

$$F_x = \frac{P}{\sigma_z} \cdot e^{\frac{s \cdot x}{\sigma_z}} \quad (10)$$

entsprechen müßte.  $e$  ist die Basis der natürlichen Logarithmen.

**Beispiel.** Ein Förderseil von 17 mm Durchmesser, aus sechs Litzen zu je sechs Drähten von 1,8 mm Durchmesser und sieben Hanfseelen bestehend und von 0,88 kg/m Eigengewicht hält bei einer Zugfestigkeit des Drahtes  $K_z = 12000 \text{ kg/cm}^2$  eine Bruchlast von 10970 kg aus. Auf das reine Drahtvolumen bezogen, hat es ein Einheitsgewicht  $s = 0,00861 \text{ kg/cm}^3$ . Bei achtfacher Sicherheit oder  $k_z = 1500 \text{ kg/cm}^2$  zulässiger Spannung, könnte es mit  $\frac{10970}{8} = 1372 \text{ kg}$  belastet werden und bei 1000 kg Nutzlast  $G = 372 \text{ kg}$

Eigengewicht haben. Das entspricht einer Länge von  $\frac{372}{0,88} = 423 \text{ m}$ . Wenn es als Seil gleicher Festigkeit den theoretischen Anforderungen entsprechend genau hergestellt werden könnte, erhielte es einen Endquerschnitt

$$F_0 = \frac{P}{k_z} = \frac{1000}{1500} = 0,667 \text{ cm}^2$$

und eine Länge  $l = 550 \text{ m}$ , die sich aus

$$F_1 = \frac{P}{k_z} \cdot e^{\frac{s \cdot l}{k_z}} = F_0 \cdot e^{\frac{s \cdot l}{k_z}}$$

ergibt, wenn  $F_1$  den obersten Querschnitt von

$$36 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0,18^2 = 0,916 \text{ cm}^2$$

bedeutet. Durch Logarithmieren folgt

$$\log F_1 = \log F_0 + \frac{s \cdot l}{k_z} \cdot \log e,$$

$$l = \frac{k_z}{s} \frac{\log F_1 - \log F_0}{\log e} = \frac{1500}{0,00861} \frac{\log 0,916 - \log 0,667}{\log e} = 55000 \text{ cm}.$$

## II. Die zulässigen Spannungen bei der Berechnung von Maschinenteilen.

Grundsätzlich ist zu beachten, daß an den Maschinenteilen weniger die entstehenden Spannungen als die auftretenden Formänderungen maßgebend und entscheidend sind. Letztere müssen im wesentlichen elastischer Art sein; größere bleibende sind unbedingt zu vermeiden, da sie nicht allein die Gefahr einer Beschädigung oder des Bruches näherücken, sondern auch zu anderer Wirkung und Verteilung der Kräfte und zu Überanstrengungen weiterer Teile führen können. Wenn man bei der Berechnung meist die Bestimmung der Formänderungen umgeht, so geschieht das aus zwei Gründen: weil die Berechnung der Spannungen mittels einfacherer Formeln und unter Vermeidung der Elastizitätsziffer möglich ist und weil unsere Festigkeitslehre nach dem Hooke'schen Gesetz Verhältnisgleichheit zwischen Spannungen und Formänderungen voraussetzt, so daß — nicht immer in Übereinstimmung mit den tatsächlichen Verhältnissen — die Spannungen den Formänderungen gleichwertig werden. Sollen die Formänderungen klein sein, so hilft man sich dadurch, daß man niedrige Beanspruchungen einsetzt.

Der Berechnung von Konstruktionsteilen werden die zulässigen Spannungen zugrunde gelegt. Bei ihrer Wahl sind drei Gesichtspunkte zu beachten:

1. die mechanischen Eigenschaften der zu verwendenden Werkstoffe,
2. die Sicherheit, mit der die Spannungen durch die Rechnung ermittelt werden können,
3. die Art der Kraftwirkung.

