Die Hydraulik und die hydraulischen Motoren

Meissner, Georg

Jena, 1878-1880

V. Erweiterte Darstellung und practische Anwendung der hydraulischen Verhältnisse.

V.

Erweiterte Darstellung

und

practische Anwendung der hydraulischen Verhältnisse.

Anleitung

zur practischen Anwendung der hydraulischen Verhältnisse durch Beispiele.

---

§ 176.

Bestimmung des Wasserdruckes auf Gefäßwände.

1. Es ist der Druck auf die Seitenwand AB eines mit Wasser ganz angefüllten Gefäßes Fig. 183 Tafel 21 zu bestimmen. Die Höhe des Gefäßes A = 2,30 Meter; die Breite B = 3,74 Meter; die Länge C = 4,25 Meter.

Nach § 3 Nr. 2 (auch § 35) ist der Druck auf die Vorderfläche $AB = \frac{A^2 B}{2} y$, wenn y das Gewicht der Cubikeinheit Wasser bezeichnet. Diese Cubikeinheit muß aber immer in demselben Maße ausgedrückt werden, wie die Dimensionen in der Gefäßwand. Sind diese z. B. in Metern ausgedrückt, so muß y in Cubikmetern gegeben sein. Das Gewicht von einem Cubikmeter Wasser ist aber gleich 1000 Kilogramm und also der Druck P auf die Fläche AB

$$P = \frac{A^2 B}{2} \cdot 1000 = \frac{2,3 \times 2,3 \times 3,74}{2} \times 1000 = 9892,3 \text{ Kgr.}$$

2. Der Druck auf die Bodenfläche des obigen Gefäßes ist gleich der Höhe der darauf ruhenden Wassersäule $\times$ den Flächeninhalt der Bodenfläche, multiplicirt mit dem Gewichte der Cubikeinheit Wasser. Es ist also

$$P = ABC \times y = 2,3 \times 3,74 \times 4,25 \times 1000 = 36558,5 \text{ Kgr.}$$

3. Ist die Wand des Gefäßes, auf welche der Wasserdruck bestimmt werden soll, ein Paralleltrapez nach Fig. 184 Tafel 21, so hat man sich daran zu erinnern, daß die Höhe des Wasserdruckes durch den Abstand des Wasserspiegels vom Schwerpunkt i der fraglichen Fläche gemessen wird.

Man hat daher hier zunächst die Lage des Schwerpunktes, d. h. den Abstand z_1 desselben aufzusuchen. Dieser Abstand ist

$$z_1 = \left(\frac{A + 2A_2}{A + A_2}\right)\frac{B}{3} = \frac{2{,}5 + 2 \times 3{,}4}{2{,}5 + 3{,}4} \times \frac{1{,}8}{3} = 0{,}942 \text{ M.}$$

Der Flächeninhalt der Wand des Gefäßes ist nun

$$F = \frac{(A + A_2)\,B}{2} = \frac{(2{,}5 + 3{,}4)\,1{,}8}{2} = 5{,}31 \;\square\text{M.}$$

Also der Wasserdruck auf diese Fläche

$$P = \left(\frac{A + 2A_2}{A + A_2}\right)\frac{B}{3} \times \frac{A + A_2}{2}\,(B) = 0{,}942 \times 5{,}31 = 5002 \text{ Kgr.}$$

Steht das Gefäß umgekehrt, mit der breiten Seite nach oben, so ist z die Höhe des Wasserdruckes und man hat zur Bestimmung dieses Werthes folgenden Ausdruck:

$$z = \frac{A_2 + 2A}{A_2 + A}\left(\frac{B}{3}\right);$$

wenn B der Abstand der beiden Parallelen ist.

§ 177.

Ueber das specifische Gewicht der Körper.

Die Größe, welche anzeigt, wievielmal das Gewicht eines beliebigen Volumens eines Körpers größer oder kleiner ist als das Gewicht des gleichen Volumens Wasser, heißt das *specifische Gewicht* dieses Körpers. Die nachfolgende Tabelle enthält das specifische Gewicht der verschiedenen am meisten gebräuchlichen Materialien.

Tabelle über die specifischen Gewichte.

