

Zusammenstellung 49. Festigkeitswerte von Hölzern.

	Zugfestigkeit K_z kg/cm ²		Druckfestigkeit K in Richtung der Stammachse kg/cm ²	Biegefestig- keit K_b kg/cm ²	Scherfestig- keit längs der Fasern K_s kg/cm ²
	Kern	Umfang			
Fichte, Tanne, Kiefer	250—350	700—900	250—400	300—500	40—60
Eiche	—	900—1000	350—500	600—750	75
Buche { Rot-	—	1200—1300	350—500	650—900	85
{ Weiß-	—		450—600		
Esche	—	1200—1300	400—500	750—900	—

Das Holz hat für den Maschinenbau wegen der Formänderungen, die es bei dem Wechsel des Feuchtigkeitsgrades erleidet und wegen seiner leichten Zerstörbarkeit viel von seiner früheren Bedeutung verloren. Die Vorteile des geringen Gewichts und der leichten Bearbeitbarkeit lassen es noch im Aufzug- und Wagenbau, sowie für landwirtschaftliche, Textil- und Müllereimaschinen Verwendung finden. Seine geringe Masse ist die Begründung für die Anwendung zu Schubstangenschäften sehr raschlaufender Sägegatter, die schlechte Wärmeleitfähigkeit für diejenige zu Handgriffen an Hähnen und Ventilen oder als Verschalung. Hartes Holz eignet sich bei niedrigen Flächendrücken zur Stützung von Zapfen, die im Wasser laufen, ferner wegen seines großen Reibungswiderstandes zu Bremsbacken und Riemenscheiben.

Nach der Widerstandsfähigkeit und Bearbeitbarkeit unterscheidet man weiche und harte Holzsorten, und rechnet zur ersten Gruppe Fichte, Tanne, Kiefer (Bauhölzer), Linde, Pappel, Erle (zu Modellen) und Weide, zur zweiten Weißbuche (Bremsbacken und Kämme an Zahnrädern), Esche, Eiche, Teak- und Pockholz (die beiden zuletzt genannten namentlich zur Stützung von Spurzapfen). Es wird lufttrockenes, gerades und möglichst astfreies Holz verlangt.

Die Bearbeitung erfolgt mit großen Geschwindigkeiten, 100 bis 200 m/Min., durch Hobeln, Drehen, Bohren und Fräsen unter Abnahme dünner, breiter Späne, damit kein Spalten oder Splittern eintritt.

B. Leder.

In ungegerbtem Zustande, als Rohhaut, findet Leder zu den Ritzeln raschlaufender Zahnradtriebe Anwendung. Zum Schutze gegen Fäulnis wird es einige Zeit in eine Glycerin-Wasserlösung gehängt, in der es gleichzeitig eine gleichmäßige, hornartige Beschaffenheit annimmt, die es nach dem Trocknen leicht und gut bearbeitbar macht.

Zu Riemen, Dichtungen in Form von Stulpen und Scheiben, sowie als nachgiebiges Mittel in Kupplungen usw. benutzt man gegerbtes Leder, das durch Einlagern von Gerbstoffen viel elastischer und geschmeidiger, aber auch gegen Fäulnis widerstandsfähiger geworden ist. Als bestes Gerbmittel gilt noch immer feingemahlene Eichenrinde, die Eichenlohe. In den Lösungen von zunehmendem Lohe- und Säuregehalt, in welche die Häute nacheinander gebracht werden, nimmt das Leder allmählich Gerbstoff auf, der sich mit der Faser verbindet und die Haut von etwa 1 bis 2 $\frac{1}{2}$ mm Stärke auf 5 bis 9 mm aufquellen läßt. Nach dem Herausnehmen aus der letzten Lösung werden die Häute sorgfältig gereinigt, eingefettet und getrocknet. Das je nach den Anforderungen mehrere Monate bis zu zwei Jahren in Anspruch nehmende Verfahren kann durch Anwendung starker Gerbstoffextrakte aus Eichenholz und ausländischen Gerbhölzern oder durch Walken des Leders in den Lösungen, manchmal freilich unter Beeinträchtigung der Güte des Erzeugnisses abgekürzt werden. Neuerdings sucht man durch schwächere Gerblösungen, die durch das Leder hindurchgepreßt werden und durch späteres starkes Walzen des Leders besonders dünne Riemen von 3,5 bis 5 mm Stärke herzustellen.