**1. Einfluß der mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe.** Zur Vermeidung bleibender Formänderungen müssen, wie schon im vorigen Abschnitt erwähnt, die Spannungen in den Maschinenteilen unterhalb der Elastizitätsgrenze, zum mindesten unterhalb der Fließgrenze bleiben. Bei den üblichen Prüfungen der Baustoffe werden freilich die Spannungen an diesen Grenzen nur selten genau festgestellt; meist beschränkt man sich auf die Ermittlung der Bruchfestigkeit  $K$  und der Formänderung während des Bruches oder nach demselben und benutzt den oben erläuterten Sicherheitsgrad gegen Bruch  $\mathcal{S}$  dazu, die zulässige Spannung  $k = \frac{K}{\mathcal{S}}$  festzulegen. Dabei sind verschiedene Zahlen für  $\mathcal{S}$  nötig, je nach der Gewißheit, mit der vorgeschriebene Festigkeitseigenschaften bei der Herstellung erreicht und gewährleistet werden können und je nach der Lage der Bruch- und Elastizitätsgrenze zueinander. Schmiedeeisen und Stahl werden in bestimmten, recht gleichmäßigen Sorten geliefert, so daß niedrige Werte für  $\mathcal{S}$  zulässig sind; dagegen verlangen gewöhnlicher Stahlguß, in noch stärkerem Maße aber viele Legierungen höhere Werte, weil sie ungleichmäßiger und unzuverlässiger sind, soweit nicht Sonderfirmen mit weitgehenden Erfahrungen genügende Gewähr bieten können.

Die zulässige Beanspruchung muß um so kleiner genommen werden, je niedriger die Elastizitätsgrenze im Verhältnis zur Bruchgrenze liegt.

Schließlich wird der Sicherheitsgrad im allgemeinen bei zähen Stoffen mit bedeutendem Arbeitsvermögen und großen Dehnungszahlen kleiner gewählt werden dürfen, weil selbst im Falle des Überschreitens der Fließgrenze noch beträchtliche Formänderungen nötig sind, ehe es zum Bruche kommt. Doch ist dabei etwaige Kerbwirkung (Abschn. 3, II, e) besonders zu beachten. Durch scharfe Absätze, geringe Ausrundungen oder unvermittelte Querschnittübergänge kann die Formänderung gehindert oder beeinträchtigt und die Widerstandsfähigkeit erheblich vermindert werden. Auch hier pflegt man sich wieder dadurch zu helfen, daß man bei der üblichen Rechnung niedrige Spannungen einsetzt.

Die in der Zusammenstellung 2 gegebenen Zahlen gelten für gewöhnliche Wärmegrade. Der Einfluß der Wärme auf die Festigkeit ist bei der Besprechung der einzelnen Werkstoffe behandelt.

**2. Einfluß der Spannungsermittlung.** Je sicherer es ist, daß die errechneten Spannungen nicht überschritten werden, um so höher darf die Beanspruchung unter voller Beachtung der Gesichtspunkte 1 und 3 liegen. Bei ruhender Belastung ist es z. B. zulässig, bis nahe an die Elastizitätsgrenze heranzugehen. Wenn aber Nebenbeanspruchungen auftreten, die vernachlässigt sind oder rechnermäßig nicht verfolgt werden können, so ist die zulässige Beanspruchung unter sorgfältiger Einschätzung der Umstände zu erniedrigen. Beispielweise werden auf diese Art oft das Eigengewicht, Nebenspannungen, zufällige Überlastungen, etwa durch Überschreiten der normalen Geschwindigkeiten, Stöße oder Erschütterungen, dynamische oder Massenwirkungen, Guß- und Wärmespannungen berücksichtigt. Auch die Art des Betriebes — bei Kranen: Walzwerkbetrieb, im Gegensatz zu dem vorsichtigeren Werkstattbetrieb —, oder die bei Betriebsmaschinen der chemischen Großindustrie gestellte Forderung, daß sie ohne Überholen vier bis fünf Monate Tag und Nacht durchlaufen müssen, ist zu beachten.

**3. Einfluß der Art der Kraftwirkung.** Es ist nicht gleichgültig, ob eine Kraft ihre Größe und Richtung dauernd beibehält oder wechselt. In der Beziehung braucht nur daran erinnert zu werden, daß ein Stab dem einmaligen Abbiegen oft sehr gut widersteht, dagegen durch mehrfaches Hin- und Herbiegen zum Bruch gebracht wird. Seine Fasern sind im letzteren Falle wechselnd auf Biegung beansprucht und deshalb weniger widerstandsfähig.

Man unterscheidet die folgenden drei Arten der Inanspruchnahme:

**a) Ruhende Beanspruchung.** Die Belastung wirkt dauernd und ändert ihre Größe und Richtung nicht. (Tragstange eines Belastungsgewichts,  $\sigma_z = \text{konst.}$ )

Zusammenstellung 1. Auszug aus den Wöhlerschen Versuchen.