Benennung der Körper	Specifisches Gewicht	Benennung der Körper	Specifisches Gewicht
Platin, gehämmert . .	21,539	Holzfaser, fest	1,500
Gold, geschmolzen . . .	19,258	Ahornholz, lufttrocken .	0,645
Silber	10,474	Apfelbaumholz	0,733
Quecksilber bei 0° . .	13,596	Birkenholz	0,738
Kupfer, gehämmert . .	9,000	Birnbaum	0,732
„ gegossen . . .	8,85	Buchenholz	0,590
Blei, geschmolzen . . .	11,352	Buchsbaum	0,942
Zinn	7,291	Tannenholz, trocken . .	0,555
Zink, geschmolzen . . .	7,037	„ „ frisch gefällt	0,894
Wismuth	9,822	Eichenholz	0,693
Gußeisen	7,207	Erlenholz	0,500
Schmiedeisen	7,788	Eschenholz	0,670
Stahl, gehärtet . . .	7,816	Weißbuche	0,769
Gußstahl	7,919	Kiefernholz	0,550
Messing	8,400	Kork	0,240
Kanonen-Metall . . .	8,788	Lindenholz	0,499
Kalkstein, dichter . . .	2,450	Nußbaumholz	0,660
Alabaster	2,611	Pockholz	1,263
Kreide	2,700	Rothtanne	0,472
Gyps, gegossen und trocken	0,973	Eis bei 0°	0,916
Quarz	2,624	Meerwasser	1,027
Sandstein	2,350	Wasser bei 4° C. . . .	1,000
Thonschiefer	2,670	Milch	1,030
Basalt	2,662	Mahagoniholz	0,754
Granit	2,801	Lerchenholz	0,563
Steinkohle (Schwarzkohle)	1,825	Pappelholz	0,387
Braunkohle	1,200	Saalweide	0,529
Ziegel, gebrannte . . .	1,812	Leinöl	0,940
Sand, gewöhnlicher, trocken	1,638	Rüböl	0,914
Erde, lehmige, frische . .	2,060	Salzsäure, concentrirt .	1,200
„ trockene	1,930	Salpetersäure „ .	1,500
Ziegelmauer mit Kalkmörtel	1,627	Schwefelsäure „ .	1,841
		Absolutes Alkohol 15° .	0,795
Bruchsteinmauer, frisch .	2,460	Kristallglas	2,892
„ „ trocken .	2,400	Porzellan	2,319
Sandsteinmauer, frisch .	2,100	Lehm	1,52
„ „ trocken .	2,000	Atmosphärische Luft . .	0,0013
Fensterglas	2,640		

§ 178.

Aufgaben über das specifische Gewicht und die Schwimmtiefe der Körper.

1. In ein vertical stehendes cylindrisches Gefäß von 0,10 Meter innerer Weite werden 12 Kilogramm Quecksilber gegossen. Welche Höhe wird dasselbe im Gefäße einnehmen, wenn das specifische Gewicht des Quecksilbers = 13,596 ist?

Ist R der Halbmesser des Gefäßbodens, so ist der Querschnitt des Gefäßes $R^2\pi$ und da $R = 5$ Centimeter und π bekanntlich $= 3{,}141592$, so ist dieser Querschnitt gleich $3{,}141592 \times 25 = 78{,}54$ □Centimeter.

Nennt man nun H die Höhe der Flüssigkeit im Gefäße, so ist das Volumen derselben gleich $78{,}54 \times H$. Dieses Volumen ist aber auch $= \frac{12000}{13{,}596} = 882{,}612$ Cubikcentimeter.

Man hat also die Gleichung:

$$78{,}54\,H = 882{,}612 \quad \text{und} \quad H = \frac{882{,}612}{78{,}54} = 11{,}24 \text{ Cm.}$$

2. Welches ist das Volumen und das Gewicht eines Cylinders aus Eichenholz, dessen Länge 2,5 Meter und dessen Durchmesser 0,3 Meter beträgt? Das specifische Gewicht des Eichenholzes werde zu 1,17 angenommen.

Sei R der Halbmesser des Cylinders, H dessen Länge und V sein Volumen, so ist

$$V = \pi R^2 H = 3{,}141592 \times 2{,}25 \times 25 = 176{,}71 \text{ Cub.-Dm. und}$$

$$P = 176{,}71 \times 1{,}17 = 206{,}76 \text{ Kgr.}$$

3. Wie groß ist eine Kugel vom specifischen Gewichte = 5, wenn sie beim Eintauchen ins Wasser 25 Kilogramm von ihrem Gewichte verliert?

Das ganze Gewicht der Kugel ist $5 \times 25 = 125$ Kilogramm und ihr Volumen $I = \frac{125}{5 \times 1000} = 0{,}025$ Cubikmeter.

Es ist somit der Halbmesser r der Kugel

$$r = \sqrt[3]{\frac{I}{4{,}1888}} = \sqrt[3]{\frac{0{,}025}{4{,}1888}} = 0{,}18 \text{ M.}$$

4. Ein Parallelepiped von Eis (Fig. 185 Tafel 21) schwimmt im Meerwasser, dessen specifisches Gewicht $= 1{,}026$. Das specifische Gewicht des Eises ist $= 0{,}930$. Wie tief sinkt das Eisstück ins Wasser ein und wie hoch ragt es darüber empor?

Die Dimensionen des Eisstückes sind folgende: $AB = 20{,}45$ Meter; $AC = 15{,}75$ Meter und $AD = 10{,}50$ Meter.