Ein wesentlich anderes Erzeugnis ist das durch Behandlung mit Chromsalzen erhaltene grünlich-graue Chromleder, bei dem sich eine Chromoxydverbindung mit der Lederfaser bildet, die schützend wirkt. Das Verfahren dauert, ohne die Faser zu schädigen, nur wenige Tage.

Eine nach dem gewöhnlichen Verfahren gegerbte Ochsenhaut ist in bezug auf Dicke, Festigkeit und Dehnungsverhältnisse sehr ungleichmäßig. In einem Streifen von je etwa 150 mm Breite beiderseits der Rückenlinie beträgt die Stärke 5 bis 6 mm; bis zu rund 400 mm Entfernung von der Mitte nimmt sie auf etwa 8 mm zu und dann nach der Bauchseite hin wieder ab.

Die Zugfestigkeit gegerbten Leders liegt gewöhnlich zwischen 200 und 400 kg/cm². Bei Versuchen an zahlreichen fertigen Riemen verschiedener Herkunft fand Rudeloff [II, 34] im Mittel 260 kg/cm² Zugfestigkeit, bei einem kleinsten Wert von 148 und einem größten von 360 kg/cm². An einer und derselben, zwei Jahre in Eichenlohe gegerbten

		Rücken									
		K_z	ϵ	K_z	ϵ	K_z	ϵ	K_z	ϵ	K_z	ϵ
Hals		433	13,1	374	9,7	378	9,8	339	11,7	388	
		366	14,9	400	13,8	354	14,5	324	12,5	340	10,3
		368	16,4	368	15,1	349	16,6	353	14,7	343	12,1
		426	18,1	370	15,1	340	16,1	328	16,6	331	13,5
		347	19,9	376	16,7	313	19,3	335	16,1	305	14,9
		405	19,2	407	15,6	326	21,1	310	15,5	272	19,4
		385	17,6	360	16,2	351	22,4	290	15,6	269	20,4
		416	17,4	380	18,0	362	20,4	261	16,6	313	16,8
			18,4	397	17,6	367	18,4	288	17,1	325	14,0
		460	21,7	421	18,5	368	15,5	270	16,6	315	15,4
				374	18,8	370	13,5	271	15,1	388	12,8
				405	18,9	370	12,0	326	12,3	398	13,1
		Bauchseite									

Abb. 136. Festigkeits- und Dehnungswerte des Leders einer Ochsenhaut (Bach).

Ochsenhaut kamen nach Untersuchungen Bachs [II, 35] Verschiedenheiten zwischen 261 und 460 kg/cm² vor, vgl. Abb. 136, in der an den einzelnen Streifen, in welche die Haut zerschnitten war, die bei ziemlich rasch durchgeführten Versuchen erhaltenen Werte der Zugfestigkeit und Dehnung eingeschrieben und des leichteren Vergleichs wegen in Form von wagerechten Strecken eingetragen sind. Die Festigkeit ist längs der Rückenlinie am größten, nimmt nach den Flanken zu ab, steigt aber auf der Bauchseite wieder. Durchschnittlich haben die stärkeren Stellen der Haut geringere Festigkeit, die dünneren größere.

Im Gegensatz zu den Metallen verläuft die Spannungs-Dehnungskurve des Leders, Abb. 137, mit zunehmender Spannung steiler, so daß also Leder bei geringer Inanspruchnahme weicher und nachgiebiger ist, oder sich innerhalb gleicher Spannungsstufen um so mehr streckt, je geringer es belastet ist. Nach Abb. 137 nimmt die Dehnung z. B. zwischen 0 und 50 kg/cm² um 5,4 zwischen 200 und 250 kg/cm² nur noch um 3,0% zu.

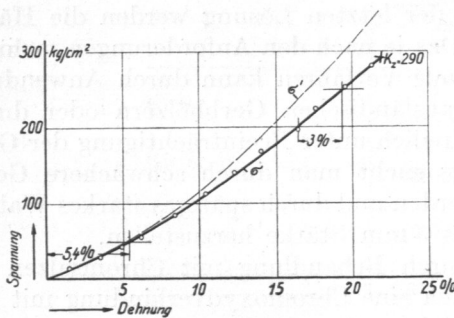


Abb. 137. Spannungs-Dehnungslinie gestreckten Riemenleders.