Lfd. Nr.	Werkstoff	Belastungsweise	Zahl der Belastungen $n$		Bruchspannung nach Wöhler	Verhältnis der Bruchspannungen
			Bruch erfolgte bei $n =$	noch nicht gebrochen bei $n =$		
1	Bearbeitete Stäbe aus schweißeisernen Achsen, von Phönix 1857 geliefert	a) Ruhend auf Zug (2 Versuche)	800	48 200 000	a) Ruhende Bel. $K_z = 3250 \text{ kg/cm}^2$	2,77
2		b) Schwellend auf Zug $\dots \sigma_z = 0 \dots 3500 \text{ kg/cm}^2$	10 141 645			
3			169 750			
4		b) Schwellend auf Biegung $\sigma_b = 0 \dots 4010$	481 950			
5			4 035 400			
6						
7		c) Wechselnd auf Biegung $\dots \sigma_b = 0 \dots 2190$	56 430			
8			99 000			
9			183 145			
10			479 490			
11			909 810			
12			3 632 588			
13			4 917 992			
14			19 186 791			
15						
16			132 250 000			
17	Bearbeitete Stäbe aus Gußstahlachsen, von Krupp 1862 geliefert.	a) Ruhend auf Zug (3 Versuche)	18 741	13 600 000	a) Ruhende Bel. $K_z = 7600 \text{ kg/cm}^2$	3,7
18		b) Schwellend auf Zug $\dots \sigma_z = 0 \dots 5840 \text{ kg/cm}^2$	473 766			
19						
20						
21		b) Schwellend auf Biegung $\sigma_b = 0 \dots 3500$	1 762 300			
22			1 031 200			
23			5 234 200			
24		c) Wechselnd auf Biegung $\dots \sigma_b = 0 \dots 3650$	55 100			
25			797 525			
26			45 050 640			
27			373 800			
28		b) Schwellend auf Drehung $\tau_d = 0 \dots 3280$	879 900			
29						
30			859 700			
31		c) Wechselnd auf Drehung $\dots \tau_d = 0 \dots 2770$				
32						
33	Bearbeitete Stäbe aus Gußeisen aus einem Lokomotivzylinder (Vulkan).	b) Schwellend auf Zug $\dots \sigma_z = 0 \dots 1100 \text{ kg/cm}^2$	3140	7 200 000	b) Schwellende Bel. $K_z = 730 \text{ kg/cm}^2$	1
34			4 000			
35			10 342			
36			45 028			
37			78 685			
38			27 885			
39			35 599			
40			208 439			
41						
42			7 600 000			

**b) Schwellende Beanspruchung.** Die Belastung schwankt stetig, aber beliebig oft zwischen Null und einem höchsten Werte. (Lastseil eines Krans, wenn man die Belastung durch das Eigengewicht und die Hakenflasche unberücksichtigt läßt. Es entstehen nur Zugspannungen  $\sigma_z$ , die aber alle Werte zwischen 0 bei leerem Haken bis  $\sigma_z$  bei voller Last durchlaufen.)

**c) Wechselnde Beanspruchung.** Die äußeren Kräfte erzeugen Spannungen, die beliebig oft zwischen einem positiven und einem negativen größten Wert wechseln. (Die Achse eines Eisenbahnwagens ist wechselnd auf Biegung belastet, indem ihre Fasern bei jeder Umdrehung einmal auf Zug durch  $+\sigma_b$  und einmal auf Druck durch  $-\sigma_b$  in Anspruch genommen werden.)