Das Gewicht des Eisstückes ist $= AB \times AC \times AD \times 930$. Das Volumen des eingetauchten Eises ist $= AB \times AC \times DE$ und das Gewicht des von ihm verdrängten Wassers ist $= AB \times AC \times DE \times 1026$. Da nun nach § 5 das Gewicht des vom Eisstücke verdrängten Wassers gleich dem ganzen Gewicht des Eisblockes sein muß, so ist nach Weglassung der gleichen Factoren:

$$AD \times 930 = DE \times 1026; \quad \text{also}$$

$$DE = \frac{AD \times 930}{1026} = \frac{105 \times 930}{1026} = 95{,}17 \text{ Decim.}$$

$$\text{und} \quad AE = 105 - 95{,}17 = 9{,}83 \text{ Dm.}$$

5. Wie tief sinkt eine Kugel vom Gewichte P ins Wasser ein, wenn der Halbmesser derselben $= r$ ist?

Nennt man die Tiefe der Eintauchung $= x$ und das Gewicht der Cubikeinheit Wasser $= p$, so muß die Kugel so tief einsinken, bis das Volumen des verdrängten Wassers $= \frac{P}{p}$ ist.

Dieses Volumen ist aber

$$v = \pi x^2 \left(r - \frac{x}{3}\right).$$

Daraus ergiebt sich der Ausdruck:

$$x^3 - 3rx^2 + \frac{3P}{\pi p} = 0.$$

Durch probeweises Einsetzen verschiedener Werthe von x, bis dieser Ausdruck gleich Null wird, findet man bald den richtigen Werth der Eintauchung x.

Ist z. B. das Gewicht P der Kugel $= 20$ Kgr. und deren Radius $r = 0{,}40$ Meter und nimmt man schätzungsweise ungefähr an, die Kugel werde 0,30 Meter tief eintauchen, so wird:

$$0{,}3^3 - 3 \times 0{,}40 \times 0{,}3^2 + \frac{3 \times 20}{3{,}14 \times 1000} = -0{,}05.$$

Statt gleich Null wird also der Werth des Ausdruckes negativ und es ist somit die Eintauchung zu groß angenommen.

Setzt man nun statt 0,3 Meter x = 0,15 Meter, so wird

$$0{,}15^3 - 3 \times 0{,}4 \times 0{,}15^2 + \frac{3 \times 20}{3140} = -0{,}005.$$

x ist also immer noch etwas zu groß. Nimmt man daher nun x = 0,13 Meter, so wird

$$0{,}13^3 - 3 \times 0{,}40 \times 0{,}13^2 + \frac{3 \times 20}{3140} = 0$$

und es ist somit die Eintauchungstiefe x der Kugel = 0,130 Meter.

6. Wie tief sinkt eine Kugel vom Halbmesser r ins Wasser ein, wenn das specifische Gewicht derselben = z ist?

Für diesen Fall ergiebt sich die Gleichung:

$$x^3 - 3\,r\,x^2 + 4\,r^3 z = 0$$

und man findet sodann die Tiefe x der Eintauchung, wenn man wie im vorhergehenden Falle für x verschiedene Werthe einsetzt und probirt, bei welchem derselben der obige Ausdruck = Null wird.

Letzteres ist sodann der richtige Werth von x.

7. Mit welcher Kraft wird eine ganz ins Wasser eingetauchte Korkkugel von 0,30 Meter Halbmesser durch den Auftrieb des Wassers nach oben getrieben, wenn das specifische Gewicht des Korkes 0,25 ist?

Das Gewicht der verdrängten Wassermasse ist

$$4{,}188\,r^3 \times 1000 = 4{,}1888 \times 0{,}3^3 \times 1000 = 113{,}4 \text{ Kgr.}$$

Das Gewicht der Korkkugel ist $0{,}25 \times 113{,}4 = 28{,}3$ Kgr.

Die Differenz dieser beiden Gewichte $113{,}4 - 28{,}3 = 85$ Kgr. ist die Kraft, mit welcher die Kugel im Wasser in die Höhe steigt oder welche man an die Kugel anhängen muß, damit sie ganz ins Wasser eintaucht.

8. Man hat einen kugelförmigen kupfernen Schwimmer zu construiren, welcher gerade bis zur Hälfte ins Wasser eintauchen soll. Welche Wandstärke darf der Schwimmer erhalten im Verhältniß zum äußern Halbmesser, welcher beliebig gewählt werden kann? Das specifische Gewicht des Kupfers sei = 8,788.

Es sei R der äußere, r der innere Halbmesser und R — r die Wandstärke des Schwimmers. Das gesuchte Verhältniß ist $\frac{R - r}{R}$.