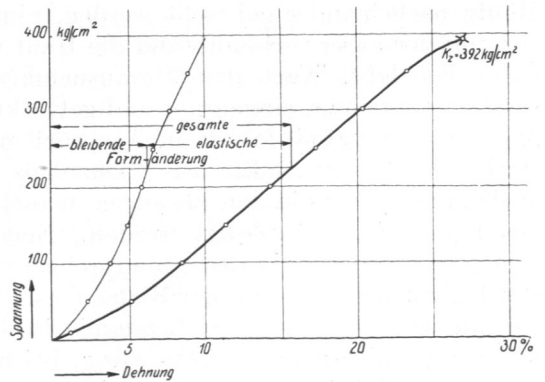


Abb. 138. Bleibende und elastische Formänderungen an Leder.

Schon bei niedrigen Spannungen treten bleibende Formänderungen ein, wie die dünne Linie der Abb. 138 zeigt, die sich bei einem Zugversuch an einem Stück ungebrauchten Riemenleders von 70 mm Breite, 4,9 mm Stärke bei 200 mm Meßlänge ergab. Das Leder wurde von 10 kg/cm^2 beginnend, in Stufen von je 50 kg/cm^2 belastet, nach jeder Belastung aber wiederum auf 10 kg/cm^2 entspannt. Die Abszissen der stark ausgezogenen Linie stellen die Summe der elastischen und bleibenden Formänderungen bei den einzelnen Spannungen dar, diejenigen der dünnen, die im wesentlichen bleibenden Reckungen, die der Riemen bei der Entlastung aufwies.

Von recht erheblichem Einfluß ist die Versuchsgeschwindigkeit. Bei rascher Durchführung findet man erheblich höhere

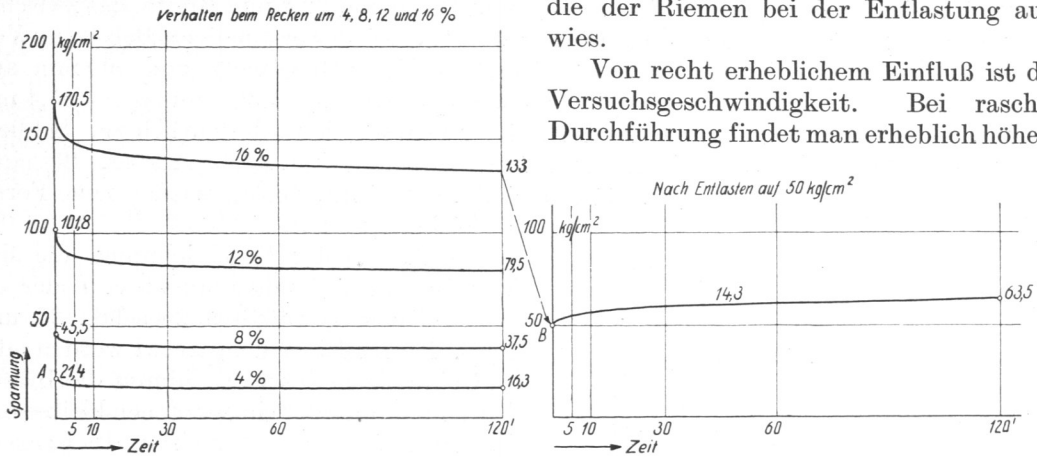


Abb. 139. Zugversuche an Leder. Einfluß der Versuchsdauer (Verfasser).

