\Sigma$  = Gesamtdehnung;  $\Delta$  = Unterschied für je 0,5 kg;  $\Delta m$  = Abweichung vom Mittel.

Belastung kg	Dehnungen in Millimetern in Reihe														
	1.			2.			3.			4.			5.		
	$\Sigma$	$\Delta$	$\Delta m$	$\Sigma$	$\Delta$	$\Delta m$	$\Sigma$	$\Delta$	$\Delta m$	$\Sigma$	$\Delta$	$\Delta m$	$\Sigma$	$\Delta$	$\Delta m$
0,0	0,0	—	—	0,0	—	—	0,0	—	—	0,0	—	—	0,0	—	—
0,5	—	—	—	6,3	6,3	—	6,1	—	—	6,5	6,5	—	6,2	6,2	—
1,0	13,2	(13,2)	—	13,6	7,3	—	13,2	7,1	—	13,6	7,1	—	13,4	7,2	—
1,5	—	—	—	20,9	3	-0,31	20,6	4	-0,22	20,9	3	-0,30	20,6	2	-0,41
2,0	28,3	(15,1)	—	28,6	7	+9	28,2	6	-2	28,7	8	+20	28,4	8	+19
2,5	35,8	7,5	-0,13	36,2	6	-1	36,0	8	+18	36,2	5	-10	35,9	5	-11
3,0	43,6	8	+17	43,8	6	-1	43,6	6	-2	43,9	7	+10	43,6	7	+9
3,5	51,4	8	+17	51,5	7	+9	51,3	7	+8	51,6	7	+10	51,3	7	+9
4,0	59,0	6	-3	59,3	8	+19	58,9	6	-2	59,2	6	0	58,9	6	-1
4,5	66,5	5	-13	66,7	4	-21	66,4	5	-12	66,8	6	0	66,6	7	+9
5,0	73,8	3	-33	74,4	7	+9	74,0	6	-2	74,4	6	0	74,2	6	-1
5,5	81,7	9	+27	81,9	5	+11	81,7	7	+8	81,9	5	-10	81,8	6	-1
6,0	89,3	6	-3	89,7	8	-19	89,4	7	+8	89,6	7	+10	89,5	7	+9
Mittel	7,63			7,61			7,62			7,60			7,61		

Hauptmittel für die Belastung aus allen 5 Reihen = 7,614 mm für 0,5 kg.  
(NB. Für Be- und Entlastung ergab sich das Mittel zu 7,593 mm für 0,5 kg) und mit diesem Werthe ist bei Aufstellung von Tab. 35 gerechnet worden.

Tabelle 36. Feder No. 1 für 6 kg.

Maassstabpunkt kg	Ermittelter Maassstab mm	Ableseungen in mm aus Tab. 35. Belastung, Reihe.					Abweichungen in mm vom ermittelten Maassstab, Reihe				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1,0	0,0	13,2	13,6	13,2	13,6	13,4	13,20	13,60	13,20	13,60	13,40
1,5	7,59	—	20,9	20,6	20,9	20,6	—	31	01	31	01
2,0	15,19	28,3	28,6	28,2	28,7	28,4	11	41	01	51	21
2,5	22,78	35,8	36,2	36,0	36,2	35,9	02	42	22	42	12
3,0	30,37	43,6	43,8	43,6	43,9	43,6	23	43	23	53	23
3,5	37,97	51,4	51,5	51,3	51,6	51,3	43	53	33	63	33
4,0	45,56	59,0	59,3	58,9	59,2	58,9	44	74	34	64	34
4,5	53,15	66,5	66,7	66,4	66,8	66,6	35	55	25	65	45
5,0	60,74	73,8	74,4	74,0	74,4	74,2	06	66	26	66	46
5,5	68,34	81,7	81,9	81,7	81,9	81,8	36	56	36	56	46
6,0	75,93	89,3	89,7	89,4	89,6	89,5	37	77	47	67	57
Mittel							13,26	13,54	13,24	13,56	13,33

Tabelle 37. Feder No. 1 für 6 kg.

Reihe	Belastung in kg.													
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	
1	-13,26	—	-0,06	—	15,04	22,54	30,34	38,14	45,74	53,24	60,54	68,44	76,04	
2	— 54	-7,24	+ 6	7,36	06	66	26	. 96	76	16	86	36	16	
3	— 24	- 14	- 4	36	. 96	76	36	06	66	16	76	46	16	
4	— 56	- 06	+ 4	34	14	64	34	04	64	24	84	34	04	
5	— 33	- 13	+ 7	27	07	57	27	. 97	57	27	87	47	17	
Mittel	-13,39	-7,14	+0,01	7,33	15,05	22,63	30,31	38,03	45,67	53,21	60,77	68,41	76,11	
Als Mittelwerthe aus den Versuchsreihen für Be- und Entlastung wurden festgestellt die Werthe (vergl. L. 215.)														
Mittel	-13,56	-7,18	-0,05	7,39	15,05	22,75	30,38	38,14	45,76	53,29	60,82	68,36	75,87	

Der den Versuchsreihen 1-5 [Be- und Entlastung] am besten entsprechende Maassstab ergibt sich aus der letzten Reihe der Tabelle 37, wenn man den für den Maassstabnullpunkt [Belastung 0 kg] ermittelten Werth = 0 einsetzt. Die Abweichungen der letzten Reihe, Tabelle 37, gegenüber dem nach dem Mittelwerth 7,593 mm für 0,5 kg, Tabelle 35, hergestellten Federmaassstab ergeben sich nunmehr aus Tab. 38.

Tabelle 38. Feder No. 1 für 6 kg.