Das äußere Volumen der Hohlkugel ist $\frac{4\,\pi\,R^3}{3}$ und das innere Volumen derselben $= \frac{4\,\pi\,r^3}{3}$. Das Volumen der Wandung ist daher:

$$\frac{4\pi R^3}{3} - \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{4\pi}{3}(R^3 - r^3)$$

und das Gewicht der Hohlkugel ist

$$\frac{4\pi}{3}(R^3 - r^3) \times 8{,}788.$$

Das Volumen des verdrängten Wassers dagegen ist $\frac{1}{2}\,\frac{4\pi R^3}{3}$.

Es wird daher nach Weglassung des gemeinschaftlichen Factors $\frac{4\pi}{3}$:

$(R^3 - r^3) \times 8{,}788 = \frac{R^3}{2}$; oder $R^3 \times 16576 = r^3 \times 17576$.

Daraus ergiebt sich:

$$\frac{R}{r} = \sqrt[3]{\frac{17576}{16576}} = 1{,}02 \text{ und}$$

$$\frac{R}{1{,}02} = \frac{r}{1}; \quad \frac{R-r}{0{,}02} = \frac{R}{1{,}02} \text{ und } \frac{R-r}{R} = \frac{2}{102} = \frac{1}{51}.$$

9. Zwei Flüssigkeiten vom specifischen Gewichte D und D^1 werden zusammengegossen. Welches ist das specifische Gewicht der Mischung, wenn eine Verdichtung des Gemenges $= \frac{1}{m}$ der Summe beider Volumen stattfindet und das Gewicht der beiden Flüssigkeiten $= P$ und P^1 ist?

Die Volumen beider zusammengegossenen Flüssigkeiten sind $\frac{P}{D}$ und $\frac{P^1}{D^1}$ und der mteste Theil ihrer Summe ist $\frac{1}{m}\left(\frac{P}{D} + \frac{P^1}{D^1}\right)$ und es ist somit das Volumen der Mischung

$$\frac{P}{D} + \frac{P^1}{D^1} - \frac{1}{m} \times \left(\frac{P}{D} + \frac{P^1}{D^1}\right) = \left(\frac{P}{D} + \frac{P^1}{D^1}\right)\left(\frac{m-1}{m}\right).$$

Ist nun d das gesuchte specifische Gewicht der Mischung, so ist das Volumen dieser Mischung auch $= \frac{P+P^1}{d}$. Es ist somit:

$$\frac{P+P^1}{d} = \left(\frac{P}{D} + \frac{P^1}{D^1}\right)\left(\frac{m-1}{m}\right); \text{ und } d = \frac{(P+P^1)\,DD^1 m}{(PD^1 + P^1D)(m-1)} \quad \ldots \text{A)}$$

Wenn statt der Verdichtung eine Ausdehnung des Gemisches stattfinden würde, so erhält man für den obigen Ausdruck:

$$d = \frac{(P+P^1)\,DD^1 m}{(PD^1 + P^1D)(m+1)} \quad \ldots\ldots \text{B)}$$

10. Mischt man 18 Kgr. Schwefelsäure von 1,84 specifischem Gewichte mit 8 Kgr. Wasser, wobei eine Verdichtung des Volumens von $^1/_{32}$ stattfindet, welches wird das specifische Gewicht der Mischung sein?

Die Formel A) der vorigen Nummer ergiebt:

$$d = \frac{(P + P^1)\,DD^1 m}{(PD^1 + P^1D)\,(m - 1)} = \frac{(8 + 18)\,1{,}84 \times 32}{32{,}72 \times 31} = 1{,}50.$$

11. Man gießt P Kgr. einer Flüssigkeit vom specifischen Gewichte D mit P^1 Kgr. einer andern Flüssigkeit vom specifischen Gewichte D^1 zusammen. Es frägt sich nun, ob Verdichtung oder Ausdehnung des Gemenges stattgefunden hat, und welches der Werth der Veränderung der Dichtigkeit ist, wenn das specifische Gewicht des Gemenges d ist?

Löst man behufs Auflösung dieser Aufgabe zunächst die Gleichung A) in Nummer 9 in Bezug auf den Werth von m auf, so erhält man den nachfolgenden Ausdruck:

$$m = \frac{(PD^1 + P^1D)\,d}{(PD^1 + P^1D)\,d - (P + P^1)\,DD^1}. \quad . \quad . \quad . \quad C)$$

Da nun der Werth von m als Nenner des Ausdruckes $\frac{1}{m}$, welcher die Veränderung der Dichtigkeit mißt, nothwendig positiv sein muß, so ist im Falle einer Verdichtung

$$(PD^1 + P^1D)\,d > (P + P^1)\,DD^1 \quad \text{oder} \quad d > \frac{(P + P^1)\,DD^1}{PD^1 + P^1D}.$$

Dividirt man den Zähler und Nenner dieses Bruches durch DD^1, so erhält man $d > \dfrac{P + P^1}{\frac{P}{D} + \frac{P^1}{D^1}}$.