Festigkeitszahlen als bei langsamer, infolge der dem Leder eigenen, starken elastischen Nachwirkung. Bei der Belastung nehmen nämlich die Formänderungen nicht sofort ihre volle Größe an, sondern wachsen um so mehr, je länger die Kraft wirkt; nach der Entlastung zieht sich das Leder nicht sogleich völlig zusammen, sondern verkürzt sich beim Liegen noch lange Zeit nachher. Die Formänderungen sind also nicht allein von der Größe der wirkenden Kräfte, sondern auch von der Dauer ihrer Einwirkung abhängig, eine Erscheinung, die erklärlich wird, wenn man sich das Leder als ein elastisches Netzwerk mit Einlagen vorstellt, das erst allmählich nachgibt. Das läßt sich deutlich zeigen, wenn man den Riemen stufenweise dehnt und die zu den einzelnen Verlängerungen nötigen Belastungen verfolgt. Im Falle der Abb. 139 wurde ein neuer Riemen von 5,6 mm Stärke, 74 mm Breite und 500 mm Meßlänge zunächst um 4% gereckt und stand dabei im ersten Augenblick, dem Punkte A entsprechend, unter $21,4 \text{ kg/cm}^2$ Spannung. Diese sank nach 2' auf 18,9, nach 120' auf $16,3 \text{ kg/cm}^2$. Bei weiterem Recken um 8, 12 und 16% tritt die gleiche Erscheinung noch viel ausgeprägter auf; bei 16% fällt die Anfangsspannung von 170,5 innerhalb 2' auf 154 und nach 120' auf 133 kg/cm^2 . Verhältnismäßig ist aber der Abfall in den vier Fällen gleich groß; im Durchschnitt beträgt er 79% nach 120'.

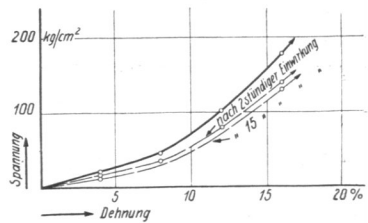


Abb. 140. Einfluß der Versuchsdauer bei Zugversuchen an Leder (Stephan).

Trägt man die Höchstspannungen abhängig vom Reckgrad auf, Abb. 140, so erhält man eine obere, ausgezogene Grenzkurve für die Festigkeit des Leders bei rascher Durchführung des Zugversuchs, während die dünneren Linien die wesentlich niedrigeren Spannungen kennzeichnen, welche dieselben Formänderungen erzeugen, nachdem die Belastung 2 bzw. 15 Stunden gewirkt hat.

Dieses allmähliche Nachlassen der Spannung erklärt neben dem Verschleiß, dem die Riemen an den Laufflächen unterworfen sind, das von Zeit zu Zeit notwendige Nachspannen der Riementriebe.

Umgekehrt erholen sich die Riemen nach plötzlichem Entlasten wieder, indem die Elastizität des Leders die Spannkraft allmählich wieder steigert, wie der Verlauf der im Punkte *B*, Abb. 139, angetragenen Linie verdeutlicht, als die unter 133 kg/cm^2 Spannung stehende Probe auf 50 kg/cm^2 entlastet wurde. Nach 120' wies der Riemen $63,5 \text{ kg/cm}^2$, d. i. eine um 27% höhere Spannung auf.

Dieses Verhalten des Leders ist praktisch sehr wichtig bei Riementrieben, an denen der Riemen im ziehenden und gezogenen Trum abwechselnd zwei Grenzspannungen ausgesetzt ist. An einem Probestück von $5,8 \text{ mm}$ Dicke und $72,2 \text{ mm}$ Breite, das zwischen 25 und 100 kg/cm^2 belastet wurde, Abb. 141, traten bei der erstmaligen Belastung Verlängerungen von $\lambda_1 = 18,4$ und $\lambda'_1 = 53,4 \text{ mm}$ an einer Meßstrecke von 500 mm auf, die bei den folgenden Wechseln auf $\lambda_2 = 39,3$ und $\lambda'_2 = 54,7$, $\lambda_3 = 39,5$ und $\lambda'_3 = 55,4 \text{ mm}$ stiegen. Selbst nach der 17. Be- und Entlastung nehmen sie noch deutlich zu. Schließlich geht aber der Riemen in einen im wesentlichen elastischen Zustand über. Bei einer höheren Spannungsstufe, in Abb. 141 100 und 200 kg/cm^2 , treten wieder neue Formänderungen und dieselben Erscheinungen in gleicher Art auf.