	Belastung in kg.													
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	
a) Mittlere Ablesungen	0,00	6,38	13,50	20,95	28,61	36,31	43,94	51,70	59,32	66,85	74,38	81,92	89,43	
b) berechneter Maassstab	0,00	—	13,56	21,15	28,75	36,34	43,93	51,73	59,12	66,71	74,30	81,90	89,49	
c) Abweichungen a-b			-0,06	-0,20	-0,14	-0,03	+0,01	+0,17	+0,20	+0,14	+0,08	+0,02	-0,06	

c. In der umstehenden Tabelle 39 will ich noch einige Werthe mittheilen, die bei der regelmässigen Prüfung der Federn der Wendlerschen Apparate der Charlottenburger Anstalt gewonnen wurden, um zu zeigen, in welchem Maasse die Federn zuverlässig sind und wie wenig sie sich ändern.

Zu bemerken ist, dass, nachdem bei Feder 5 durch die beiden ersten Prüfungen falsche Nullpunktlagen erwiesen wurden, der Maassstab entsprechend geändert wurde. Die mittleren Fehler sind von da an kleiner als 0,2%. [Eine ähnliche Zusammenstellung für die Hartig-Reuschschen Apparate findet man in L 215 S. 38 und 39].

544. Der Leunersche Apparat ist ebenfalls aus dem Hartigschen Apparat hervorgegangen, nur ist die Kraftaufzeichnung anders ausgeführt (L 224). Indem ich auf die ausführliche Beschreibung in der Quelle verweise, will ich in Fig. 385 die schematische Skizze der Anordnung geben.

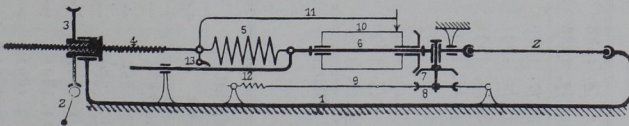


Fig. 385.

Tabelle 39. Wendlers Apparat No. 5.

a) Feder 9 kg.

Geprüft am	Fehler in % bei einer Belastung von kg											Bemerkungen.	
	0,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0		9,0
24./4. 1888	—	+ 3,0	+ 2,0	+ 1,5	+ 1,2	+ 1,0	+ 0,8	+ 1,0	+ 0,7	+ 0,7	+ 0,4	+ 0,4	5 Versuchsreihen.
13./7. 1888	—	+ 5,0	+ 3,3	+ 2,5	+ 2,0	+ 1,3	+ 1,3	+ 1,0	+ 1,0	+ 0,9	+ 0,8	+ 0,8	5 "
28./7. 1889	—	- 2,0	- 0,7	- 0,5	- 0,4	0,0	0,0	0,0	+ 0,2	+ 0,3	+ 0,4	+ 0,3	3 "
16./1. 1891	—	- 1,0	0,0	0,0	- 0,4	0,0	0,0	0,0	+ 0,2	+ 0,1	0,0	0,0	3 Versuchsreihen.
28./11. 1891	—	- 1,0	0,0	0,0	- 0,4	0,0	- 0,5	0,0	0,0	+ 0,1	0,0	0,0	1 Versuchsreihe.
13./9. 1892	—	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	+ 0,5	+ 0,4	+ 0,5	+ 0,1	+ 0,3	+ 0,2	1 "
14./9. 1893	—	0,0	0,0	0,0	0,0	+ 0,3	+ 0,5	+ 0,4	+ 0,2	+ 0,3	+ 0,3	+ 0,3	3 Versuchsreihen.
16./1. 1895	—	0,0	0,0	0,0	0,0	+ 0,3	+ 0,5	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,3	+ 0,3	+ 0,2	1 Versuchsreihe.
2./5. 1896	—	+ 1,0	0,0	0,0	- 0,4	+ 0,3	+ 0,5	+ 0,2	0,0	+ 0,1	0,0	+ 0,2	1 "
19./10. 1897	—	+ 0,5	- 0,3	- 0,3	- 0,4	0,0	+ 0,3	- 0,2	0,0	+ 0,1	+ 0,1	+ - 0,2	2 Versuchsreihen.
Mittel	—	- 0,44	- 0,13	- 0,10	- 0,25	+ 0,15	+ 0,23	+ 0,13	+ 0,16	+ 0,18	+ 0,18	+ 0,18	1) Maassstab durch Nullpunktverlegung verändert.

b) Feder 20 kg.

Geprüft am	Fehler in % bei einer Belastung von kg											Bemerkungen.					
	0,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0		16,0	17,0	18,0	19,0	20,0
24./4. 1888	—	0,0	0,0	0,0	0,0	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,1	5 Versuchsreihen.
13./7. 1888	—	- 0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,1	0,0	5 "
28./7. 1889	—	0,0	0,0	0,0	0,0	+ 0,1	+ 0,2	+ 0,3	+ 0,3	+ 0,1	+ 0,2	+ 0,3	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,2	3 "
16./1. 1891	—	- 0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	- 0,1	0,0	0,0	0,0	- 0,1	0,0	- 0,1	- 0,1	3 "
28./11. 1891	—	0,0	0,0	0,0	0,0	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,1	0,0	0,0	0,0	+ 0,1	0,0	0,0	0,0	1 "
13./9. 1892	—	0,0	0,0	0,0	+ 0,2	0,0	+ 0,2	0,0	+ 0,1	+ 0,1	0,0	0,0	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,1	0,0	1 "
14./9. 1893	—	0,0	0,0	0,0	+ 0,1	+ 0,1	0,0	0,0	+ 0,1	+ 0,1	0,0	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,2	+ 0,2	3 "
16./1. 1895	—	0,0	0,0	0,0	+ 0,2	+ 0,1	0,0	0,0	+ 0,2	+ 0,1	0,0	+ 0,1	+ 0,2	0,0	+ 0,2	+ 0,2	1 "
2./5. 1896	—	0,0	0,0	0,0	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,1	0,0	+ 0,1	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,2	1 "
19./10. 1897	—	0,0	0,0	0,0	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,2	2 "
Mittel	—	- 0,04	- 0,01	- 0,00	+ 0,07	+ 0,08	+ 0,10	+ 0,12	+ 0,10	+ 0,07	+ 0,07	+ 0,10	+ 0,10	+ 0,09	+ 0,10	+ 0,08	