Da nun $P + P^1$ das Gewicht der Mischung und $\frac{P}{D} + \frac{P^1}{D^1}$ die Summe der Volumen beider Flüssigkeiten ist, so ist der obige Ausdruck von d genau das specifische Gewicht der Verbindung, wenn weder Verdichtung noch Ausdehnung stattgefunden hat.

Hat nun Verdichtung stattgefunden, so ist das specifische Gewicht größer geworden, also

$$d > \frac{P + P^1}{\frac{P}{D} + \frac{P^1}{D^1}}$$

und im Falle einer Ausdehnung

$$d < \frac{P + P^1}{\frac{P}{D} + \frac{P^1}{D^1}}.$$

12. Ein eiserner Kegel ASB Fig. 186 Tafel 21 taucht in Quecksilber ein, dessen Dichtigkeit $= d^1$ ist, während diejenige des Eisens $= d$ ist.

Welches ist das Verhältniß des eingetauchten Theiles OS der Höhe des Kegels zur ganzen Höhe CS?

Sei h die Höhe CS; h^1 diejenige SO; R und r die beiden Halbmesser CB und OK, so ist das Volumen des ganzen Kegels $\frac{\pi R^2 h}{3}$ und sein Gewicht $\frac{\pi R^2 h d}{3}$.

Das Volumen des eingetauchten Kegels dagegen ist $\frac{\pi r^2 h^1}{3}$ und es ist somit das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit $\frac{\pi r^2 h^1 d^1}{3}$.

Diese Gewichte müssen einander gleich sein und man hat daher nach Weglassung des gemeinsamen Factors $\frac{\pi}{3}$:

$$R^2 h d = r^2 h^1 d^1; \quad \text{und} \quad \frac{h^1}{h} = \frac{R^2}{r^2} \times \frac{d}{d^1}.$$

Nun sind die Dreiecke BCS und KOS ähnlich, also $\frac{R}{r} = \frac{h}{h^1}$.

Setzt man diesen Werth von $\frac{R}{r}$ in den obigen Ausdruck ein, so wird

$$\frac{h^1}{h} = \frac{h^2}{h^{1\,2}} \times \frac{d}{d^1}; \quad \text{woraus folgt:} \quad \frac{h^{1\,3}}{h^3} = \frac{d}{d^1}; \quad \text{also}$$

$$\frac{h^1}{h} = \frac{\sqrt[3]{d}}{\sqrt[3]{d^1}},$$

d. h. die Höhen der beiden Kegel verhalten sich umgekehrt wie die Cubikwurzeln aus den Dichtigkeiten des Kegels und der Flüssigkeit.

13. Ein Würfel von Blei von 4 Centimeter Seite soll als Schwimmer dienen und zu diesem Zwecke an eine Kugel von Kork aufgehängt werden, welche ganz ins Wasser eintauchen soll. Welchen Durchmesser soll die letztere erhalten, damit der Druck von unten nach oben auf dieselbe so groß wird, daß derselbe dem niederziehenden Bleigewicht das Gleichgewicht hält?

Das specifische Gewicht des Bleies sei $= 11{,}35$ und dasjenige des Korkes $= 0{,}24$.

Das Volumen des Bleiwürfels ist 64 Cubik-Centimeter und sein Gewicht in der Luft $= 64 \times 11{,}35$, im Wasser aber $= 64 \times 11{,}35 - 64 = 662{,}40$ Gramm.

Sei nun r der Halbmesser der Korkkugel (welche hohl sein kann) in Centimetern, so ist ihr Volumen $\frac{4\pi r^3}{3}$ Cubikcentimeter und ihr Gewicht $\frac{4\pi r^3 \times 0{,}24}{3}$ Gramm.

Das Gewicht des von der Korkkugel verdrängten Wassers ist $\frac{4\pi r^3}{3}$ Gramm und es entsteht daher ein Druck nach oben von

$$\frac{4\pi r^3}{3} - \frac{4\pi r^3 \times 0{,}24}{3} = \frac{4\pi r^3 \times 0{,}76}{3}.$$

Dieser Druck muß dem Bleigewichte gleich sein, so daß

$$\frac{4\pi r^3 \times 0{,}76}{3} = 662{,}40 \text{ Gramm},$$

woraus

$$r = \sqrt[3]{\frac{1987{,}20}{3{,}04 \times 3{,}1416}} = 5{,}92 \text{ Cm.}; \quad d = 11{,}84 \text{ Cm.}$$

14. Aus dem Siphon einer Girardturbine soll mit Hülfe einer kleinen Luftpumpe die Luft verdünnt werden, um denselben mit Wasser anzufüllen.