Die ersten sorgfältigen und grundlegenden Versuche über den Einfluß der Art der

## Zusammenstellung 2. Zulässige Bean-

Unter Benutzung der Werte von

Werkstoff	Anforderungen		Zulässige								
	Festigkeit $K_z, K, K_b$ kg/cm <sup>2</sup>	Bruchdehnung $\delta$ %	Zug $k_z$ kg/cm <sup>2</sup>			Druck $k$ kg/cm <sup>2</sup>		Flächendruck $p$ kg/cm <sup>2</sup> an nicht gleitenden Flächen			
			a) ruhend	b) schwellend	c) wechselnd	a) ruhend	b) schwellend	a) ruhend	b) schwellend	c) hämmernd	
			$\frac{\sigma}{K_z} = K_z : k_z$								
Flußstahl, weich . . .	$K_z = 3000-5000$	25-15	4-3	900-1500	600-1000	300-500	900-1500	600-1000	800-1000	530-670	270-330
Flußstahl . . . . .	$K_z = 5000-7000$	20-10	4	1200-1800	800-1200	400-600	1200-1800	800-1200	1000-1500	700-1000	350-500
Flußstahl, gehärtet Federstahl, gehärtet									1500-1800	900-1200	400-600
Tiegelstahl . . . . .	$K_z = 4500-9000$	20-6	4-3	1200-2500	800-1670	400-830	1200-2500	800-1670	1000-2000	670-1330	330-670
Nickelstahl, weich- mittelhart . . . . .	$K_z = 4500-6000$	20-16	4-3	1200-1800	800-1200	400-600	1200-1800	800-1200	1000-1500	700-1000	350-500
Schweißbeisen . . . .	$K_z = 3000-4200$	20-12	4-3,5	900-1200	600-800	300-400	900-1200	600-800	700-900	470-600	230-300
Stahlguß . . . . .	$K_z = 3600-6000$	20-10	6-5	600-1200	400-800	200-400	900-1500	600-1000	800-1000	530-670	270-330
Gußeisen mit Guß- haut . . . . .	$K_b$ an normalen Rundstäben 2800-3600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			5-4,5	300-350	200-230	100-120	900-1000	600-660			
Gußeisen bearbeitet	$K_z = 1350-1750$	—	—	—	—	—	—	—	700-800	470-530	230-270
Schmiedbarer Guß . .	$K_z = 2000-3100$	7,5-1	5-4	450-700	300-470	150-230	600-900	400-600	500-800	330-530	170-270
Hartguß . . . . .	$K_z = 3000-4500$	35-25	5-4	400-540	270-360	130-180	400-540	270-360	1000-1500	670-1000	330-500
Kupfer, gewalzt . . .	$K_z = 2000-2700$								350-500	230-330	120-170
Blei . . . . .	$K_z = 900-1200$	3	10-8	100-120	70-80	30-40			20-50		
Aluminiumguß . . . .											
Zinnbronzen, gegos- sen . . . . .	$K_z = 2000-2500$	20-6	6-5	400-500	270-330	130-170	400-500	270-330	300-400	200-270	100-130
Phosphorbronzen . . .	$K_z = 3000-4500$	25-10	6-5	600-900	400-600	200-300	600-900	400-600	500-750	330-500	170-250
Rotguß . . . . .	$K_z = 1800-2200$	15-5	6-5	300-400	200-270	100-130	300-400	200-270	250-350	170-230	80-120
Messing, gewalzt . . .	$K_z = 2000-3000$	30-20	5	400-600	270-400	130-200	400-600	270-400	300-450	270-300	130-150
Durana-Deltametall usw. . . . .	$K_z = 3500-6000$	20-12	6-5	600-1000	400-670	200-330	600-1000	400-670	500-800	330-530	170-270
Eiche . . . . .	$K = 350-500$	$K_b = 600-750$	—	180	120	60	90	60			
Tanne, Fichte, Kiefer	$K = 250-400$	$K_b = 300-500$	—	150	100	50	75	50			
Granit . . . . .	in Richtung der Faser.	—	—	—	—	—	60	40			
Kalkstein . . . . .		—	—	—	—	—	30	20			
Sandstein . . . . .		—	—	—	—	—	20	14			
Ziegelmauerwerk, in Kalk . . . . .		—	—	—	—	—	10	7			
Ziegelmauerwerk in Zement . . . . .		—	—	—	—	—	16	10			
Beton . . . . .		—	—	—	—	—	10	7			

Belastung hat Wöhler 1858—1870 ausgeführt [I, 5]. Die vorstehende Zusammenstellung 1 beschränkt sich auf einige Versuche an Stäben aus Schweißeisen, Gußstahl und Gußeisen, während sich die Untersuchungen Wöhlers noch auf zahlreiche andere Stahl- und Eisenproben, auf gehärteten und ungehärteten Federstahl und Kupfer, sowie auf die Wirkung scharfer Absätze bezogen. Einige Stäbe der Versuchsreihen wurden dem gewöhnlichen Zerreißversuch unter allmählicher Steigerung der Last bis zum Bruch, ruhender Beanspruchung entsprechend, auf Zugfestigkeit untersucht, eine weitere Anzahl unter schwellender Inanspruchnahme allmählich bis zu den angegebenen Grenzlasten be- und dann wieder entlastet. Auf Biegung wurden die Stäbe schwellend beansprucht, indem die Last, welche die angeführten Spannungen hervorrief, allmählich aufgebracht und dann wieder abgenommen wurde, wechselnd, indem die Stäbe sich unter der Last drehen

**spruchungen der Werkstoffe des Maschinenbaues.**

Bach, Stephan, Kammerer u. a.