Der Antrieb und die Kraftmessung erfolgen wie beim Hartigschen Apparat. Für die Aufschreibung ist die Papiertrommel 10 drehbar auf der Achse 6 des Wagens angebracht, der am Maschinengestell seine Führung auf Rollen findet. Der Wagen trägt auch eine senkrechte Achse 7, die mit Kegelrad und Schnurrad 8 versehen ist. Die Schnur [Stahlband] 9 ist am Maschinengestell 1 fest ausgespannt. Wenn sich nun der Probestab 2 dehnt, so muss das Kegelrad 7, entsprechend der hierdurch veranlassten Wagenbewegung, die Trommel 10 drehen. Die Federdehnung, d. h. die auf den Probestab ausgeübte Zugkraft, bewegt den Zeichenstift parallel zur Trommelachse und so kommt das Schaubild zu Stande; das Rückschlaggesperr ist durch die Klinke 13 angedeutet.

**545.** Leuner hat diese Maschine auch mit hydraulischem Antrieb versehen. Diese Einrichtung ist in (*L 225*) beschrieben und abgebildet; ich gebe hier nur eine schematische Skizze von der Anordnung, Fig. 386.

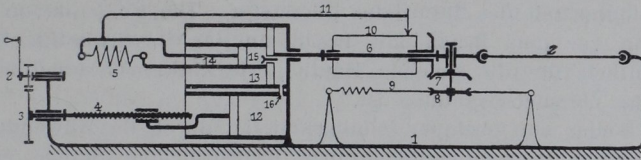


Fig. 386.

Die Kraft- und Dehnungsaufschreibung geschieht wie beim vorausgehenden Apparat. Der Antrieb und die Kraftmessung ist verändert. Der Antrieb wird mittelst Schraube 4 durch die hydraulische Presse 12 besorgt, die das Oel in den Cylinder 13 treibt. Der mit dem Probestab *z* verbundene Kolben dieses Cylinders trägt einen kleineren Cylinder 14, dessen Kolben die Flüssigkeitspressung an die Messfeder 5 abgiebt, deren Ausdehnung nun, wie früher, auf den Zeichenstift übertragen wird. Die Stelle des Rückschlaggesperres nimmt hier das im Kolben von 13 angebrachte Rückschlagventil 15 ein. Die Messfeder 5 nimmt also bei dieser Einrichtung entsprechend dem Kolbendurchmesser von 13 und 14 nur einen kleinen Theil der im Cylinder 13 erzeugten Kraft auf. Die Maschine wird mit Kraftleistungen bis zu 1000 kg gebaut.

Die Leunerschen Maschinen bedürfen, wie aus der Konstruktion einleuchtet wird, sorgfältiger Feststellung der Federwerthe und häufiger Kontrolle, da zwischen Kraftmesser und Probestab ein ziemlich verwickelter Apparat eingeschaltet ist, dessen Bewegungswiderstände in die Messung eingehen. Man wird sich in ähnlicher Weise, wie ich es früher für den Hartig-Reuschschen Apparat ausführte (*L 227* und *215*), genaue Kenntniss von allen Fehlerquellen in den bewegten Theilen verschaffen müssen. Ganz besonders gilt dies von der hydraulischen Maschine, bei welcher Kolben- und Manschettenreibungen noch hinzukommen.

**546.** An Stelle der Spiralfeder kann natürlich jede andere Feder mit proportionaler Formänderung benutzt werden. Hiervon machte ich bei der Konstruktion einer kleinen Zerreißmaschine Gebrauch, die ich für die Charlottenburger Versuchsanstalt im Jahre 1885 konstruirte und die vom Anstaltsmechaniker E. Böhme angefertigt wurde. Der Apparat entstand als Endglied einer Reihe von verschiedenen Konstruktionen, die

ich benutzte, um den Einfluss der Streck-Geschwindigkeit auf die Festigkeitseigenschaften von Zinkblech zu studiren (282—294, S. 166). Ueber die Schwierigkeiten und über die verschiedenen Versuche zur Erreichung des Zieles berichtete ich früher (*L 115*) ausführlich. Hier will ich aus dem Berichte Folgendes wiederholen.

Es handelte sich darum, einen Kraftmesser zu konstruiren, „der durch eine sehr geringe Verlängerung des Probestabes schon eine beträchtliche Entlastung herbeiführen kann. Man kann bei Anwendung einer Feder als Kraftmaassstab, namentlich wenn man beabsichtigt die Feder ohne Uebersetzung an dem Probestab angreifen zu lassen, nur dann zum erwünschten Ziele kommen, wenn man der Feder eine sehr geringe Dehnbarkeit giebt. Bei den Hartig-Reuschschen, den Wendlerschen und anderen mit Spiralfedern von grosser Dehnbarkeit arbeitenden Apparaten kann man diese günstige Belastungsweise nicht erreichen, weil die zur hinreichenden Kraftverminderung erforderliche Dehnung der Feder in der Regel die gesammte Dehnbarkeit des Materiales übersteigt. Die Folge davon ist, dass das Fliessen vor dem Bruch mit beschleunigter Geschwindigkeit erfolgt, was namentlich für die weichen Metalle, wie Zink, von erheblichem Einfluss auf das Versuchsergebniss ist.“

