

Geschw. des Wassers in Fußen	Wandstärke		wenn $L = L'$ ist:	
	Schmiedeeisen δ	Gufseisen δ	Schmie- deisen δ	Gufs- eisen δ
6	$\frac{1}{2}d \left\{ -1 + \sqrt{\left(1 + 0,0891 \frac{L}{L'}\right)} \right\}$	$\frac{1}{2}d \left\{ -1 + \sqrt{\left(1 + 0,2574 \frac{L}{L'}\right)} \right\}$	$0,0218d$	$0,0607d$
7	$\frac{1}{2}d \left\{ -1 + \sqrt{\left(1 + 0,1107 \frac{L}{L'}\right)} \right\}$	$\frac{1}{2}d \left\{ -1 + \sqrt{\left(1 + 0,3096 \frac{L}{L'}\right)} \right\}$	$0,0270d$	$0,0722d$
8	$\frac{1}{2}d \left\{ -1 + \sqrt{\left(1 + 0,1322 \frac{L}{L'}\right)} \right\}$	$\frac{1}{2}d \left\{ -1 + \sqrt{\left(1 + 0,3620 \frac{L}{L'}\right)} \right\}$	$0,0320d$	$0,0837d$
9	$\frac{1}{2}d \left\{ -1 + \sqrt{\left(1 + 0,1542 \frac{L}{L'}\right)} \right\}$	$\frac{1}{2}d \left\{ -1 + \sqrt{\left(1 + 0,4146 \frac{L}{L'}\right)} \right\}$	$0,0372d$	$0,0984d$
10	$\frac{1}{2}d \left\{ -1 + \sqrt{\left(1 + 0,1759 \frac{L}{L'}\right)} \right\}$	$\frac{1}{2}d \left\{ -1 + \sqrt{\left(1 + 0,4672 \frac{L}{L'}\right)} \right\}$	$0,0420d$	$0,1056d$

Z. B. In einem gusseisernen Leitungsrohr von 6 Zoll Durchmesser bewege sich das Wasser mit einer Geschwindigkeit von 3 Fuß in der Sekunde, das Rohr sei durch einen Schieber verschließbar, so daß das Wasser plötzlich zum Stillstand kommen kann; wenn das Wasser in Ruhe ist, so steht es unter dem Druck einer Wassersäule von 131,64 Fuß oder nach Tab. XXII. S. 344 von 4 Atmosphären. Wie groß muß die Wandstärke des Rohrs sein? — Die Formel aus der Tabelle XXIII. S. 351 liefert für den hydrostatischen Druck:

$$\delta = 0,00214 \cdot 6 \cdot 4 + \frac{1}{3} \text{ Zoll} = 0,3847 \text{ Zoll} = 4\frac{5}{8} \text{ Linien};$$

dagegen die Formel der vorstehenden Tabelle für den Stofs bei 3 Fuß Geschwindigkeit:

$$\delta = 0,0260 \cdot 6 \cdot 4 + \frac{1}{3} \text{ Zoll} = 0,4893 \text{ Zoll} = 5\frac{7}{8} \text{ Linien},$$

also eine, um $1\frac{1}{4}$ Linie größere Wandstärke, welche man in diesem Falle zu wählen hätte.

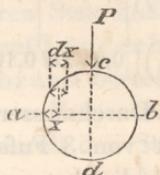
Die Einflüsse des Stofses auf die Röhrenleitungen, und die Berechnung derselben in dieser Beziehung sind bisher, so viel ich weiß, noch nicht in dieser Weise berücksichtigt worden. Es wird aber nach den obigen Entwicklungen nicht mehr auffallend erscheinen, daß Röhren, welche, mit sehr großer Sicherheit gegen Bruch, nach dem hydrostatischen Druck berechnet und ausgeführt worden sind, dennoch brachen, sobald man den Durchfluß des Wassers plötzlich hemmte.

Berechnung der Röhren auf äußeren Druck.

