

§. 336.

Hochdruckröhren.

Zur Berechnung der Wanddicke der Röhren, welche einer besonders starken inneren Pressung ausgesetzt werden sollen, dient sehr gut die Lamé'sche Formel (§. 19):

$$\frac{\delta}{D} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{\mathfrak{S} + p}{\mathfrak{S} - p}} - 1 \right) \dots \dots \dots (321)$$

in welcher p den inneren Druck auf die Flächeneinheit, \mathfrak{S} die grösste Spannung in den Längsschnitten der Rohrwand bezeichnet und der äussere Druck als vernachlässigbar klein behandelt ist (vergl. übrigens Formel (27) S. 55). Beträgt die Spannung im Gefässinnern a Atmosphären, so ist $p = a/100$. Wenn das Rohr an beiden Enden offen ist, erleidet es in den Querschnitten durch den inneren Druck keine Beanspruchung.

Der vorige Ausdruck geht, wenn man den äusseren Rohrdruckmesser $D_0 = D + 2\delta$ einführt, in den folgenden über:

$$\frac{D_0}{D} = \sqrt{\frac{\mathfrak{S} + p}{\mathfrak{S} - p}} \dots \dots \dots (322)$$

Die Ausdrücke zeigen, dass man die innere Flüssigkeitsspannung p niemals über die als zulässig erachtete Materialspannung \mathfrak{S} hinaus gehen lassen darf. Setzt man \mathfrak{S} gleich dem Bruchmodul für Zug und macht dann $p \geq \mathfrak{S}$, so wird den beiden Formeln nach das Rohr gesprengt, wie gross man auch δ wählen möge.

Bei gegebenen Abmessungen und Pressungen hat man für die Spannung \mathfrak{S} in der Rohrwand:

$$\frac{\mathfrak{S}}{p} = \frac{D_0^2 + D^2}{D_0^2 - D^2} = \frac{1 + \psi^2}{1 - \psi^2} \dots \dots \dots (323)$$

wenn das Hohlungsverhältniss $D : D_0$ wieder wie früher in §. 90 mit ψ bezeichnet wird. Man erhält hieraus folgende Werthe:

ψ	=	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70
$\mathfrak{S} : p$	=	1,67	1,74	1,82	1,91	2,01	2,13	2,25	2,39	2,54	2,72	2,92
ψ	=	0,72	0,74	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84
$\mathfrak{S} : p$	=	3,15	3,42	3,73	3,91	4,11	4,32	4,56	4,81	5,11	5,43	5,79
ψ	=	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95
$\mathfrak{S} : p$	=	6,26	6,68	7,23	7,86	8,62	9,52	10,63	12,01	13,80	16,17	19,51

1. *Beispiel.* Die Rohrleitung vom Mont-Cenis-Tunnel aus dem vorigen Paragraphen hat $\delta = 10$, $D = 200$, also $D_0 = 220$, woraus $\psi = D : D_0 = 200 : 220 = 0,91$. Es folgt, da dort $p = \frac{5}{100}$ war, $\mathfrak{S} = 10,63 \cdot 0,05 = 0,53$ kg, oder unter 10 at Prüfungsdruck das Doppelte, d. i. 1,06 kg.

Wenn p klein ist, kann man für (321) mit genügender Annäherung setzen (vergl. auch I, S. 52):

$$\frac{\delta}{D} = \frac{1}{2} \frac{p}{\mathfrak{S}} \quad \text{und} \quad \frac{\mathfrak{S}}{p} = \frac{D}{2\delta} \quad \dots \quad (324)$$

2. *Beispiel.* Hiermit erhält man für das soeben behandelte Rohr $\mathfrak{S} = 0,5 p \cdot D : \delta = 0,5 \cdot 0,05 \cdot 200 : 10 = 0,5$ kg als Annäherungswerth.

3. *Beispiel.* Ein 100 mm weiter Rohrstrang für eine Hochdruckwasserleitung von 100 at innerer Pressung sei zu berechnen. Nehmen wir an, die Spannung \mathfrak{S} solle der vollen Sicherheit halber 2,25 kg nicht übersteigen, so hat man, da $p = 0,01 \cdot 100 = 1$ ist, $\mathfrak{S} : p = 2,25$. Dieser Werth führt in obiger Zahlenreihe zu $\psi = 0,62$; man erhält also $D_0 = D : 0,62 = 100 : 0,62 = 161,3 \sim 161$ mm. Angenommen, die innere Spannung im Rohr stiege in Folge von hydraulischen Masseneffekten auf 150 at, p also auf 1,5 kg, so hebt sich \mathfrak{S} auf $2,25 \cdot 1,5 = 3,38$ oder etwas darüber (wegen der Abrundung von 0,3 mm). Ein Rohrstrang auf dem Frankfurter Zentralbahnhof, für 100 at bestimmt, hat $D = 100$, $D_0 = 160$ mm.