Welche Luftmenge bleibt nach n Kolbenhuben zurück und welches wird ihre Spannung sein, wenn v das Volumen der einfach wirkenden Pumpe, V das Volumen des Siphon und der Rohrleitung und M der totale Inhalt von Pumpe, Leitung und Siphon ist?

Wenn der Kolben der Pumpe gehoben wird, wird das Volumen $V = V + v$, während die Luftmasse dieselbe bleibt. Da nun die Masse der ausgepumpten Luft dem Volumen v proportional ist, so ist, wenn man dieselbe durch m ausdrückt, $\frac{m}{M} = \frac{v}{V + v}$ und $m = \frac{Mv}{V + v}$.

Die zurückbleibende Luftmenge ist daher $= M - \frac{Mv}{V+v} = \frac{MV}{V+v} = M^1$.

Die durch den zweiten Kolbenhub entfernte Luftmenge ergiebt sich auf demselben Wege zu

$$\frac{M^1 v}{V + v} = \frac{Mv}{V + v} \cdot \frac{V}{V + v},$$

und beim dritten Kolbenhub zu

$$\frac{Mv}{V+v}\,\frac{V^2}{(V+v)^2}.$$

Es wird somit die beim nten Kolbenhube entfernte Luftmenge

$$\frac{Mv}{V+v}\cdot\frac{V^{n-1}}{(V+v)^{n-1}}$$

und es ist die durch sämmtliche n Hube entfernte Luftmenge =

$$\frac{Mv}{V+v}\left\{1+\frac{V}{V+v}+\frac{V^2}{(V+v)^2}+\frac{V^3}{(V+v)^3}+\cdots+\frac{V^{n-1}}{(V+v)^{n-1}}\right\}.$$

Nun ist die Summe S der sämmtlichen Glieder einer Progression wie der obige in der Klammer eingeschlossene Ausdruck

$$S=\frac{a-lr}{1-r},$$

wenn das erste Glied mit a, das letzte mit l und die Wurzel mit r bezeichnet wird.

Im obigen Ausdrucke ist $a=1$; $r=\frac{V}{V+v}$; $r=\frac{V^{n-1}}{(V+v)^{n-1}}$ und es wird sonach der obige in der Klammer eingeschlossene Ausdruck, d. h. die Summe dessen sämmtlicher Glieder

$$S=\frac{V+v}{v}-\frac{V}{v}\,\frac{V^{n-1}}{(V+v)^{n-1}},$$

so daß die Gleichung in die nachfolgende übergeht:

$$\frac{Mv}{V+v}\left\{\frac{V+v}{v}-\frac{V}{v}\,\frac{V^{n-1}}{(V+v)^{n-1}}\right\}=M-M\frac{V^n}{(V+v)^n}.$$

Die nach n Kolbenhuben zurückbleibende Luftmenge ist demnach $=M\frac{V^n}{(V+v)^n}$.

Um die Spannung der zurückbleibenden Luftmenge zu berechnen, hat man zu berücksichtigen, daß dieselbe gleich dem Barometerstand von 0,76 Meter Quecksilberhöhe ist. Das specifische Gewicht des Quecksilbers ist gleich 13,59 und es ist daher der Wasserbarometerstand $= 13{,}59 + 0{,}76 = 10{,}33$ Meter, d. h. der Druck der Luft hält bei der gewöhnlichen atmosphärischen Pressung einer Wassersäule von 10,33 Meter das Gleichgewicht.

Nun ist die Spannung der zurückbleibenden Luftmasse ihrer Menge (Masse) proportional und man hat, wenn f den Wasserdruck derselben bezeichnet:

$$f:10{,}33^m=\frac{MV^n}{(V+v)^n}:M;\quad \text{woraus}\quad f=10{,}33\,\frac{V^n}{(V+v)^n}.$$

Im nachfolgenden Beispiel soll nachgewiesen werden, wie mit Hülfe dieser Gleichung aus der hervorzubringenden Spannung oder dem Barometerstand f die Anzahl der erforderlichen Kolbenhube gefunden wird. Soll z. B. das Wasser im Siphon sich auf i Meter Höhe erheben, so ist der erforderliche Wasserbarometerstand $f_2 = f - i$; z. B. bei 2 Meter Erhebung des Wassers über seinen ursprünglichen Wasserspiegel soll die Luftpumpe so lang in Thätigkeit bleiben, bis die Spannung der Luft durch den Wasserbarometerstand

$$f_2 = 10{,}33 - 2 = 8{,}33$$

ausgedrückt wird. Aus diesem letztern giebt das nächste Beispiel die erforderliche Anzahl der Kolbenhube der Luftpumpe.

Es ist noch zu erwähnen, daß die Luftverdünnung, respective die Erhebung des Wasserspiegels bereits bei Anfang des Auspumpens der Luft beginnt, daß also sowohl aus diesem Grunde, als auch wegen der unregelmäßigen Form des Siphon, welche ein sehr ungleichförmiges Ansteigen des Wassers bedingt, der Vorgang nicht mathematisch zu verfolgen ist.