„Die Feder von geringer Dehnbarkeit ist durch die Anwendung eines innerhalb seiner Proportionalitätsgrenze beanspruchten Stabes gewonnen. Dieser Stab wird zwischen dem Probestab und dem festen Widerlager am Maschinengestell eingeschaltet. Da seine Gesammtdehnung nur Bruchtheile eines Millimeters ausmacht, so muss man sie auf irgend eine Weise im vergrösserten Maassstabe zur Erscheinung bringen. Man kann dies auf verschiedenem Wege erreichen, z. B. durch Anwendung von Spiegelapparaten und Fernrohrablesung (548), durch Anwendung des Mikroskopes, durch Anwendung einer mechanischen Vergrösserungsvorrichtung u. s. w. (547). Der Versuch, den genannten Grundsatz für die Verzeichnung von Schaulinien zu benutzen, ist, meines Wissens gleichzeitig und unabhängig von mir, auch von Kennedy (*L 182*) gemacht worden; indessen ist der Gedanke so einfach und naheliegend, dass er sicherlich auch noch von anderer Seite gehegt und versucht sein wird; unter anderem darf man wohl den Fränkelschen Dehnungszeichner und den Bauschingerschen Kontrolstab für die Werder-Maschine hierher rechnen. [Neuerdings benutzte Leuner die hier entwickelten Gedanken (547 und 548)]. Kennedy hat bei seinem Apparat die Dehnungen des Kraftmaassstabes auf mechanischem Wege in vergrössertem Maassstabe verzeichnet. Ich nahm von einem solchen Vorgehen von vornherein Abstand, weil ich die Trägheit der bewegten Massen, sowie den toten Gang und alle kleinen Ausführungsfehler fürchtete, die bei einem so feinen und verwickelten Apparat, wie er sich bei Anwendung der mechanischen Vergrösserung nothwendig ergibt, nicht zu vermeiden sein werden. Um nur das Wesentlichste hervorzuheben, ist darauf aufmerksam zu machen, dass zur Bewegung des Zeichenstiftes [und wäre es auch ein Russchreiber, der seine Spur auf eine mit Lampenruss angeblakte Glasplatte zeichnet] immerhin die durch das Schreiben bedingte Reibung überwunden werden muss. Arbeitet der Schreibapparat mit Vergrösserung, so erfährt die für die Ueberwindung der Reibung aufzuwendende Kraft die gleiche Vergrösserung und man kann leicht dahin kommen, dass merkliche Fehler hierdurch ver-

anlasst werden. Bei grossen Uebersetzungsverhältnissen biegen sich die schlanken Hebel und geben falsche Aufzeichnungen; stark ausgeführte Hebel bringen die Massenträgheit zur Wirkung. Die Angriffspunkte der Kräfte an den kurzen Hebelarmen kann man kaum anders als in Spitzen

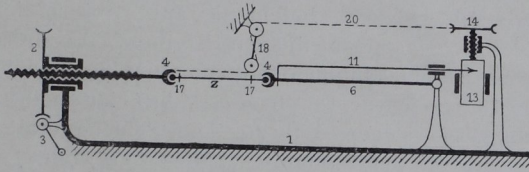


Fig. 387.

ausbilden. Bei grossen Uebersetzungsverhältnissen wird man alsdann eine Ueberlastung der Spitzen und hiermit das Vorhandensein von totem Gang in denselben kaum vermeiden können, wenigstens wird er nach kurzer Zeit sicher eintreten. Diese Ueberlegungen haben mich veranlasst, die mit dem nachbeschriebenen Konstruktionsgrundsatz allerdings auch verbundenen Uebelstände in den Kauf zu nehmen und von einer unmittelbaren Vergrösserung der Federdehnungen überhaupt abzusehen.“

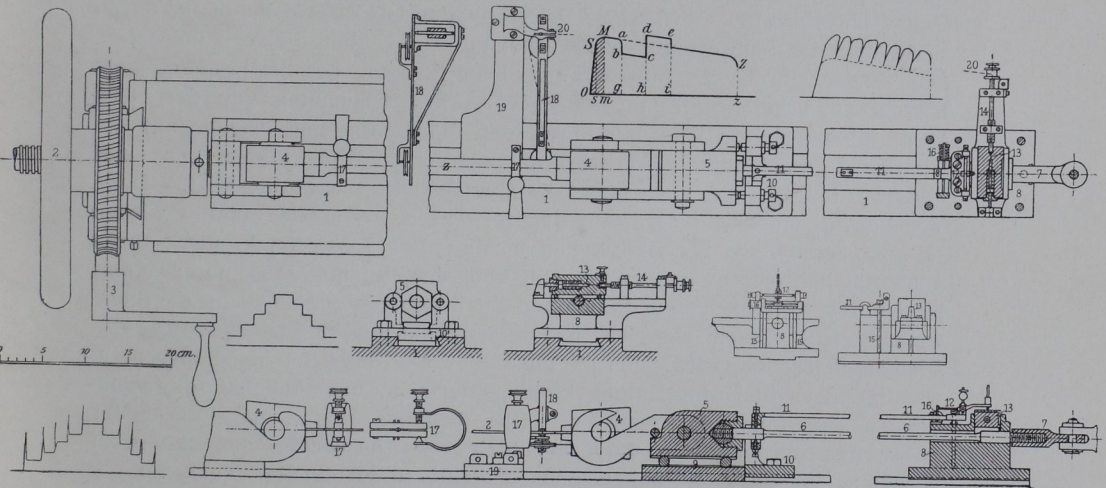


Fig. 388.

„Der Grundsatz meines Selbstzeichners ist in Fig. 387 schematisch und in Fig. 388 in der Konstruktionszeichnung dargestellt. Die Zahlenbezeichnungen sind in beiden Darstellungen die gleichen. Der Antrieb erfolgt durch Schraube und Schneckenrad 2, die Kraftmessung durch die Stahlstange 6. Die Stahlstange 6 ist am rechten Ende durch Keile mit Gummibelage [in Fig. 388 nicht dargestellt] gegen das auf das Maschinenbett geschraubte Gussstück 8 gedrückt und am anderen Ende durch ein Kugelgelenk mit einem auf Rollen geführten Wagen 5 verbunden, welcher die Einspannklemme 4 für den Probekörper  $z$  trägt. Der hinter dem Wagen 5 befestigte Bock 10 dient dazu, mit seinen Stellschrauben den