4. *Beispiel.* Die 40 pf. Helfenberger'sche Wassersäulenmaschine in Hersbrugg bei Rheineck (vergl. S. 953) hat bei 400 m Gefälle ein gusseisernes Aufschlagrohr von 4500 m Länge und 120 mm Weite, dessen Wanddicke im unteren Drittel der Leitung 11 mm beträgt. Hier ist also $D_0 = 142$, $D = 120$, $p = 4$ und es ergibt sich aus (323) $\mathfrak{S} = 4 (142^2 + 120^2) : (142^2 - 120^2) = 4 \cdot (34\,564 : 5764) \sim 4 \cdot 6 = 24$ kg, eine für Gusseisenröhren unerhört hohe Spannung. Keines der Rohre ist zersprungen, obwohl bei Proben an der Maschine manchmal 50 at Spannung im Windkessel eintrat. Geliefert ist die Leitung von der Roll'schen Giesserei in Solothurn (vergl. Anmerk. auf S. 979).

5. *Beispiel.* Berechnet man für die nach unserer Formel (318) bestimmten Röhren die Materialspannungen unter der Voraussetzung, dass der innere Druck 10 at betrage, so erhält man bei:

D	=	80	160	400	800	1200
δ	=	9	11	13	18	23
ψ	=	0,85	0,88	0,92	0,96	0,98
$\frac{\mathfrak{S}}{p}$	=	6,21	7,86	12,01	24,51	49,51
\mathfrak{S}	=	0,6	0,8	1,2	2,5	5,0

Die berechneten Spannungen \mathfrak{S} finden, wie oben gesagt, in den Längsschnitten des Cylinders statt, wenn das Rohr an beiden Enden offen ist. Wenn aber das Rohr einen Boden hat, so finden auch Beanspruchungen in den quer zur Achse gerichteten

Schnitten statt und zwar im Verlauf des Rohres mit $\frac{1}{2} \text{ S}$, nahe beim Boden aber in um so höherem Grade, je plötzlicher der Richtungswechsel der Cylinderwand ist. Denn ist die Bodenansetzung scharf, so muss daselbst mindestens eine Spannung $= \sqrt{\text{S}^2 + (0,5 \text{ S})^2} = 1,12 \text{ S}$ eintreten. Derartige, mit einem Boden versehene Röhren sind gewöhnlich die Cylinder für hydraulische Pressen. Dieselben werden noch vielfach aus Gusseisen gefertigt und sind dann um so schwieriger herzustellen, je grösser die Wanddicke sein muss. Deshalb sucht man durch Annahme einer grossen Materialspannung die Wanddicke herabzuziehen, und verfährt ausserdem so sorgfältig wie möglich, um dem Gusseisen möglichst gute Beschaffenheit zu verleihen. Es hat sich bewährt, dass wiederholtes Umschmelzen der Massen und Ausgiessen derselben in Platten ein für Presscylinder sehr geeignetes Material liefert. Auch hat man mit gutem Erfolge die Zusetzung von Schmiedeeisen im Kupolofen („Stirling“-Metall) versucht. Je besser nun das Material gewählt, und je vorsichtiger der Guss ausgeführt wird, um so höher darf man die Spannung S wählen. Die Praxis geht mit dieser bis 7 und mitunter noch darüber hinaus; dies kann aber nur da gebilligt werden, wo man eines trefflichen Gusses sicher ist. Mit der Bronze steht es ähnlich. Der gewöhnliche gute Rothguss verträgt ohne bleibende Formänderung nicht Spannungen über 3 bis 3,5 kg. Verlangt man mehr so muss eine besonders harte, z. B. Mangan enthaltende Legirung benutzt werden. Einige praktische Beispiele werden als Anhalt dienen können.

6. *Beispiel.* Zur Hebung der Conway-Brücke*) benutzte man eine hydraulische Presse von folgenden Abmessungen. Kolbendurchmesser $K = 18''$ (engl.) oder 457 mm; Cylinderweite $D = 20''$ oder 508 mm, Wanddicke $\delta = 8\frac{3}{4}''$ oder 222 mm. Die Belastung betrug 650 Tonnen $\sim 660\,000$ kg. Hieraus berechnet sich die Wasserspannung zu 402 at, und nach (323) die Spannung S zu $\sim 7,2$ kg. Der Cylinder ist in Fig. 1045 (a. f. S.) dargestellt.

7. *Beispiel.* Bei der Aufstellung der Britannia-Brücke kamen Hebepressen von verschiedener Bauart zur Verwendung. Die eine war eine Doppelpresse, deren Cylinder dieselben Abmessungen hatten, wie der im vorigen Beispiel; die Belastung jedes einzelnen Kolbens betrug indessen nur 460,5 Tonnen oder $\sim 467\,900$ kg, womit sich die Wasserspannung zu nur 285 at, die Spannung im Material zu 5,1 kg berechnet.

