



Das Feldmessen

Schewior, Georg

Leipzig, 1917

1. Durchflußmengen in kurzen Leitungen

[urn:nbn:de:hbz:466:1-97252](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-97252)

für die Vorflutgewinnung bei Röhrenentwässerungen in dessen Schrift: „Die Drainage“*) (S. 80 usw.) mitgeteilt.

IV. Wassermengen in Rohrleitungen.

Die Wasserführung in offenen Gerinnen mäßigen Umfanges, vornehmlich also in Gräben, erleidet nicht selten eine Aenderung dadurch, daß sie bei Kreuzungen mit Wegeanlagen oder mit anderen Wasserzügen in einen geschlossenen Schlauch, in Rohrleitungen, verlegt werden muß. Diese als Rohrdurchlässe oder als Unterleitungen auf dem Gebiete des Wege- und Grabenbaues**), dann in großem Maße in der Kulturtechnik**) bekannten Bauwerke kommen meist in geringer Länge vor und werden in ihrem wasserführenden Querschnitt, der „Lichtweite“, für die den jeweiligen Umständen entsprechenden größten abzuführenden Wassermengen eingerichtet. Wasserführungen dieser Art von erheblicher Länge, in der Regel mit weitverzweigtem Rohrnetz, bilden die Leitungen für Städtekanalisationen**), für Wasserversorgungen**) und für solche Bodenverbesserungen**), wo als besondere Aufgabe die Abführung des schädlichen Bodenwassers mit Hilfe der Röhrenentwässerung zu lösen ist. Lange einfache Leitungen, als Druckrohrleitungen, sind außerdem bei Wasserkraftanlagen**) anzutreffen, sofern die Zuführung der Wassermengen in offenen Gerinnen den Verhältnissen nicht entspricht.

1. Durchflußmengen in kurzen Leitungen.

Die Berechnung der Durchflußmenge erfolgt gemäß Seite 233 nach der dort verzeichneten allgemeinen gültigen Formel

$$Q = F \cdot v,$$

wobei die Geschwindigkeit in der Regel nach Erfahrungssätzen von Weisbach oder Darcy entwickelt wird.

In der übereinstimmenden Gleichung

$$v = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot h}}{\sqrt{1 + e + k \frac{L}{d}}}$$

bezeichnet:

v, wie bekannt, die sekundliche Geschwindigkeit des Wassers in m;

g die Beschleunigung durch die Schwerkraft (= 9,81);

h die Druckhöhe in m, die in der Leitung verbraucht wird. Sie ist gleich dem Höhenunterschiede zwischen Oberwasserspiegel und Mitte der Ausflußöffnung, wenn das Wasser frei austritt; im übrigen bestimmt sie sich — dies ist meist die Regel — aus dem Höhenunterschiede zwischen Ober- und Unterwasserspiegel unter der Voraussetzung, daß der Ausfluß unter Wasser erfolgt, d. h. daß die Leitung voll läuft;

*) Die Drainage. Handbuch der Bodenentwässerung mittels unterirdischer Abzüge. Leipzig 1912, Verlag von Bernh. Friedr. Voigt.

**) Die entsprechenden Bände des Handbuchs des Bauingenieurs siehe Seite 228.

e einen Widerstandswert beim Einlauf des Wassers in das Bauwerk, unter gewöhnlichen Verhältnissen = 0,505;

k den Reibungswiderstand in der Leitung;

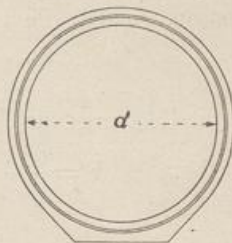
L die Länge des Bauwerkes in m;

d den inneren Durchmesser der Rohrleitung bei kreisrundem Querschnitte (Abbil. 317), in m.

Der Reibungswiderstand k wird von Weisbach und Darcy abweichend angegeben, jedoch ist das Ergebnis nur wenig verschieden.

a) Nach **Weisbach** ist k abhängig von der Geschwindigkeit des Wassers in der Leitung selbst und ist der nachstehenden Zahlentafel 6 zu entnehmen.

Abbildung 317.



Zahlentafel 6.

Werte für den Reibungswiderstand k nach Weisbach.