§ 129. Die Berechnung der Röhren auf äußern Druck (S. 342) kommt zwar viel seltener zur Anwendung, als die Berechnung auf

innern Druck, dennoch ist sie in vielen Fällen nicht zu entbehren. Röhren, welche luftleer erhalten werden, oder welche durch Flüssigkeiten führen, die unter einem stärkern Drucke stehen als das Innere der Röhre, z. B. die innern Feuerzüge der Dampfkessel, müssen so stark gemacht werden, daß sie von dem Druck der sie umgebenden Flüssigkeit nicht zerknickt werden. Dasselbe gilt von Röhren, durch welche Dampf geleitet wird, wenn vorauszusetzen ist, daß durch eine plötzliche Kondensation des Dampfes die Röhre luftleer werden kann.

Denken wir, es wirke in dem Punkte c auf die Röhre ein Druck P , in der Richtung des Durchmessers cd , so hat derselbe das Bestreben, 1) die Röhre in c durchzubiegen, indem sie bei a und b ausweicht, und 2) die Röhre in a und b , wie eine Stange, welche in a und b fest aufsteht, abzuknicken. Wir können uns also den Druck P als die Summe dreier Drucke denken, von denen der eine die Durchbiegung bei c , der zweite das Zerknicken bei a und der dritte das Zerknicken bei b bewirkt. Die letztgenannten beiden Drucke sind gleich groß. Ist



B das Biegungs-Moment des Röhren-Querschnitts,

E der Elastizitäts-Modulus,

$l = d$ die Länge, welche bei der Durchbiegung in Betracht kommt,

$l' = \frac{1}{2}d$ die Länge, welche beim Zerknicken in Betracht kommt,

so haben wir nach Formel 5) S. 220, wenn wir l wieder in Zollen nehmen mit Bezug auf S. 223, und nach S. 226:

$$P = \frac{144}{48000} \frac{BE}{\frac{1}{16}l^2} + 2 \cdot \frac{3BE}{l'^2},$$

$$= \frac{3BE}{d^2} (0,016 + 8).$$

Man sieht, daß der Druck, welcher auf Durchbiegung bei c wirkt, gegen den auf Zerknicken durchaus vernachlässigt werden kann, und wenn wir außerdem wie auf S. 226 der Sicherheit wegen nur $\frac{1}{3}$ der Widerstandsfähigkeit als zulässige Belastung gelten lassen, so folgt:

$$1) P = \frac{8BE}{d^2}.$$

Der Druck P ist aber der auf den Punkt c reducirte Druck, aus sämtlichen, mit cd parallel wirkenden Drucken der Flüssig-

keit auf die einzelnen Röhren-Elemente. Auf irgend ein Element des Quadranten ac ist nach S. 342 der Paralleldruck gleich $p \cdot l \cdot dx$, wenn p der Druck auf die Flächen-Einheit, $l \cdot dx$ die Projektion dieses Elementes ist, und nach der Regel auf S. 198 ist der auf den Punkt c reducirte Druck dieses Elementes $\frac{pl \cdot dx \cdot x}{\frac{1}{2}d}$. Integriert man und nimmt das Integral zwischen den Grenzen $x=0$, und $x=\frac{1}{2}d$, so ist der auf den Punkt c reduzierte Druck des Quadranten $ac = \frac{1}{4}pld$, und beider Quadranten ac und cb zusammen, also der Gesamtdruck:

$$2) P = \frac{1}{2}pld.$$

Nun ist aber für eine Röhrenlänge l das Biegungs-Moment $B = \frac{1}{12}l\delta^3$ und es ergibt sich durch Einführung dieses Werthes in die Gleichung 1) und, wenn man 1 und 2 gleichsetzt:

$$\delta = d\sqrt[3]{\frac{3p}{4E}},$$

oder, wenn man nach S. 345 $p = 15,08n$ setzt:

$$\delta = d\sqrt[3]{\frac{11,31n}{E}},$$

worin δ die Wandstärke der Röhre,

d den lichten Durchmesser derselben,

E den Elastizitäts-Modulus des Materials,

(Alles auf dieselbe Einheit bezogen)

n die Anzahl der Atmosphären, um welche die Röhre von Außen nach Innen stärker gedrückt wird, als von Innen nach Außen,

bezeichnet.