Dagegen kann die gegebene Rechnungsart dazu verwendet werden, um die erforderliche Größe der Luftpumpe und ihre Geschwindigkeit zu bestimmmen, da in Folge der eintretenden Verluste die wirkliche Anzahl der Kolbenhube nicht kleiner wird, als die obige Rechnung ergiebt, was sonst wegen der Erhebung des Wasserspiegels schon bei Beginn des Ansaugens der Luft der Fall sein müßte.

15. Wie viele Pumpenkolbenhube sind erforderlich, um die Luft in einer Rohrleitung soweit zu verdünnen, daß die anfängliche atmosphärische Spannung derselben von 0,76 Meter Quecksilber-Barometerdruck auf 0,002 Meter sinkt, wenn das Volumen der Leitung 10 Dekaliter und dasjenige des Kolbenhubes 1 Dekaliter beträgt?

Diese Aufgabe löst sich leicht mit der Formel der obigen Nummer

$$f = \frac{0{,}76\, V^n}{(V + v)^n};$$

wenn man in derselben für $f = 0{,}002$, für $V = 10$ und für $v = 1$ setzt, so daß man erhält

$$\frac{2}{760} = \left(\frac{10}{11}\right)^n; \quad \text{oder} \quad \left(\frac{11}{10}\right)^n = 380.$$

Mit Hülfe der Logarithmen erhält man sofort

$$n \times \log\left(\frac{11}{10}\right) = \log 380; \quad \text{und} \quad n = \frac{\log 380}{\log 11 - \log 10} = 62.$$

§ 178a.

Mittelpunkt des Wasserdruckes.

Derselbe ist nicht etwa mit dem Schwerpunkt der gedrückten Fläche zu verwechseln. Da der Druck auf jeden Theil einer Fläche von oben nach unten zunimmt, so ist leicht ersichtlich, daß z. B. bei einer rechtwinkligen Fläche der Druck auf die untere Hälfte bedeutend größer ist als auf die obere Hälfte.

Der Mittelpunkt des Wasserdruckes auf eine Fläche ist nun derjenige Punkt, an welchem die Fläche unterstützt werden müßte, um dem ganzen auf dieselbe einwirkenden Drucke das Gleichgewicht halten zu können.

Bei rechtwinkligen Flächen (wie z. B. bei Schützenzügen) fällt der Mittelpunkt des Wasserdruckes auf $^2/_3$ der Höhe unter den Wasserspiegel oder $^1/_3$ der Höhe über die Grundschwelle. Dieß gilt indessen nur für den gewöhnlichen Fall, in welchem die Schütze oder die gedrückte Fläche mit ihrer obern Kante wirklich bis an den Oberwasserspiegel reicht.

Tritt dagegen der Wasserspiegel über den obern Rand der gedrückten (rechtwinkligen) Fläche hervor, d. h. steht letzterer um die Höhe c unter dem Oberwasserspiegel und ist d gleich der Höhe der Fläche (Schütze), ist also die ganze Druckhöhe vom Oberwasserspiegel bis zum Grund der Schwelle $= c + d$, so befindet sich der Mittelpunkt des Druckes unter dem Oberwasserspiegel in einer Höhe h

$$h = \frac{2}{3}\,\frac{(d+c)^3 - c^3}{(d+c)^2 - c^2}.$$

Für andere Formen der gedrückten Fläche als die rechtwinkligen fallen die Ausdrücke zur Bestimmung des Druckmittelpunktes sehr complicirt aus, und da solche Flächen in der Praxis nicht vorkommen, oder doch sehr selten sind, wird hier von einer weitern Aufführung derselben Umgang genommen.

§ 178b.

Wasserdruck gegen schiefe Flächen oder gegen ebene Flächen in schiefer Richtung.

Dieser Fall kommt in der Anwendung häufig vor und man wird bei aufmerksamer Betrachtung leicht finden, daß man in solchen Fällen den Inhalt der drückenden Wassersäule dadurch findet, daß man die horizontale Projection der gedrückten Fläche rechtwinklig auf die gegebene Richtung mit dem Abstande des Oberwasserspiegels über dem Schwerpunkt der gedrückten Fläche multiplicirt.

So ist z. B. bei einem Teichdamme Fig. 260 Tafel 33 der Druck auf die schiefe Fläche c e des Dammes in der Richtung a f gleich einer Wassersäule von der Höhe a b, der Breite c d und der Länge gleich derjenigen des Dammes.

Der Druck in der Richtung a g dagegen ist größer und zwar gleich demjenigen einer Wassersäule von der Höhe a b, der Breite c e und der Länge gleich derjenigen des Dammes.

Dabei ist a für beide Fälle der Schwerpunkt der gedrückten Fläche.