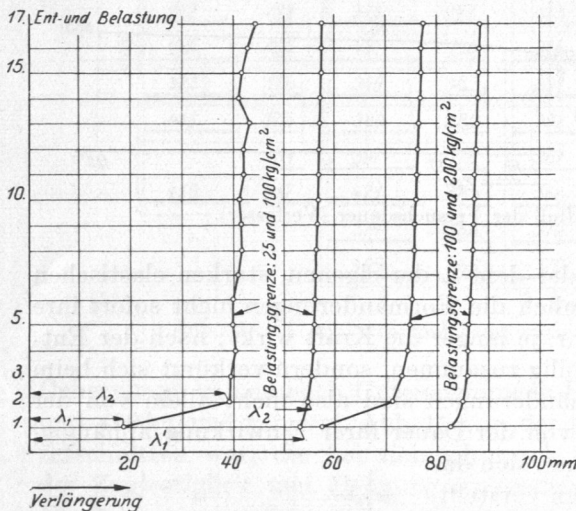


Abb. 141. Wiederholte Belastung von Leder (Verfasser).

Die Werte der Bruchdehnung, die sich an frischem und ungebrauchtem Leder ergeben, liegen gewöhnlich zwischen 25 und 10% . Ist der Riemen gestreckt worden oder im Gebrauch gewesen, so nimmt die Bruchdehnung infolge der eingetretenen bleibenden Formänderungen mit dem Grade des Reckens ab und pflegt dann Werte bis herab zu 10 und 5% zu haben.

Für den Betrieb sind nur die elastischen Formänderungen wichtig und rein elastische Riemen erwünscht. Um das Auftreten bleibender Formänderungen möglichst einzuschränken, werden die fertigen Riemen in den Fabriken durch Belastung oder auf besonderen Maschinen unter der zwei- bis fünf-fachen späteren Betriebsbelastung ausgiebig gestreckt.

Das Strecken schränkt aber nicht allein die durch den Betrieb zu erwartenden bleibenden Formänderungen ein, sondern verbessert auch die Festigkeitseigenschaften des Leders, indem es die Zugfestigkeit, auf den wirklichen Querschnitt bezogen, erhöht. Das läßt sich schon an einem einfachen Zugversuch, Abb. 137, zeigen. Unter der Voraussetzung, daß der Rauminhalt des Lederstreifens unverändert bleibt und daß die Streckung auf der ganzen Linie gleichmäßig erfolgt, muß, sofern F den ursprünglichen Querschnitt, l die ursprüngliche Länge, F_1 den Querschnitt nach dem Strecken des Streifens auf die Länge l_1 bedeutet,

$$F_1 \cdot l_1 = F \cdot l \quad \text{oder mit } l_1 = l(1 + \varepsilon)$$

$$F_1 = \frac{F \cdot l}{l_1} = \frac{F}{1 + \varepsilon} \quad (83)$$

sein, so daß die auf den wirklichen Querschnitt F_1 bezogene Spannung

$$\sigma' = \frac{P}{F_1} = \frac{P}{F} (1 + \varepsilon) = \sigma (1 + \varepsilon) \quad (84)$$

wird, wenn σ , wie bei Zugversuchen üblich, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen ist. Bei 20% Streckung ergibt sich z. B. aus Abb. 137 ein

$$\sigma' = 259 \cdot 1,20 = 311 \text{ kg/cm}^2$$

der gestrichelten Linie. In noch stärkerem Maße und sicherer wird die Verbesserung der Festigkeitseigenschaften durch das Strecken und Walzen des Leders in den Fabriken erreicht, weil dabei die Gefahr, daß durch zu hohe Beanspruchungen einzelne Fasern leiden, leichter vermieden werden kann.