Ge- schwin- digkeit v =		Zehntel-Meter									
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Ganze Meter	0	—	0,0443	0,0356	0,0317	0,0294	0,0278	0,0266	0,0257	0,0250	0,0244
	1,0	0,0239	0,0234	0,0230	0,0227	0,0224	0,0221	0,0219	0,0217	0,0215	0,0213
	2,0	0,0211	0,0209	0,0208	0,0206	0,0205	0,0204	0,0203	0,0202	0,0201	0,0200
	3,0	0,0199	0,0198	0,0197	0,0196	0,0195	0,0195	0,0194	0,0193	0,0193	0,0192
	4,0	0,0191	0,0191	0,0190	0,0190	0,0189	0,0189	0,0188	0,0188	0,0187	0,0187

b) **Darcy** macht die Größe für k von dem Rohrdurchmesser d abhängig und setzt:

$$k = 0,01989 + \frac{0,0005078}{d}.$$

Beispiel. Die Wassermenge ist zu bestimmen, die durch eine 10,0 m lange volllaufende Rohrleitung von $d = 0,5$ m Durchmesser abfließt, wenn eine Druckhöhe $h = 0,3$ m vorhanden ist.

Lösung nach Weisbach. Bei $Q = F \cdot v$ ist

$$F = \frac{d^2 \pi^*)}{4} = \frac{0,5^2 \cdot 3,14}{4} = 0,1964 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot h}}{\sqrt{1 + e + k \frac{L}{d}}} = \frac{\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,3}}{\sqrt{1 + 0,505 + k \frac{10}{0,5}}}$$

Da k von der in der Rohrleitung sich entwickelnden Wassergeschwindigkeit abhängt, ist die Auflösung der Gleichung für v nur durch Versuchsrechnung zu erreichen. Wird aus der Zahlentafel 6 schon genähert $k = 0,0217$ entsprechend einer vorläufig gerechneten Durchflußgeschwindigkeit von 1,7 m angenommen, so ergibt sich:

*) $\pi = 3,14$.

Schewior, Feldmessen II.

$$v = \frac{2,426}{\sqrt{1,505 + 0,0217 \cdot 20}} = 1,74 \text{ m.}$$

Ein weiteres k für $v = 1,74 \text{ m}$ wird die Geschwindigkeit v kaum beeinflussen, so daß die Durchflußmenge endgültig berechnet werden kann zu

$$Q = F \cdot v = 0,1964 \cdot 1,74 \\ = 0,342 \text{ cbm.}$$

Lösung nach Darcy. Für $Q = F \cdot v$ ist wieder

$$F = \frac{d^2 \pi}{4} = \frac{0,5^2 \cdot 3,14}{4} = 0,1964 \text{ qm und}$$

$$v = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot h}}{\sqrt{1 + e + k \cdot \frac{L}{d}}} = \frac{\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,3}}{\sqrt{1 + 0,505 + 0,02091 \cdot \frac{10}{0,5}}} \\ = 1,75 \text{ m,}$$

wobei der Reibungswiderstand zu

$$k = 0,01989 + \frac{0,0005078}{d} = 0,01989 + \frac{0,0005078}{0,5} \\ = 0,02091$$

eingesetzt ist.

Hiernach ergibt sich

$$Q = F \cdot v = 0,1964 \cdot 1,75 \\ = 0,344 \text{ cbm,}$$

d. h. ein Betrag, der gegen den vorherigen nach Weisbach $Q = 0,342 \text{ cbm}$ nur wenig abweicht.

Für kurze Leitungen mit anderem als kreisförmigem Querschnitte kann die Wassergeschwindigkeit ebenfalls nach

$$v = \frac{\sqrt{2 g h}}{\sqrt{1 + e + k \frac{L}{D}}}$$

Abbildung 318.

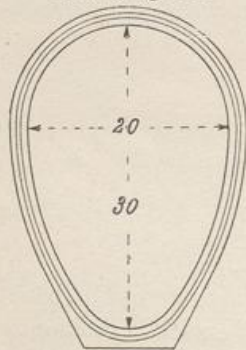


Abbildung 319.

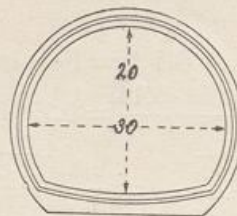
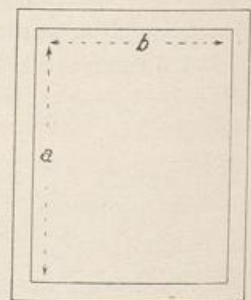


Abbildung 320.



bestimmt werden. Hierbei ist D ein mittlerer Durchmesser, der auch für k nach Darcy maßgebend ist und nach

$$D = \frac{4 F}{U}$$

berechnet wird; F in qm ist der Flächeninhalt, U in m der Umfang des ganzen wasserführenden Querschnittes.