Die hinzuzufügenden konstanten Werthe pflegt man für Röhren mit äußerem Druck nur halb so groß zu nehmen, als für Röhren mit innerem Druck (S. 341); bezeichnet man dieselben mit c , so folgt, indem man für E die Werthe der Tab. XI. S. 192 einsetzt:

für Röhren von Schmiedeeisen $\delta = 0,00731 d\sqrt[3]{n+c}$,

„ „ „ Gufseisen . . $\delta = 0,00846 d\sqrt[3]{n+c}$,

„ „ „ Messing . . . $\delta = 0,01060 d\sqrt[3]{n+c}$,

„ „ „ Kupfer . . . $\delta = 0,00891 d\sqrt[3]{n+c}$,

„ „ „ Blei $\delta = 0,02490 d\sqrt[3]{n+c}$.

Die Werthe von c betragen:

für Röhren von Schmiedeeisen	$c = \frac{1}{18}$ Zoll	oder	$= 0,15$ Centim.
„ „ „ Gußeisen . . .	$= \frac{1}{6}$ „	„	0,44 „
„ „ „ Messing . . .	$= \frac{1}{14}$ „	„	0,19 „
„ „ „ Kupfer . . .	$= \frac{1}{12}$ „	„	0,22 „
„ „ „ Blei	$= \frac{1}{10}$ „	„	0,26 „

Das preussische „Regulativ, die Anlage von Dampfkesseln betreffend, vom 6. September 1848“, giebt ziemlich übereinstimmend mit unserer Rechnung für die durch den Dampfkessel gehenden cylindrischen Feuer- oder Rauchröhren, welche den Druck der Dämpfe auf ihrer äussern Oberfläche zu erleiden haben,

a) wenn dieselben aus gewalztem oder gehämmertem Eisenblech bestehen:

$$\delta = 0,0067 d \sqrt[3]{n} + 0,05 \text{ Zoll};$$

b) für cylindrische Feuerröhren aus Messingblech;

$$\delta = 0,01 d \sqrt[3]{n} + 0,07 \text{ Zoll}.$$

Derartige Röhren von Messingblech sind nach dem Regulativ überhaupt nur bis zu einem Durchmesser von 4 Zoll gestattet; gußeiserne Röhren mit äusserem Druck bei Dampfkesseln aber verboten.

2) Befestigungs-Konstruktionen für Röhren.

Allgemeines.

§ 125. Die Konstruktion, welche man zur Befestigung der Röhrenenden aneinander zu wählen hat, ist wesentlich bedingt durch das Material, aus welchem die Röhre besteht, und durch den Zweck, zu welchem sie bestimmt ist. Im Allgemeinen kommt es bei diesen Befestigungen darauf an, dass sie möglichst einfach und leicht herzustellen seien, da sie oft in einem sehr beschränkten Raume (z. B. beim Legen der Wasserleitungsrohre in einer Grube) ausgeführt werden müssen, dass ferner durch die Befestigung die Bohrung der Röhre nicht verengt werde, dass die Befestigungsstellen dicht halten, und wenigstens dieselbe Festigkeit darbieten wie die Röhre selbst; in vielen Fällen kommt es endlich auch darauf an, dass die Befestigung sich wieder ohne Schwierigkeit lösen lasse. Diesen Bedingungen treten oft noch andere hinzu, z. B. dass die Befestigungsstelle in höherem oder geringerem Grade biegsam sei, dass das Röhrensystem (der Röhrenstrang) seiner ganzen Länge nach den Veränderungen folgen könne, welche durch den Wechsel der Temperatur bedingt werden etc. Man sieht leicht, dass, je nachdem eine oder die andere dieser Bedingungen