Nach dem Verlauf der Dehnungslinie, Abb. 137, muß auch die Dehnungszahl α veränderlich sein und zwar mit steigender Belastung abnehmen. Sie betrug zu Beginn des

Versuches $\frac{1}{920}$ und fiel auf $\frac{1}{1630}$ cm²/kg in der Nähe des Bruches bei 290 kg/cm². Abb. 142

zeigt den Einfluß mehrfachen Belastungswechsels innerhalb zweier Spannungsstufen. Die dabei entstehenden Schleifen sind bei der erstmaligen Belastung weniger steil als später, so daß der Mittelwert von α , den man findet, wenn man die unteren Spitzen der Schleifen mit den oberen Schnittpunkten verbindet, zwischen 25 und

100 kg/cm² Belastung von $\frac{1}{2450}$ an der ersten, auf $\frac{1}{2890}$ an der 16. Schleife,

zwischen 100 und 200 kg/cm² entsprechend von $\frac{1}{3780}$ auf $\frac{1}{4440}$ cm²/kg abnimmt. Daraus muß geschlossen werden,

daß neue Riemen größere Werte von α haben als gebrauchte, an denen sich durch die dauernden Spannungswechsel ein Gleichgewichtszustand mit im wesentlichen nur elastischen Formänderungen herausgebildet hat. Bach gibt für Verhältnisse, unter denen Treibriemen gewöhnlich laufen, an:

für neue Lederriemen $\alpha = \frac{1}{1250}$ cm²/kg,

für gebrauchte $\alpha = \frac{1}{2250}$ cm²/kg.

An Chromlederriemen, die verschiedenen Stellen ein und derselben Haut entnommen waren, zeigte

Bach [II,37], daß die Elastizität längs der Rückenlinie sehr gleichmäßig und am größten war. Aus dem Bauteil geschnittene Riemen wiesen wesentlich geringere Federungen und außerdem geringere Elastizität am Kopfende als am Schwanzende auf, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, daß der Rückenteil bei der Vorbehandlung der Haut weniger gestreckt worden war als die Flanken. Die Dehnungsziffern ergaben sich sehr verschieden; der größte Wert längs des Rückens, wo die Haut um 19% gereckt

worden war, betrug $\alpha = \frac{1}{2274}$, der kleinste am Kopfende der Flanke nach 27% vorher-

gegangener Streckung $\frac{1}{6175}$ cm²/kg.

Einige weitere von Stephan bei sehr langsam durchgeführten Versuchen [II,36] gefundene Festigkeitszahlen enthält die Zusammenstellung 50.

Wie Gußeisen zeigt auch Leder elastische Hysterisis, indem die Spannungen bei der Entlastung einer anderen Kurve folgen als bei der Belastung. Es entstehen Schleifen, Abb. 142, deren Flächeninhalt die Formänderungsarbeit darstellt, welche bei jedem vollen Spannungswechsel aufgebracht werden muß, die also einen Energieverlust beim Betrieb des Riemens mit sich bringt. Die Größe der Schleife ist allerdings infolge der Nach-

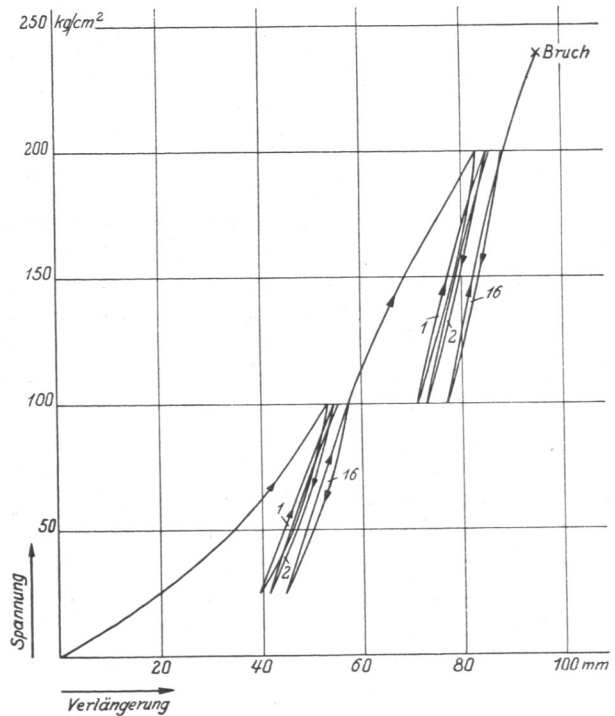


Abb. 142. Wiederholte Belastung von Leder (Verfasser).

Zusammenstellung 50.

Festigkeitswerte von Leder nach Stephan bei sehr langsamer Durchführung der Versuche.