Derartige Leitungen werden zuweilen für Durchlässe angeordnet und zeigen einen „eiförmigen“ (Abbil. 318) oder „gedrückten“ (Abbil. 319) Durchflußquerschnitt. Bei der rechteckigen Form nach Abbil. 320, z. B. bei Plattendurchlässen, Kastenschleusen und Unterleitungen, gilt ebenfalls $D = \frac{4F}{U}$, womit nach Abbil. 320

$$D = \frac{2ab}{a+b}$$

leicht erhalten wird.

Für die üblichen Lichtweiten der angegebenen Rohrquerschnitte läßt sich aus der nachstehenden Zahlentafel 7 der Reibungswiderstand k nach Darcy entnehmen.

Zahlentafel 7.

Werte für D und F , dann für k nach Darcy.

Runde Röhren			Eiförmige Röhren				Gedrückte Röhren *)			
Durchmesser d	Querschnittsfläche F	k nach Darcy	Lichte Weite L. W.	Mittlerer Durchmesser $D = \frac{4F}{U}$	Querschnittsfläche F	k nach Darcy	Lichte Weite L. W.	Mittlerer Durchmesser $D = \frac{4F}{U}$	Querschnittsfläche F	k nach Darcy
m	qm		cm	m	qm		cm	m	qm	
0,075	0,0044	0,02666	20/30	0,23	0,0459	0,02210	20/30	0,23	0,0480	0,02210
0,10	0,0079	0,02497	25/37,5	0,29	0,0718	0,02164	25/40	0,30	0,0820	0,02158
0,12	0,0113	0,02412	30/45	0,35	0,1034	0,02134	40/50	0,45	0,1650	0,02102
0,15	0,0177	0,02328	35/52,5	0,41	0,1407	0,02113	45/60	0,50	0,2180	0,02091
0,175	0,0241	0,02279	40/60	0,46	0,1838	0,02099	60/70	0,65	0,3598	0,02067
0,20	0,0314	0,02243	45/67,5	0,52	0,2226	0,02087	80/100	0,89	0,6552	0,02046
0,225	0,0398	0,02215	50/75	0,58	0,2871	0,02077	100/120	1,11	0,9882	0,02035
0,25	0,0491	0,02192	60/90	0,70	0,4135	0,02062	.	.	.	.
0,30	0,0707	0,02158	66,7/100	0,77	0,5094	0,02055	.	.	.	.
0,35	0,0962	0,02134	70/105	0,81	0,5628	0,02052	.	.	.	.
0,40	0,1257	0,02116	80/120	0,93	0,7351	0,02044	.	.	.	.
0,45	0,1590	0,02102	93,3/140	1,08	0,9978	0,02036	.	.	.	.
0,5	0,1964	0,02091	100/150	1,16	1,1485	0,02033	.	.	.	.
0,6	0,2827	0,02074	.	.	.	.	.	.	.	.
0,7	0,3848	0,02062	.	.	.	.	.	.	.	.
0,8	0,5027	0,02052	.	.	.	.	.	.	.	.
0,9	0,6362	0,02045	.	.	.	.	.	.	.	.
1,0	0,7854	0,02040	.	.	.	.	.	.	.	.
1,1	0,9503	0,02035	.	.	.	.	.	.	.	.
1,2	1,1310	0,02031	.	.	.	.	.	.	.	.
1,3	1,3273	0,02028	.	.	.	.	.	.	.	.
1,4	1,5394	0,02025	.	.	.	.	.	.	.	.
1,5	1,7672	0,02023	.	.	.	.	.	.	.	.

*) Die Abmessungen entsprechen einem Preisverzeichnisse des Zementwarenerks Liebold u. Comp. in Holzminden.

Beispiel. Ein gemauerter Plattendurchlaß von $L = 10$ m Länge mit dem rechteckigen Querschnitte $1,0/1,2$ m hat mit einem Ueberdrucke $h = 0,3$ m eine Hochwassermenge schadlos abgeführt. Wie groß war die Wassermenge Q ?

Lösung. Es wird zunächst der mittlere Durchmesser

$$D = \frac{4F}{U} = \frac{4(1,0 \cdot 1,2)}{1,0 + 1,2 + 1,0 + 1,2} = \frac{4,8}{4,4} = 1,09 \text{ m}$$

berechnet. Dem $D = 1,09$ entspricht ein

$$k = 0,01989 + \frac{0,0005078}{1,09} = 0,02035.$$

Es ist sodann:

$$v = \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{1 + e + k \cdot \frac{L}{D}}} = \frac{\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,3}}{\sqrt{1 + 0,505 + 0,02035 \cdot \frac{10,0}{1,09}}} = 1,86 \text{ m.}$$