Prellschlag beim Abreissen des Probestabes aufzunehmen und von der Stahlstange abzuhalten. Die Schiene 11 ist mit dem Stahlstabe 6 durch zwei Körnerspitzen verbunden, so dass sie bei der Kraftvermehrung die Verschiebung des Stangenendes, bezogen auf die Anlagefläche von 8, mitmachen muss. Am anderen Ende ist die Schiene 11 über dem Gussstück 8 sehr leicht beweglich gelagert, indem sie auf zwei seitlichen Stützen 15 aufruhrt, welche mit gehärteten Spitzen in ihre Pfannen eingreifen. In horizontaler Ebene ist eine ähnliche Stützung der Schiene 11 durch Stütze und Gegenfeder 16 erreicht. Durch diese Art der Befestigung ist eine möglichst reibungsfreie sichere Führung der Schiene ermöglicht, so dass sie den Verlängerungen der Stange 6 ohne Zwang folgt. Es muss aber bemerkt werden, dass die immerhin nur kurze Bewegung auf dem Kreisbogen, in Folge der wagerechten Stütze 16, in den Schaulinien störend bemerkt wird, obwohl der Halbmesser des Bogens 20 mm und die Bogenlänge nur etwa 0,7 mm beträgt; eine Verlängerung der Stütze oder Anwendung eines Rollentheiles würde somit angezeigt erscheinen. Auf die Genauigkeit der Kraftmessung ist dieser Fehler nicht von Einfluss. Die Schiene trägt an ihrem Kopfe den sehr sauber und ohne jeden todtten Gang, in gehärteten Spitzen gehenden Diamanthalter 12. Dieser Halter ist mit einem Gegengewicht versehen, durch welches der Druck der Diamantspitze auf die Glasplatte genau geregelt werden kann. Ferner ist mit dem Halter ein einstellbares Obergewicht verbunden, welches dazu dient, durch Verlegung des Schwerpunktes des Diamanträgers über die Stützungsachse, den Träger durch die Stosswirkung beim Reissen des Probestabes zum Kippen zu bringen und auf diese Weise den Diamanten von der Glasplatte abzuheben. Damit er durch den Rückstoss nicht wieder auf die Glasplatte geschleudert wird, wird er beim ersten Ueberkippen von einer Feder gefangen, die sich über die Gegengewichtsschraube hakt. Diese Vorkehrung muss sehr sorgfältig justirt werden, wenn sie tadellos wirken soll, was erhebliche Schwierigkeiten macht. Der Schwerpunkt des Ganzen muss nämlich erstens genügend hoch über der Stützungsachse und zweitens hinlänglich weit nach dem Diamanten zu liegen, damit einerseits die Stosswirkung zum Kippen ausreicht und andererseits die richtige Belastung des Diamanten erreicht wird. Ferner muss die zum Eingreifen der Feder notwendige Bewegung des Halters klein genug sein, um auch bei schwachen Stößen ein Fangen zu erzielen. Dies bedingt wieder, dass die Feder selbst nur schwach sein darf, um nicht das Einspringen des Halters zu verhüten. Wenn das Fangen nicht eintritt, so erfolgt in der Regel ein Schlag der Spitze auf das Glas, wodurch ein erheblicher Theil der Schaulinie auch dann unbrauchbar werden kann, wenn die Spuren dieses Schlages mit blossen Auge unsichtbar sind. Besonders störend wirkt die verschiedene Dicke der benutzten Glasplatten; man muss also auf gleichmässige Stärke achten. Die Glasplatten haben die Grösse der unter dem Namen „Vereinsformat“ bekannten Objektträger für mikroskopische Präparate. Sie werden auf dem sauber eingeschliffenen und auf Rollen geführten Tisch 13 befestigt. Dieser Tisch wird mittelst Mikrometerschraube 14 und Gegenfeder bewegt. Um die Wirkung der Mikrometerschraube von den durch fehlerhafte Endflächen bedingten Fehlern zu befreien, ist zwischen Schraube und Tisch eine kurze Stütze mit gehärteten Spitzen eingelegt. Die Schraube ist sorgfältig gearbeitet und ohne todtten Gang in ihrer

Mutter gelagert. Der Antrieb der Schraube erfolgt entweder von Hand oder mittelst einer sehr feinen Uhrfeder 20 durch die Ausdehnung des Theiles 17 bis 17 des Probestabes. Zu dem Zwecke ist um den Wirbel der Schraube eine seidene Schnur mehrfach geschlungen, welche an einem Ende ein Gewicht von etwa 0,5 kg trägt und am andern Ende kurz hinter dem Wirbel mit der Uhrfeder verbunden ist. Die Uhrfeder ist angewendet, um sich möglichst frei von den Längendehnungen zu machen, welche bei Anwendung einer Schnur nicht zu vermeiden gewesen sein würden. Wie wegen der Art der angewendeten Einspannung des Probestabes mittelst Beilagekeilen verständlich sein wird, war es nothwendig, die Gleitbewegungen des Stabes in der Einspannung von der Dehnungsmessung auszuschliessen. Dies geschah durch Anwendung des Hebels 18 mit seinen beiden Führungsrollen. Dieser Hebel ist einerseits drehbar mit dem Maschinengestell verbunden und legt sich andererseits gegen eine an dem Probestab befestigte Klemme 17. Die beiden Rollen sind nun so angebracht, dass die über sie geführte Feder einerseits in den Drehpunkt des Rollenhebels und andererseits bei 17 in die Stabmitte fällt. Von hier aus geht sie zu der zweiten Klemme 17. Beide Klemmen sind um ein rundes Maass von einander entfernt. Diese Anordnung veranlasst, dass nur die gegenseitige Verschiebung beider Klemmen auf den Schlitten 13 übertragen werden kann, da alle Bewegungen der Klemme 17 allein auf Drehung des Hebels 18 um seinen Drehpunkt wirken. Die Drehungen der Schraube 14 können an einer in zehn Theile getheilten Zählsscheibe abgelesen werden.