Lfd. Nr.	Art des Leders	Stärke mm	Zugfestigkeit K_z kg/cm ²	Bruch- dehnung δ %	Dehnungszahl der elastischen Formänderungen α cm ² /kg
1	Eichenlohgar, naß vorgestreckt	6,25	215	15,6	$\frac{1}{2080}$ bei 80 kg/cm ²
2	„ zweimal vorgestreckt	—		12,4	$\frac{1}{2200}$
3	„ ungereckt	—	210	19–20	—
4	Mit Extrakt vorgegerbt, ungereckt	4	170	20,8	—
		8,4		29	—
5	Schwach gegerbt, komprimiert, vorge- streckt, Rückenstreifen	3,3–4,4	340–425	15,5–18,2	$\frac{1}{2140}$ — $\frac{1}{3570}$
6	Vorgestreckt, Flankenstreifen	3,4–3,9	355–528	15–18,7	$\frac{1}{2180}$ — $\frac{1}{3710}$
7	Chromleder, vorgestreckt	4,25	407	23	$\frac{1}{1600}$
8	„ „	6–6,3	320	34	

wirkungserscheinungen, denen Leder in starkem Maße unterliegt, noch von der Zeitdauer des Spannungskreislaufs abhängig. Barth ermittelte an neun Lederstreifen von 38,5 cm Länge, 10 cm Breite und 1 cm Dicke zwischen 1 und 19 kg/cm² Spannung 0,0288 cmkg Arbeitsaufwand auf 1 cm³ bei jedem Umlauf.

Im Falle der Abb. 142 beträgt der Arbeitsaufwand in der Spannungsstufe zwischen 25 und 100 kg/cm² im Durchschnitt je 0,122, in der Spannungsstufe 100 und 200 kg/cm², 0,153 cmkg/cm³. Dabei wurden die Schleifen im Durchschnitt in 4¹/₂ bis 5 Minuten durchlaufen.

Eine Zunahme der Feuchtigkeit ruft eine Verlängerung, also eine Verminderung der Spannungen in einem Treibriemen hervor.

Der Haltbarkeit rohen und gegerbten Leders sind große Wärme und Nässe nachteilig. Erstere wirkt schon von 40° C an schädlich, indem sie Riemen hart und brüchig macht. Gegen das Faulen infolge großer Feuchtigkeit schützt öfteres Einschmieren mit Talg und Fett. Öl wirkt dagegen schädlich und greift das Leder an.

In geringerem Maße ist Chromleder gegen Wärme und Nässe empfindlich.

C. Steine und Beton.

Vor allem in den Maschinenfundamenten, zur Unterstützung einzelner Teile, zum Einmauern von Dampfkesseln und zur Ausführung von Turbinenkammern, Kanälen usw. verwandt, sollen Steine und Beton möglichst nur auf Druck beansprucht werden. Größere Zug- und Biegespannungen müssen grundsätzlich wegen der geringen Widerstandsfähigkeit der Baustoffe solchen Beanspruchungen gegenüber vermieden oder im Falle von Beton durch Eiseneinlagen (Eisenbeton) aufgenommen werden. Dementsprechend erstreckt sich auch die Untersuchung der Steine und des Betons in der Regel nur auf die Druckfestigkeit, die an würfelförmigen Proben festgestellt zu werden pflegt und die als Vergleichs- und Gütemaßstab dient. Die Zahlen schwanken in sehr weiten Grenzen je nach der Art, der Lagerstätte, der Reinheit usw., bei künstlichen Sorten auch nach der Sorgfalt bei der Herstellung. Untere und mäßige obere Werte für die Druckfestigkeit im trockenen Zustande, sowie Mittelwerte aus den Versuchsreihen des Materialprüfungsamtes in Berlin-Dahlem enthält Zusammenstellung 51. Die Festigkeit nimmt mit zunehmendem Wassergehalt bei dichten Gesteinen um 5 . . . 8%, bei Sandsteinen aber häufig um 20 . . . 30% ab. Auch wiederholtes Gefrieren und Auftauen wirkt schädlich.

Die Dehnungsziffer ist ebenfalls je nach der Art der Baustoffe sehr starken Schwankungen unterworfen und nimmt mit der Höhe der Belastung zu. Von der Angabe von Werten wurde in der Zusammenstellung abgesehen.