$$\text{Demnach ist } Q = F \cdot v = 1,86 \cdot 1,2 = 2,232 \text{ cbm.}$$

Um für eine gegebene Wassermenge Q die Rohrweite zu finden, eine Aufgabe, die sich sehr oft wiederholt, wird für runde Röhren die Gleichung (S. 273):

$$Q = F \cdot v = \frac{d^2 \pi}{4} \cdot \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{1 + e + k \cdot \frac{L}{d}}}$$

durch Umstellung in die Form

$$d = 0,6073 \sqrt[5]{[(1 + e)d + k \cdot L] \cdot \frac{Q^2}{h}}$$

gebracht, wo auf der rechten Seite d und k versuchsweise eingesetzt wird. Mit Hilfe des Reibungswiderstandes von Darcy gelangt man hier schneller zum Ziele als bei Anwendung von k nach Weisbach.

Beispiel. Unter einem Straßendamme wird infolge Anlage eines neuen Entwässerungsgrabens der Bau eines Röhrendurchlasses von 28 m Länge notwendig. Der Graben soll ein Gefälle von $J = 3,5$ ‰ erhalten und eine größte Wassermenge von 1,00 cbm in der Sekunde abführen. Im Oberwasser kann ohne Schädigung des angrenzenden Geländes ein Aufstau von 0,7 m eintreten. Es ist der Rohrdurchmesser d zu ermitteln und die Wassergeschwindigkeit, die sich in der Leitung wahrscheinlich entwickeln wird.

Lösung. Zur Ermittlung der Druckhöhe h sei darauf hingewiesen, daß sie gemäß Seite 272 den Höhenunterschied zwischen Oberwasser- und Unterwasserspiegel darstellt. Da das Bauwerk gewöhnlich im Gefälle des Wasserlaufes liegt, ist neben der Größe des Aufstaus im Oberwasser auch der Höhenunterschied des ungestauten Wasserspiegels vor und hinter dem Bauwerke zu beachten, der im vorliegenden Falle $0,0035 \cdot 28 = 0,098 = 0,1$ m beträgt. Die Druckhöhe würde sich hier demnach zusammensetzen aus dem zulässigen Aufstau im Oberwasser von 0,70 m und dem eben berechneten Höhenunterschiede, so daß $h = 0,7 + 0,1 = 0,8$ m ist. Würde der Durchlaß wagerecht verlegt und

damit das Gefälle des Grabens $J = 3,5 \text{ ‰}$ auf die Länge von $L = 28 \text{ m}$ unterbrochen, so wäre die Druckhöhe $h =$ dem im Oberwasser zulässigen Aufstau, hier also $0,7 \text{ m}$.

Die Rohrweite soll entsprechend der Aufgabe für die Druckhöhe $h = 0,8 \text{ m}$ ermittelt werden. Nach Seite 276 ist:

$$d = 0,6073 \sqrt[5]{[(1+e) \cdot d + k \cdot L] \cdot \frac{Q^2}{h}}$$

In der rechten Seite müssen d und k versuchsweise eingesetzt und nach dem Ergebnisse verbessert werden, wobei k nach Darcy aus Zahlentafel 7 gewählt wird. Nimmt man an, der Durchmesser d wäre genähert zu $0,7 \text{ m}$ gefunden, so ist $k = 0,02062$ und endgültig:

$$d = 0,6073 \sqrt[5]{[1,505 \cdot 0,7 + 0,02062 \cdot 28] \frac{1,0^2}{0,8}} \\ = 0,7 \text{ m.}$$

Die Wassergeschwindigkeit wird in einfachster Weise gefunden nach:

$$v = \frac{Q}{F} = \frac{4 \cdot Q}{d^2 \pi} = \frac{4 \cdot 1,0}{0,49 \cdot 3,14} \\ = 2,60 \text{ m}$$

und gleichzeitig zur Sicherung der vorangegangenen Rechnung zu:

$$v = \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{1+e+k \cdot \frac{L}{d}}} = \frac{\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,8}}{\sqrt{1+0,505+0,02062 \cdot \frac{28}{0,7}}} \\ = 2,60 \text{ m.}$$

Die beiden nachstehenden Beispiele mögen die Anwendung der Formeln noch weiter erläutern.

Beispiel 1. Ein Bewässerungsgraben soll unter einem Bache durch eine Unterleitung (Düker) von 18 m Länge weitergeleitet werden. Der Höhenunterschied des Wasserstandes im Ober- und Untergraben ist zu ermitteln, wenn die sekundliche Wassermenge im Zuleiter $Q = 0,340 \text{ cbm}$ beträgt und der in eiförmigen Röhren auszubauende Düker eine lichte Weite von $40/60 \text{ cm}$ (s. Zahlentafel 7) erhält.