*) Siehe Clark, The Britannia and Conway Tubular bridges. London, 1850.

8. Beispiel. *Unter den bei diesem riesigen Bauwerke angewandten Hebepressen erfuhr die stärkste Belastung, nämlich eine solche von 1144*

Fig. 1045.

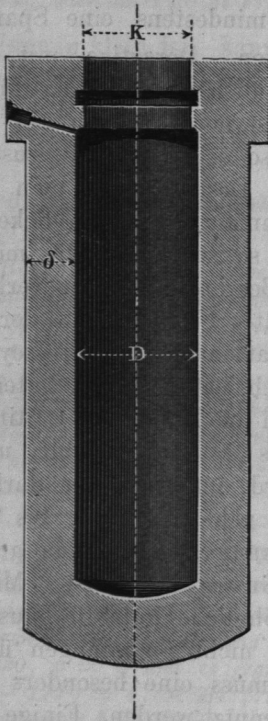
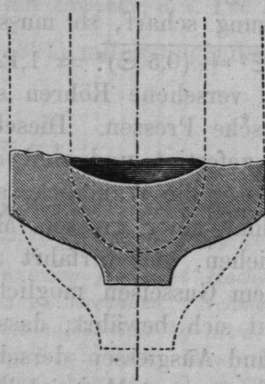


Fig. 1046.



Tonnen oder 1162 400 kg, eine einfache Presse von 20'' oder 508 mm Kolbendicke, 22'' oder 559 mm Cylinderweite und 10'' oder 254 mm Wanddicke. Hieraus berechnet sich die Wasserspannung zu 573 at, die im Material nach (323) zu 10 kg!! Als der Brückenträger 24' hoch gehoben war, platzte der Cylinder, wobei der Träger auf die untergebauten Sicherheitsstützen fiel, und stark beschädigt wurde. Der Bruch erfolgte aber nicht der Länge, der Quere nach, indem der

in Fig. 1046 dargestellte Boden des Cylinders absprang. Die Widerstandsfähigkeit, welche der Cylinder trotz der übermässigen Umfangsspannung bewiesen hatte, ist der ungemein sorgfältigen Auswahl und Mischung des verwendeten Gusseisens, und dem vorzüglich überwachten Gusse zuzuschreiben*). Dass gerade der Boden sich ablöste, rührte zweifellos von der scharfkantigen Ansetzung desselben her, indem sich der oben erwähnte Werth 1,12 S auf 11,2 kg stellt. Der neue Cylinder erhielt merkwürdigerweise dieselben Abmessungen wie der zersprungene, der Bodenansatz aber wurde mit sanfter Ueberführung der Linien hergestellt, wie in Fig. 1046 durch Punktirung angedeutet ist.

*) Der erste Guss, bei welchem der Boden zu oberst gegossen wurde, misslang, indem der Boden porös ausfiel; der zweite Guss, Boden unten, lieferte den besprochenen Cylinder, welcher beim Gebrauche zersprang; er zeigte einen ungleichkörnigen Bruch; der dritte Cylinder, zu welchem das Eisen zweimal umgeschmolzen wurde, ehe es zum eigentlichen Gusse genommen wurde, hielt aus; ein vierter, als Ersatzstück gegossener, blieb unbenutzt.

9. Beispiel. Eine ausgeführte hydraulische Presse für die Herstellung von Schmiegelscheiben*) zeigt folgende Grössen: $D = 720$, $D_0 = 1040$, $K = 700$, $P = 1200000$ kg, woraus sich $p = 3,118$, entsprechend ~ 312 at ergibt. Wir haben $\psi = 720 : 1040 = 0,69$ und erhalten damit $\mathcal{S} = 3,118 \cdot 2,82 \sim 8,8$ kg, was eine sehr starke Beanspruchung genannt werden muss.

Neuerdings wendet man gerne Gussstahl als Material der Presscylinder an, wobei man mit der Spannung \mathcal{S} gut bis 15 und 20 gehen kann. Indessen muss doch darauf hingewiesen werden, dass man auf andere Weise, als unter Anwendung hoher Spannungen den gusseisernen Presscylinder sparsam herzustellen vermag.

Zunächst kann man den angegossenen Boden mit seiner ganzen Gefährlichkeit wegschaffen, indem man z. B. nach der Weise von Hummel in Berlin den Boden als getrennte Platte dem ringförmig hergestellten Cylinder unterlegt, welcher sich mit einer einfachen Stulpdichtung anschliesst, Fig. 1047, oder

Fig. 1047.