Beanspruchung auf										Bemerkungen		
Biegung $k_b$ kg/cm <sup>2</sup>			Abscherung $k_s$ kg/cm <sup>2</sup>			Drehung $k_d$ kg/cm <sup>2</sup>						
a) ruhend	b) schwellend	c) wechselnd	a) ruhend	b) schwellend	c) wechselnd	a) ruhend	b) schwellend	c) wechselnd				
Querschnittform und $\frac{K_b}{k_b}$			$\frac{K_s}{k_s}$			Querschnittf. u. $\frac{K_d}{k_d}$						
	900—1500 1200—1800	600—1000 800—1200	300—500 400—600	4—3 4	720—1200 960—1440	480—800 640—960	240—400 320—480	600—1200 900—1440	400—800 600—960	200—400 300—480		
	7500	5000	—	—	—	—	—	6000	4000	—	vgl. Zus.-Stell. 12	
	1200—2500	800—1670	400—830	4—3	960—2000	640—1330	320—670	900—2000	600—1330	300—670	vgl. Zus.-Stell. 27	
	1200—1800	800—1200	400—600	4	960—1440	640—960	320—480	900—1440	600—960	300—480	vgl. Zus.-Stell. 27	
	900—1200 750—1200	600—800 500—800	300—400 250—400	4—3,5 6—5	720—950 480—960	480—640 320—640	240—320 160—320	360—480 480—960	240—320 320—640	120—160 160—320	vgl. Abschn. 2, II, D	
 6	460—600	310—400	150—200									
 7,5	370—480	250—320	120—160					 5	270—350	180—230	90—120	
 9	310—400	210—270	100—130		300—350	200—230	100—120	 6	220—290	150—190	70—100	vgl. Abschn. 2, II, E, 2
 5	560—720	370—480	190—240					 3,5	380—500	250—330	130—160	
 6	460—600	310—400	150—200					 3,2	420—550	280—370	140—180	
 7	400—510	270—340	130—170									
	450—700	300—470	150—230	—	—	—	—	—	300—400	200—270	100—130	
	400—540	270—360	130—180									
	150—200	100—130	50—70									
	400—500 600—900 300—400 400—600	270—330 400—600 200—270 270—400	130—170 200—300 100—130 130—200	— — — —	— 450—700 320—480	— 300—470 210—320	— 150—230 110—160	— 300—400 450—700 320—480	200—270 300—470 210—320	100—130 150—230 110—160		vgl. Abschn. 2, IV, B
	600—1000	400—670	200—330	—	480—800	320—530	160—270	480—800	320—530	160—270		vgl. Abschn. 2, IV, C
	130 105	90 70	45 35	— —	— —	10 8						

mußten, so daß die Fasern bald Druck-, bald Zugspannungen gleicher Größe ausgesetzt waren. Eine dieser Reihen ist unter lfd. Nr. 1—16 vollständig wiedergegeben und zeigt deutlich den Einfluß der Höhe der Beanspruchung auf die Zahl der Belastungen, die zum Bruche nötig sind. Endlich wurde an einer Anzahl Proben das Verhalten gegenüber schwelloser und wechselnder Beanspruchung auf Drehung festgestellt.

