der rechten Seite das Glied $1{,}6\,d$ vernachlässigt, hiermit einen Annäherungswerth für d erhält, nämlich

15) $$d = \sqrt[5]{\frac{16\,Q^2\lambda\,l}{\pi^2\,2\,g\,h}},$$

oder für $\lambda = 0{,}03$

16) $$d = 0{,}3\sqrt[5]{\frac{Q^2 l}{h}},$$

und diesen auf der rechten Seite der Gl. 14 einführt.

Setzt man für eine Leitung, die mit Sicherheit für längere Zeit, d. h. auch nachdem sich Niederschläge in der Röhre festgesetzt haben, die Wassermenge Q liefern soll, in Gl. 15 den Werth $\lambda = 0{,}04$ und vertauscht wegen der Verengung des Querschnittes Q mit $^5/_4 Q$, so erhält man

17) $$\boldsymbol{d = 0{,}35\sqrt[5]{\frac{Q^2 l}{h}}}.$$

Beispiel: Eine Röhre soll $Q = 0{,}01$ cbm/s. liefern bei einer Länge $l = 100$ m und einer verfügbaren Druckhöhe $h = 2$ m. Dann ist vorläufig nach Gl. 16:

$$d = 0{,}3\sqrt[5]{\frac{0{,}01^2 \cdot 100}{2}} = 0{,}104 \text{ m}.$$

Hiermit wird aus Gl. 14

$$d^5 = \frac{16 \cdot 0{,}01^2}{\pi^2 \cdot 2g \cdot 2}(1{,}6 \cdot 0{,}104 + 0{,}03 \cdot 100)$$

und $d = 0{,}105$ m, d. h. nur wenig mehr als der vorläufige Werth. Wählt man unter Vernachlässigung von $1{,}6\,d$ die Gl. 17, so erhält man

$$d = 0{,}35\sqrt[5]{\frac{0{,}01^2 \cdot 100}{2}} = 0{,}121 \text{ m}.$$

Für die meisten Fälle der Anwendung wird diese Gl. 17 zu wählen sein.

b) Benutzung der Druckmesser (Piëzometer).

Bringt man an den Stellen A und B (Fig. 302) eines Leitungsrohres lothrechte Wasserröhren an, so wird in diesen das Wasser bis zu einer Höhe x_1 bezw. x_2 sich erheben und in dieser, dem hydraulischen Druck an den Stellen A und B entsprechenden Höhe in Ruhe verbleiben. Bezeichnet $\mathfrak{p}_1$ den hydraulichen Druck bei A, so ist $\mathfrak{p}_1 = \gamma x_1$. Nach Gl. 3, S. 260 ist dann für die Stelle A welche um y_1 unter dem Oberwasser liegt,

$$x_1 = \left(\frac{p_0}{\gamma} + y_1\right) - \left(\frac{w^2}{2g} - \frac{w_0{}^2}{2g}\right) - z_1,$$

wenn w die Geschwindigkeit in der Röhre und z_1 die Summe der Widerstandshöhen zwischen dem Oberwasser und der Stelle A. Ebenso gilt dann für die Stelle B

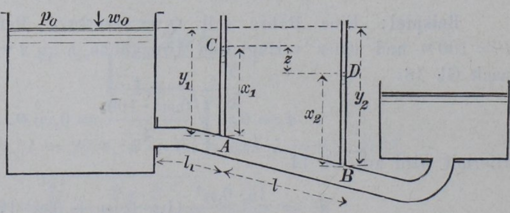
$$x_2 = \left(\frac{p_0}{\gamma} + y_2\right) - \left(\frac{w^2}{2g} - \frac{w_0{}^2}{2g}\right) - z_2.$$

Zieht man von dieser Gleichung die vorige ab, so entsteht:

$$x_2 - x_1 = y_2 - y_1 - (z_2 - z_1) \quad \text{oder}$$
$$(y_2 - x_2) - (y_1 - x_1) = (z_2 - z_1).$$

Nun ist $(y_2 - x_2)$ die Tiefe des Druckwasserstandes D, $(y_1 - x_1)$ diejenige des Druckwasserstandes C unter dem Oberwasser. Der Unterschied beider ist also der unmittelbare Höhenunterschied z der Druckmesser-Wasserspiegel C und D; und nach letzterer Gleichung ist diese Höhe $z = z_2 - z_1$. Es bedeutet aber $z_2 - z_1$ die auf die Strecke $AB = l$ entfallende Widerstandshöhe, mithin wird die zwischen zwei Stellen A und B einer Röhrenleitung auftretende Widerstandshöhe unmittelbar gemessen durch den Höhenunterschied der Wasserspiegel zweier in A und B angebrachten Druckmesser oder Piëzometer. (Letzterer Name kommt von dem griechischen Worte $\pi\iota\acute{\varepsilon}\zeta\omega$ = drücken.) Für den Fall der Figur 302 würde

Fig. 302.



$$z = \lambda \frac{l}{d} \frac{w^2}{2g},$$

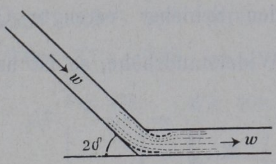
wenn l die Entfernung der beiden Stellen A und B von einander bezeichnet.

Solche Druckmesser sind benutzt worden zur Ermittelung der Ziffer λ; ebenso aber auch zur Messung anderer Widerstandshöhen, die durch Richtungsänderungen, Abstellvorrichtungen (Schieber, Hähne, Ventile) u. dgl. verursacht werden.

c) Widerstand von Knieröhren und gekrümmten Röhren.

Erfährt eine Röhre einen scharfen Knick um einen Winkel $2\,\delta$ (Fig. 303), wie solches bei Holzröhren vorkommt, so kann das Wasser dieser plötzlichen Richtungsänderung nicht folgen; vielmehr wird unmittelbar nach dem Knick eine Einschnürung und Wiederausbreitung vorkommen, was nach S. 247 einen Stossverlust erzeugt. Versuche, welche Weisbach darüber angestellt hat, sind durch die Formel

Fig. 303.



1) $$\zeta_2 = 0{,}9457 \sin^2\delta + 2{,}047 \sin^4\delta$$

zum Ausdrucke gebracht, wenn die Widerstandshöhe $\zeta_2 \dfrac{w^2}{2\,g}$ bedeutet.

$\delta = 10^0$ giebt $\zeta_2 = 0{,}046$,
„ $= 20^0$ „ „ $= 0{,}139$,
„ $= 30^0$ „ „ $= 0{,}364$,
„ $= 40^0$ „ „ $= 0{,}740$,
„ $= 45^0$ „ „ $= 0{,}984$.

Für Kropfröhren (Krümmer), deren Mittellinie nach einem Viertelkreise vom Halbmesser ϱ geformt ist, gilt mit derselben Bedeutung

2) $$\zeta_2 = 0{,}131 + 1{,}847 \left(\frac{{}^1\!/_2\, d}{\varrho}\right)^{3,5}.$$

Für $\dfrac{{}^1\!/_2\, d}{\varrho}$	$= 0{,}2$	$0{,}3$	$0{,}4$	$0{,}5$	$0{,}6$
wird ζ_2	$= 0{,}138$	$0{,}158$	$0{,}206$	$0{,}294$	$0{,}440$.

Entspricht die Krümmung nicht einem Viertelkreise, sondern einem Mittelpunktswinkel von δ Graden, so setzt man die Widerstandshöhe

3) $$z = \zeta_2 \frac{\delta}{90} \frac{w^2}{2\,g}.$$