Die Schaulinie kommt auf der Glasplatte durch die Bewegung der Diamantspitze in der Richtung der Feder 6 und die Bewegung des Tisches in der hierzu senkrechten Richtung zu Stande. Da die Schaubilder nur so klein sind, dass man zwei von ihnen auf den Raum eines Quadratmillimeters verzeichnen könnte, so ist es nothwendig, sie entweder durch das Mikroskop oder auf photographischem Wege zu vergrössern. Die Ausmessung unter dem Mikroskop verlangt aber eine sehr feine scharfe Zeichnung mit sauberen Rändern. Diese kann man nur bei richtiger Belastung und mit sogenannten geschliffenen Diamanten erzielen. Am zweckmässigsten ist die kegelförmige Spitze, weil diese nach allen Seiten gleichmässig gut schreibt; der angewendete Spitzenwinkel liegt zwischen 60 und 90°.

In der beschriebenen Form ist der Apparat von dem Mechaniker der Versuchsanstalt sorgfältig ausgeführt worden. Die Konstruktionsform entspricht aber noch nicht allen Wünschen. Namentlich ist es die Art der Dehnungsaufzeichnung, welche zu wünschen übrig lässt. Man wird, zugleich mit einer wesentlichen Vereinfachung des Apparates, eine vollkommene Wirkung erzielen, wenn man die Glasplatte festlegt und beide Bewegungen auf den Schreibdiamanten überträgt, indem man die Konstruktion nach dem Schema von Fig. 389 ausführt. Die Anordnung und Stützung der Schiene 11 im senkrechten Sinne kann dieselbe sein wie früher. Die Uhrfeder 20 wird aber an dem Umfang einer grossen Rolle befestigt, welche auf gleicher Achse mit einer kleinen

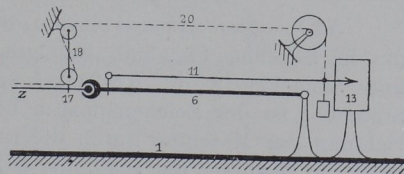


Fig. 389.

sitzt, von der die Schiene 11 durch die Uhrfeder 20 eine seitliche Bewegung erfährt. Dieser Bewegung wirkt ein Gewicht entgegen.“

Die Ausmessung der Schaulinien geschah mit Hilfe eines grossen Zeiss'schen Mikroskopes, das zu dem Zweck mit einem Objektiv- und mit einem Okularschraubenmikrometer versehen war. Ersteres mass die Dehnungs- und letzteres die Kraftordinaten. Zur Ausmessung wurde immer das Objektiv A bei stets gleicher Tubuslänge [eingeschobener Tubus] benutzt.

Tabelle 40. Zusammenstellung der Endergebnisse aus 6 Beobachtungsreihen.

Belastungen <i>P</i> kg	Unterschied $\Delta P$ kg	Werthe für $\Delta \gamma$ in R: Versuchsreihe								Mittel aus e-h kg	$i R = \frac{\Delta P}{\Delta \gamma}$ kg	Maassstabwerthe		Abweichung der Beob- achtung $a - m =$ kg
		1	2	3	4	5	6	$\Sigma i$ R	Berechnet $P=48,05$ R kg					
a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n		
<b>Belastung.</b>														
0,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,000	0,00	0,00	
84,19	84,19	1,948	1,783	1,713	1,628	1,630	1,583	1,714	49,12	1,714	82,36	+ 1,83		
173,44	89,25	1,932	1,904	1,829	1,879	1,733	1,877	1,859	48,01	3,573	171,68	+ 1,76		
265,42	91,98	2,032	1,896	1,916	1,997	1,907	1,888	1,939	47,44	5,512	264,85	+ 0,57		
356,39	90,97	1,928	1,893	1,971	1,995	1,982	2,013	1,964	46,38	7,476	359,22	- 2,83		
448,62	92,23	1,955	1,952	1,947	1,727	1,984	1,908	1,912	48,24	9,388	451,09	- 2,47		
542,96	94,34	1,836	2,002	1,973	2,054	1,906	1,833	1,934	48,78	11,322	544,02	- 1,06		
635,96	93,00	1,843	1,938	1,930	1,934	1,988	1,898	1,922	48,39	13,244	636,38	- 0,42		
—	—	1,937	1,871	1,914	2,051	2,019	1,976	1,961	—	15,205	730,60	—		
Mittel	90,85	1,926	1,905	1,899	1,908	1,931	1,872	1,901	48,05					

Ueber den Genauigkeitsgrad der mit dem vorherbeschriebenen Apparat erzielten Schaubilder sind sehr ausführliche Untersuchungen angestellt worden, über welche in (*L 115*, S. 12) berichtet worden ist. Es möge hier genügen, von dem Endergebniss die Werthe für die Belastungsreihen mitzuthellen, Tab. 40. Aus ihnen ergibt sich zwischen den Sollwerthen der Belastung und den aus den Schaulinien berechneten Werthen die grösste Abweichung von 2,8 kg und die mittlere von etwa 1,5 kg in den Mittelwerthen. In den Einzelwerthen beträgt die grösste Abweichung vom Mittelwerth + 14 und - 10 kg unter 48 Beobachtungen. Hieraus geht hervor, dass der Apparat nur zu Versuchen benutzt werden darf, bei denen diese Fehlergrössen in den Kauf genommen werden dürfen, wie dies bei den Prüfungen von Zinkblech der Fall ist, bei dem der Einfluss der Geschwindigkeit eine so grosse Rolle spielt.