Für die einzelnen Baustoffe und Belastungsarten sind in der vorletzten Spalte die Spannungen, bei denen der Bruch zu erwarten ist, aufgeführt. Sie nehmen in der Reihenfolge: ruhende, schwellose und wechselnde Beanspruchung sehr bedeutend ab und ergeben, wenn man die Bruchspannung bei wechselnder Belastung gleich 1 setzt, die in der letzten Spalte eingetragenen Verhältniszahlen, die nur für das untersuchte Gußeisen fehlen, da der entsprechende einfache Zugversuch leider unterblieben ist. Aus ihnen, sowie aus den praktischen Erfahrungen im Maschinenbau kann man das Verhältnis der Bruchspannungen  $K$  und — gleiche Sicherheit gegen das Eintreten des Bruches vorausgesetzt —, das Verhältnis der zulässigen Beanspruchungen  $k$  in den drei Fällen der ruhenden, schwelloser und wechselnden Einwirkung der Kräfte wie 3 : 2 : 1 annehmen, so daß z. B. weicher Flußstahl, der bei ruhender Belastung auf Zug mit  $1200 \text{ kg/cm}^2$  beansprucht werden darf, bei schwelloser 800 und bei häufigem Wechsel zwischen Zug und Druck nur  $\pm 400 \text{ kg/cm}^2$  verträgt.

Die Erklärung für die Erscheinungen und besonders für den auffallenden Umstand, daß bei schwelloser Belastung recht hohe Spannungen, die offenbar über der gewöhnlichen Fließgrenze des Baustoffs liegen, dauernd ausgehalten werden und nicht zum Bruche führen, gab Bauschinger [I, 6]. Er zeigte an Schweißstahl und Flußstahl, daß Belastungen in einer Richtung, z. B. auf Zug, die über die Streckgrenze des Werkstoffes hinausgehen, die Streck- und die Elastizitätsgrenze bis zu einem gewissen Grade heben, wodurch der Baustoff zur Aufnahme beliebig häufiger Wiederholungen von Belastungen in gleichem Sinne, entsprechend schwelloser Beanspruchung fähig wird. War aber an einer Probe bei einer Belastung auf Zug die Elastizitätsgrenze überschritten worden, und wurde nunmehr die Probe auf Druck in Anspruch genommen, so ergab sich, daß die Elastizitätsgrenze für diese entgegengesetzte Belastung erniedrigt und oft auf Null herabgeworfen worden war. Derartigen, zwischen Zug und Druck wechselnden Beanspruchungen widersteht der Baustoff dauernd nur, wenn die Spannungen unter einer bestimmten Grenze bleiben, die Bauschinger als natürliche Elastizitätsgrenze bezeichnete, und die erheblich unter der Grenze für schwellose Belastung liegt.

Zu den auf S. 12 zusammengestellten zulässigen Beanspruchungen der wichtigeren Werkstoffe des Maschinenbaus sind die folgenden Bemerkungen zu machen. Die in der Spalte „Anforderungen“ aufgeführten Festigkeits- und Dehnungszahlen sind an guten, im Maschinenbau häufig verwandten Werkstoffen ermittelte Durchschnittswerte. Sie werden gelegentlich unterschritten, können aber bei Sondersorten wesentlich übertroffen werden, wie bei der Einzelbesprechung der Baustoffe näher gezeigt ist.

Was die Zahlen für die Dehnung anlangt, so gehören die größeren Dehnungsziffern im allgemeinen zu den kleineren Festigkeitszahlen, da die Dehnung mit steigender Festigkeit abnimmt. Es ist unzulässig, neben hoher Festigkeit auch große Werte für die Dehnung zu verlangen.

In den folgenden Spalten sind Einzelzahlen für die zulässigen Spannungen bei den verschiedenen Inanspruchnahmen auf Zug, Druck, Flächendruck, Biegung, Abscherung und Drehung aufgeführt. Wenn dabei fast durchweg zwei Werte angegeben wurden, so ist das zunächst wegen der in verschiedenen Grenzen liegenden Festigkeit der Werkstoffe geschehen. Die größeren Werte sollten im allgemeinen nur an besseren, den höheren Festigkeitszahlen entsprechenden Baustoffen zugelassen werden. Dann ist sorgfältig zu berücksichtigen, ob die Bedingungen der Inanspruchnahme auf ruhende, schwellose oder wechselnde Wirkung der Kräfte vollkommen erfüllt sind, oder ob nicht Nebenbeanspruchungen, Stöße, Wärme- und Gußspannungen usw. die Wahl niedrigerer Werte verlangen.

Neben den Zahlen für die ruhende Belastung auf Zug, Biegung, Abscherung und Drehung ist vielfach die Sicherheit  $\mathfrak{S} = K : k$  angeführt, um einen Anhalt für die zulässige Beanspruchung an ähnlichen Stoffen mit ungewöhnlichen oder durch den Versuch ermittelten besonderen Festigkeitszahlen zu bieten. Bei Gußeisen, das auf Biegung und Drehung beansprucht ist, hat die Querschnittform nach den Versuchen von Bach erheblichen Einfluß auf die Widerstandsfähigkeit, so daß Zahlen für die einzelnen Querschnittarten angegeben wurden.