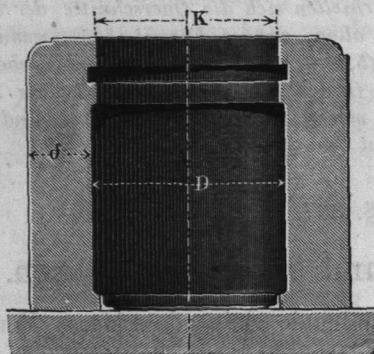
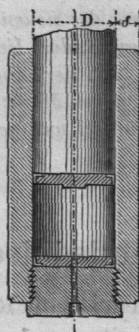


Fig. 1048.



auch nach dem Verfahren von Lorenz in Karlsruhe den Boden mit Gewinde einschraubt, Fig. 1048, ebenfalls unter Abdichtung mit Stulp, welchen der genannte Fabrikant auch beim Kolben als Dichtungsmittel anwendet.

Sodann aber braucht man nur den Kolbendurchmesser K so gross zu machen, dass die Wasserspannung auf ein erträgliches Mass herabgeht, um auch \mathcal{S} entsprechend kleiner zu erhalten. Dies geht um so mehr an, als der Materialverbrauch für den Cylinder bei wachsendem Kolbendurchmesser und damit abnehmender Wasserspannung nicht zunimmt, sondern im Gegentheil sich vermindert. Man hat nämlich für den Querschnitt F der Cy-

*) Revue industrielle 1875 (Mai) S. 175.

linderwand $F = \pi (D + \delta) \delta$. Hierin δ aus (321) einsetzend, erhält man $F = \frac{1}{4} \pi D^2 2p : (\mathfrak{S} - p)$ oder bei Einführung von K

$$F = \left(\frac{D}{K}\right)^2 \frac{2P}{\mathfrak{S} - p} \dots \dots \dots (325)$$

welcher Werth bei gewähltem \mathfrak{S} mit abnehmendem p nur kleiner wird.

10. *Beispiel.* Bei einer Hummel'schen hydraulischen Presse zur Herstellung papierener Walzenhüllen sind zwei zusammen arbeitende Presscylinder der in Fig. 1047 angegebenen Bauart neben einander aufgestellt. Kolbendurchmesser $K = 23''$ oder 601 mm, Cylinderweite $D = 24''$ oder 628 mm, Wanddicke $\delta = 8\frac{1}{2}''$ oder 222 mm. Kolbendruck $P = 1$ Million kg, Gesamtdruck also 2 Millionen kg. Die Wasserspannung ergibt sich hieraus zu 352 at und die Spannung im Material nach (323) zu 7,19 kg. — Auch hier ist gemäss dem älteren Vorurtheil p zu hoch, K zu klein gewählt. Erhöhte man K auf 26'' oder rund $\frac{9}{8}$ des angenommenen Werthes, so bekäme man für p den $(\frac{8}{9})^2$ oder 0,79fachen Werth, d. i. 2,78 kg. Behielte man nun das Verhältniss zwischen äusserem und innerem Durchmesser des Cylinders, also den Werth ψ , bei, so würde in demselben Verhältniss wie p auch \mathfrak{S} herabgehen, somit $= 0,79 \cdot 7,19 = 5,68$ werden, was als ganz unnehmbar erscheint. Dann aber verhielten sich die Querschnitte der beiden Presscylinder, des neuen und des alten, gemäss Formel (325), wenn man auch $D : K$ ungeändert liesse, wie $(5,68 - 2,78) : (7,19 - 3,52)$, d. i. ebenfalls wie 0,79 : 1. Bei der Abänderung in den Abmessungen, welche die Presse in so bedeutendem Masse sicherer macht, würde also der Presscylinder um ein volles Fünftel weniger Material beanspruchen als früher.

§. 337.

Schmiedeeiserne und stählerne Röhren.

Schmiedeeiserne Röhren finden in steigendem Masse Verwendung zu Leitungen sowohl für Leucht- und Brenngas, Wasser, Petroleum und Luft, als auch für Dampf. Sie werden bei ihrer Anfertigung entweder zwischen Walzen geschweisst oder in kaltem Zustande genietet. Das Schweissen geschieht mit stumpfem Stoss oder mit Ueberblattung, wobei die Nath parallel der Rohrachse liegt; ganz neuerdings fertigt man in Amerika Röhren mit schraubenförmig gelegter Schweissnath, und zwar überblatteter, an*). Nach dem Schweissen werden die geschweissten Röhren meist noch behufs Glättung der Aussenwand durch ein Zieheisen gezogen, weshalb sie auch gezogene Röhren genannt werden.

*) Vergl. Engineering and Mining Journal, Newyork, April 7 und 14, 1888, J. C. Bayles, Spirally welded tubing; ein Vortrag, gehalten im amerikanischen Institute der Bergingenieure in Boston, Februar 1888. Die Maschine zur Rollung und Schweissung s. Se. American 1888, Juni, S. 377.