**547.** Der Apparat Kennedy-Ashcroft (*L 182*, 1886, S. 63) hat die im Schema, Fig. 390, gezeigte Einrichtung. Antrieb durch Schraube und Schnecke 2-4, Kraftmessung durch Stabfeder 5. An Probe und Stabfeder ist der Zeichenapparat befestigt, dessen Tafel 15 in der Haupt- richtung der Maschine durch die Dehnung der Probe  $z$  bewegt wird, während die Dehnung der Stabfeder 5 in stark vergrössertem Maassstabe durch das Zeigerwerk 18 aufgeschrieben wird. Die Konstruktion des Apparates ist so gewählt, dass die beiden aufzuschreibenden Bewegungen frei von den Dehnungen und Bewegungen aller Theile der Maschine und der Stäbe ausserhalb der Marken 6, 7 und 16, 17 bleiben. Dies ist durch die

Zwischenschaltung der Hebel 10 und 11 erreicht. Der vorzüglich durchdachte Apparat ist zwanglos an den beiden Stäben  $z$  und 5 aufgehängt. Vom Stabpunkt 6 aus ist Gestänge 9 [mittelst Uhrfedern] mit dem oberen Bogen von Hebel 10 verbunden, während der untere Bogen dieses Hebels in gleicher Weise durch 13 mit der Schreibtafel 15 verknüpft ist. Tafel 15

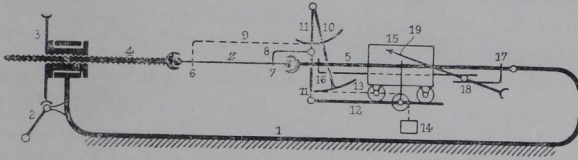


Fig. 390.

wird durch das Gegengewicht 14 nach rechts gezogen; sie läuft in Führungen am Tafelträger 12, der im Punkte 19 in der Mitte der Strecke 16, 17 befestigt ist. Am anderen Ende ist der Tafelträger 12 am Hebel 11 aufgehängt, dessen Zugstange 8 mit Punkt 7 am Probestab verbunden ist. Hebel 10 und 11 haben oben gemeinsamen Drehpunkt. Durch diese Hebelanordnung ist erzielt, dass die Tafel, nur den gegenseitigen Bewegungen der Punkte 7 und 8 entsprechend, ihren Ort gegenüber der Federstange 5 verändert. Die Bewegungen in den Kupplungstheilen zwischen Probe 2 und Feder 5, sowie die Dehnungen von deren Köpfen, sind von der Aufzeichnung ausgeschlossen. Die Stützung des Apparates am Stab  $z$  ist aus dem Schema nicht zu ersehen; sie geschieht mittelst Hebel 11 auf Gestänge 9. Das Zeigerwerk 18 ist durch die Gestänge 16 und 17 nach Art der früher (77, 180, 193) mehrfach beschriebenen Rollenapparate bewegt und überträgt die Federdehnungen, d. h. das Kraftmaass, in starker Vergrößerung auf das Papier der Tafel 15.

548. Auch Leuner hat den Grundsatz der Federstange bei seinem neuesten Apparat [1897] benutzt (Taf. 11, Fig. 28—38). Dieser wird bis zu Kraftleistungen von 5000 kg gebaut. Das Schema des Apparates ist in Fig. 391 gegeben. Antrieb durch Schraube und Schneckenrad 2—4,

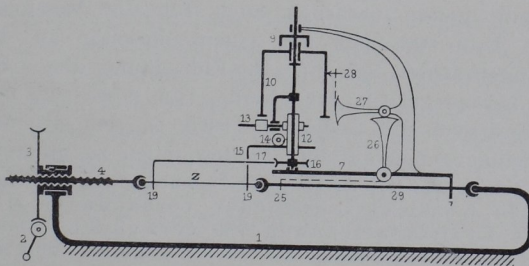


Fig. 391.

Kraftmessung durch Stabfeder 29. Die Dehnung der Probe  $z$  zwischen den Punkten 19 geschieht durch Gestänge 15 und 17, deren Zahnstangen die Zeichentrommel 10 so drehen, dass nur die Dehnung zwischen den Marken übertragen wird. Das geschieht derart, dass Stange 17 die Trommelachse unmittelbar durch 16 dreht; von Stange 15 aus wird die Bewegung mittelbar

durch das Getriebe 14, die rohrförmig ausgebildete lose Zahnstange 12 und das Getriebe 13 auf das am Trommelrand angebrachte Kronrad übertragen. Das auf der Trommelachse angebrachte Federgehäuse dreht die auf der Achse lose sitzende Trommel so, dass der tote Gang zwischen den Zähnen der Getriebe aufgehoben ist. Die Trommel, nebst ihren Getrieben, ist auf der Platte 7 gelagert. Diese Platte 7 ist mit dem einen Ende der Stabfeder 29 verbunden. Von dem andern Ende von 29 geht eine Uhrfeder 25 zu dem in Schneiden gelagerten Hebelwerk 26 und 27, das in 150facher Vergrößerung die Dehnungen der Messfeder [das Kraftmaass] auf den Zeichenstift 28 überträgt. Auch bei dieser Anordnung sind die Neben-  
dehnungen in den Köpfen und Einspanngliedern von der Aufzeichnung ausgeschlossen. Nichtsdestoweniger dürfte der Kennedy-Apparat (547) den hier beschriebenen an Genauigkeit und Zuverlässigkeit übertreffen, weil bei ihm auf die aus der Konstruktion entspringenden Fehlerquellen mehr Rücksicht genommen wurde als bei dem Leunerschen.