Lösung. Nach Zahlentafel 7 (S. 275) beträgt die Querschnittsfläche des eiförmigen Rohres $F = 0,1838 \text{ qm}$. Bei $Q = 0,340 \text{ cbm}$ ist demnach

$$v = \frac{Q}{F} = \frac{0,340}{0,1838} = 1,85 \text{ m.}$$

Nun ist gemäß Seite 274

$$h = \frac{v^2}{2g} \left(1 + e + k \frac{L}{D} \right).$$

Setzt man nach Zahlentafel 7 den mittleren Durchmesser $D = 0,46 \text{ m}$ und das entsprechende $k = 0,02099$, ferner die anderen Werte in die Formel ein, so erhält man:

$$h = \frac{1,85^2}{19,62} \left(1 + 0,505 + 0,02099 \cdot \frac{18}{0,46} \right) \\ = 0,40 \text{ m.}$$

Beispiel 2. Aus einer Brunnenstube*) soll unter einer Straße das Abwasser einer Entwässerungsanlage durch eine Rohrleitung (glasierte Tonröhren) von 40 m Länge zu einem Vorflutgraben geführt werden. Bedingt durch verschiedene örtliche Verhältnisse ist die Leitung wagerecht einzubauen. Aus gleicher Rücksicht darf sich in der Brunnenstube ein Aufstau von höchstens 0,10 m bilden, hingegen fällt das Wasser in den Vorfluter frei herab. Wie groß ist der Durchmesser der Röhren zu wählen, wenn die nach der Brunnenstube zu entwässernde Fläche 115 ha beträgt und eine sekundliche Abflußmenge von 0,65 Liter (l) von 1 ha Fläche angenommen wird?

Lösung. Die aus der Brunnenstube sekundlich abzuführende Wassermenge beträgt $115 \cdot 0,65 = 75 \text{ l} = 0,075 \text{ cbm}$. Unter Annahme eines Näherungswertes für den Röhrendurchmesser von $d = 0,20 \text{ m}$ berechnet sich, da das Wasser frei in den Vorfluter hinabstürzt, die Druckhöhe aus 0,1 m (Hälfte des Rohrdurchmessers, s. S. 272) und 0,1 m (erlaubter Aufstau in der Brunnenstube) zu $0,1 + 0,1 = 0,2 \text{ m}$.

Die Versuchsrechnung mit $d = 0,2 \text{ m}$ und $h = 0,2 \text{ m}$ ergab für $Q = F \cdot v$, wobei v nach
$$v = \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{1 + e + k \frac{L}{d}}}$$
 ermittelt worden ist, eine kleinere Wassermenge

als 0,075 cbm. Wird weiter der Durchmesser $d = 0,3 \text{ m}$ und sonach $h = 0,15 + 0,1 = 0,25 \text{ m}$ angenommen, so ergibt sich eine Geschwindigkeit von $v = 1,06 \text{ m}$, die mit $F = \frac{d^2 \pi}{4} = 0,0707 \text{ qm}$ (s. a. Zahlentafel 7) multipliziert genau die abzuführende Wassermenge $Q = 0,075 \text{ cbm}$ bewältigt.

Die Geschwindigkeit selbst wurde berechnet nach:

$$v = \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{1 + e + k \frac{L}{d}}} = \frac{\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,25}}{\sqrt{1 + 0,505 + 0,02158 \cdot \frac{40}{0,3}}} = 1,06 \text{ m}.$$

Die einfachste Lösung der vorstehenden und ähnlicher Aufgaben ermöglicht die Benutzung von Schaubildern, in denen die in Frage kommenden Größen durch Linien zur Darstellung gebracht werden. Eine Tafel dieser Art enthalten die auf Seite 261 genannten Hilfstafeln des Verfassers für runde, eiförmige und gedrückte Röhren in den üblichen Abmessungen für die Längen L von 1 bis 50 m, für Druckhöhen h von 0,1 bis 2,0 m und Wassermengen $Q = 0,002$ bis 3,5 cbm; hierbei ist der Widerstand k nach Darcy gewählt. Für k nach Weisbach sind die „Kurve tafeln zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit unter Druck liegender Bauwerke in Entwässerungs- und Bewässerungsgräben“ von F. Hürten, Verlag Paul Parey-Berlin 1897, aufgestellt.

*) Siehe: Die Bodenmelioration, II. Teil, Seite 67; Bd. IX im „Handbuche des Bauingenieurs“.