Für schwellige und wechselnde Inanspruchnahme sind die zulässigen Spannungen unter Benutzung der Wöhlerschen Zahlen in Höhe von  $\frac{2}{3}$  und  $\frac{1}{3}$  derjenigen bei ruhender Belastung ermittelt.

Die Beanspruchung auf Druck und Biegung stimmt bei den meisten Stoffen mit der auf Zug überein, insbesondere dann, wenn die Fließ- und die Quetschgrenze auf etwa der gleichen Höhe liegen. Ausnahmen hiervon bilden Stahlguß, Gußeisen, schmiedbarer Guß und Holz, von denen die ersteren höhere, Holz dagegen geringere Widerstandsfähigkeit gegen Druck aufweisen. Entsprechend müssen die Zahlen für die Inanspruchnahme auf Biegung gewählt werden.

Der Flächendruck an nicht gleitenden Flächen setzt gut bearbeitete Auflagestellen voraus und darf erklärlicherweise die Höhe der Inanspruchnahme auf Druck im Innern von Körpern nicht erreichen. Er muß, falls die Flächen weniger sorgfältig hergestellt sind, noch niedriger als in der Zusammenstellung angegeben, genommen werden. Hämmernde Wirkung infolge von Erschütterungen oder Stößen ist durch ein Drittel der Werte für ruhende Belastung berücksichtigt.

Im Falle von Abscherung und Drehung kann rund 0,8 der Beanspruchung auf Zug eingesetzt werden, da Versuche an den meisten Stoffen das Verhältnis der Scherfestigkeit zur Zugfestigkeit zu 0,8 ergeben. Nur bei Gußeisen können für  $k_s$  etwa dieselben Werte wie für  $k_z$  genommen werden.

Schweißisen erweist sich infolge der Schlackeneinschlüsse als wenig widerstandsfähig gegen Verdrehen; hierin sind die niedrigen Zahlen für  $k_d$  begründet.

### III. Druckfestigkeit.

Eine nach Abb. 3 in der Stabachse wirkende Kraft  $P$  beansprucht den Körper auf Druck und ruft Druckspannungen in der Größe

$$\sigma_d = \frac{P}{F} \quad (11)$$

hervor, wenn man voraussetzt, daß diese sich gleichmäßig über den Querschnitt verteilen. An Konstruktionsteilen dürfen sie die zulässigen Beanspruchungen  $k$  Seite 12 nicht überschreiten.

Den Druckversuch an einem Körper aus weichem Flußstahl ergibt das Schaubild 15, wenn die Druckspannungen  $\sigma_d$  als Ordinaten nach unten, die auf die Längeneinheit bezogenen Zusammendrückungen oder Stauchungen

$$\varepsilon = \frac{\delta}{l} \quad (12)$$

als Abszissen nach links abgetragen werden. Durch Feinmessungen läßt sich eine Elastizitätsgrenze  $E$  und eine Proportionalitätsgrenze  $P$  in ähnlicher Weise, wie beim Zugversuch beschrieben, nachweisen, sowie eine Dehnungs- oder Elastizitätszahl

$$\alpha = \frac{\varepsilon}{\sigma_d} \quad (13)$$

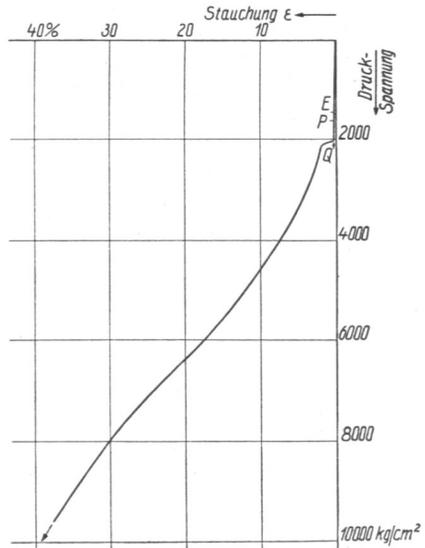


Abb. 15. Druckversuch an weichem Flußstahl.