**549.** Leuner hat seine Maschine auch noch einfacher in der Konstruktion gestaltet, indem er die Kraftanzeige der Stabfeder mittelst Fernrohr und Spiegel abliest, Tab. 11, Fig. 39—49. Auf die Querhäupter 5 und 7, in denen die Stabfeder 6 befestigt ist, sind Arme gesetzt, von denen der mit 5 verbundene den Träger für den Spiegel 10 aufnimmt, während an dem Arm 8 eine Uhrfeder 9 befestigt ist, die sich um die Rolle des Spiegels 10 schlingt und am andern Ende durch eine Spiralfeder gespannt wird. Die Dehnung der Stabfeder [Kraftanzeige] wird als Spiegeldrehung mittelst Fernrohr 15 am Maassstab abgelesen. Die hier angewendete Konstruktion, an sich sehr wohl verwendbar, lässt sich in mehrfacher Beziehung verbessern. Sie verstösst gegen die Forderungen, dass die Dehnungen an zwei gegenüberliegenden Fasern des Stabes zu messen sind und die Biegungen im Stab und Lagenänderungen der Instrumententheile im Raum unschädlich gemacht werden müssen. Die grosse Entfernung des Zugbandes 9 von der Stabachse muss zu Biegungen führen. Die Anbringung der Fixpunkte an den Querhäuptern 5 und 7 giebt auch zu Unklarheiten Veranlassung. Die Ablesung an einem Spiegel lässt die mit Spiegelapparaten sonst erreichbare Zuverlässigkeit der Messungen nicht zu (94b, 700). Die gleichen Einwände gelten natürlich auch für die Messung der Formänderungen am Probestab mit nur einem einseitig an den Einspannvorrichtungen angebrachten Spiegel. Die Einrichtung dieses Spiegels 11 ist die gleiche, wie bei Spiegel 10. Ich glaube, hier liesse sich mit einfacheren Mitteln Besseres erreichen. Jedenfalls wird es sich als nothwendig erweisen, die Maschine genau auf ihre Fehlerquellen zu untersuchen.

Man kann den in den Sätzen 546—549 beschriebenen Grundgedanken auch benutzen, um die Konstruktionsglieder vorhandener Maschinen als Federn für die Kraftaufzeichnung zu verwenden. Das geht in allen Fällen, in denen die Beanspruchung des Gliedes ganz klar und stets gleichartig verlaufend ist, wie das beispielsweise der Fall ist mit den Zugstangen, mit den Hebeln der Wage oder mit anderen rein auf Zug, Biegung oder Verdrehung beanspruchten Theilen. Diesen Gedanken habe ich eine Zeitlang bei der Werdermaschine benutzt. Wenn er geschickt gelöst wird, so kann er zu sehr einfachen Maschinen von grosser Kraftleistung führen.

Fremont hat von diesem Grundsatz Gebrauch gemacht, indem er, einen ähnlichen Gedanken, wie Hunt (217), verfolgend, die elastischen Formänderungen des Maschinengestelles benutzt und die zum Lochen von



Metallblechen erforderliche Arbeit durch einen Schaulinienzeichner aufzeichnen liess (*L 256*). Die Kräfte [Formänderungen des Maschinengestells] werden, unter Benutzung eines stark vergrößernden Hebelwerkes als Bewegung des Schreibstiftes, auf einer Tafel verzeichnet, die durch die Bewegungen des Lochstempels oder der Scheere verschoben wird. Man wird gegen diesen Vorgang die früher (*217*) bereits erhobenen Einwendungen geltend machen müssen, darf aber die Tragweite und den Nutzen der Fremontschen und Huntschen Anregungen deswegen nicht verkennen.

## d) Kraftmessung, hydraulisch.

### 1. Manometer.

**550.** Die einfachste Form der Kraftmessung ist die Messung der Pressung im hydraulischen Cylinder der Probirmaschinen. Sie kann durch Manometer der bekannten Formen geschehen, besonders durch Federmanometer, wenn hohe Pressungen zu messen sind oder auch durch Quecksilbermanometer, wenn die Pressungen klein sind. Es unterliegt keinem Zweifel, dass die Konstruktionen unserer Probirmaschinen sehr wesentlich vereinfacht werden könnten, wenn es gelänge, diese Messungsart so zu vervollkommen, dass die Fehler in der Kraftanzeige unter 1<sup>0</sup>/<sub>0</sub> fallen.

Dass es nicht aussichtslos ist, diesen Zustand zu erreichen, habe ich bereits mehrfach nachgewiesen (*476*). Dazu ist es nöthig, dass entweder die Kolbenliderungen reibungslos gemacht werden [Amagat, Marié, Amsler], oder dass man die Reibung der Liderungen kennt [Marié, Cooper, Hick] und dafür Sorge trägt, dass sie aufgehoben [Amsler, Wicksteed] oder gleichbleibend erhalten wird. Ferner ist es nothwendig, dass man Manometer anwendet, die möglichst fehlerlos und gleichbleibend in ihrer Anzeige sind [Doppel-Federmanometer, Quecksilbermanometer]; die Federmanometer müssen aus diesem Grunde besonders den plötzlichen Druckschwankungen entzogen werden (*412*).

Die Manometer sind im Allgemeinen so bekannte Einrichtungen, dass es völlig genügen wird, hierauf nur insoweit einzugehen, als es für das Materialprüfungswesen von Interesse ist (*L 234*).

**551.** Für die unmittelbare Messung der Pressung im hydraulischen Cylinder kommen nur Hochdruckmanometer in Frage, also die Stahl-Röhrenfedern von Bourdon. Man kann recht zuverlässige und empfindliche Instrumente mit Bourdonfedern bis zu mehreren tausend Atmosphären Druck haben, sollte aber stets zwei Instrumente [Doppelmanometer, Kontrollmanometer] gleichzeitig neben einander benutzen, um jede Veränderung sofort sichtbar zu machen. Die Versuchsanstalt hat ihre Manometer neuerdings nicht mehr nach Atmosphären theilen, sondern mit Kreistheilung versehen lassen und fertigt für jedes Manometer nach den Prüfungsprotokollen Tabellen an, aus denen die Belastungen entnommen werden. Dies ist geschehen, weil die Kreistheilungen viel sauberer hergestellt werden, als die groben Eintheilungen, welche in den Manometerfabriken üblich sind; man kann also schärfere Ablesungen machen. In Zukunft sollen diese Kreistheilungen auf einem drehbaren Ring angebracht werden, damit man eine Nullpunktsverlegung anbringen kann, für den Fall, dass Veränderungen im Uebertragungswerk eintreten. Um solche Aenderungen