Der Druck auf dieselbe Fläche c e in verticaler Richtung ist dagegen gleich einer Wassersäule von der Höhe a b, der Breite c h und der Länge gleich derjenigen des Dammes.

§ 179.

Freier Fall der Wasserstrahlen.

Da die vom Wasser beim freien Fallen erlangte Geschwindigkeit nach einer Secunde nach § 8 = 9,8088 Meter, der in derselben Zeit durchlaufene Raum aber nur die Hälfte dieser Geschwindigkeit beträgt, so fällt das Wasser beim freien Fall

in 1 Secunde durch eine Höhe von 4,9044 Meter,
„ 2 „ „ „ „ „ 19,6176 „
„ 3 „ „ „ „ „ 44,1396 „

Die nachfolgende Tabelle enthält für verschiedene Fallhöhen die erlangten Geschwindigkeiten am Ende des Falles, als auch die entsprechende Dauer des Falles*).

1) Ein freifallender Körper fällt 45 Secunden lang. Welche Höhe hat er durchfallen? Es ist nach § 8

$$h = \frac{1}{2} g t^2 = \tfrac{1}{2}\, 9{,}8088 \times 45^2 = 9922 \text{ Meter.}$$

2) Welches ist die von einem freifallenden Wasserstrahl erlangte Geschwindigkeit nach 45 Secunden bei Vernachlässigung des Luftwiderstandes?

Es ist

$$c = g t = 9{,}8088 \,.\, 45 = 441{,}396 \text{ Meter.}$$

*) Dabei ist der Widerstand der Luft vernachlässigt.

3) Wie lange muß ein Körper fallen, um eine Geschwindigkeit von 600 Meter zu erlangen?

Es ist

$$t = \frac{c}{g} = \frac{600}{9{,}8088} = 61{,}16 \text{ Secunden.}$$

4) Wie lange braucht ein Körper, um durch eine Höhe von 1000 Meter zu fallen?

Es ist

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2000}{9{,}8088}} = 14{,}28 \text{ Secunden.}$$

5) Durch welche Höhe muß ein Körper fallen, um eine Geschwindigkeit von 300 Metern zu erlangen?

Es ist

$$h = \frac{c^2}{2g} = \frac{90000}{2 \times 9{,}8088} = 4587{,}7 \text{ Meter.}$$

6) Ein Wasserstrahl wird mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 245,22 Meter vertical in die Höhe geschleudert. Wie lange und wie hoch würde er steigen, wenn der Luftwiderstand nicht wäre?

Man hat

$$t = \frac{c}{g} = \frac{245{,}22}{9{,}8088} = 25 \text{ Secunden}$$

für die Dauer der Steigung und

$$h = \tfrac{1}{2} g t^2 = \tfrac{1}{2}\, 9{,}8088 \times 25^2 = 3065{,}25 \text{ Meter.}$$

7) Um die Tiefe eines Brunnens zu messen, in welchen man nicht hinuntersteigen kann, läßt man einen Stein in denselben hinunterfallen. Nach 3 Secunden wird das Geräusch des unten auffallenden Steines vernommen. Wie tief ist der Brunnen?

Zur Lösung dieser nicht so einfachen Aufgabe hat man zunächst zu beachten, daß der Schall in einer Secunde 337 Meter zurücklegt.

Nennt man nun v die Geschwindigkeit des Schalles in 1 Secunde; x die gesuchte Tiefe des Brunnens und T die Zeit, welche zwischen dem Loslassen des Steines und der Ankunft des Schalles verstreicht, so ist zunächst, wenn e die Tiefe des Brunnens ist:

$$e = \tfrac{1}{2} g t^2 \quad \text{und} \quad t = \sqrt{\frac{2e}{g}} = \sqrt{\frac{2x}{g}}$$

die Zeit, welche der Stein zum Fallen braucht. Die Zeit, welche nun der Schall braucht, um zum Ohre des Beobachters zu gelangen, ist $= \frac{x}{v}$ Secunden. Es ist daher:

$$\sqrt{\frac{2x}{g}} + \frac{x}{v} = T; \quad \text{oder} \sqrt{\frac{2x}{g}} = T - \frac{x}{v}$$

und

$$\frac{2x}{g} = T^2 - \frac{2Tx}{v} + \frac{x^2}{v^2}.$$

Daraus erhält man:

$$g x^2 - 2v(v + gT)x + v^2 g T^2 = 0$$

und

$$x = \frac{v}{g}\left\{gT + v \pm \sqrt{(2gT + v)}\right\}.$$

Setzt man in diese Formel für v, g und T ihre Werthe ein, so erhält man

$$x = \frac{337}{9{,}81}\left\{9{,}81 \times 3 + 337 \pm \sqrt{337\,(2 \times 9{,}81 \times 3 + 337)}\right\},$$

$$x = \frac{337}{9{,}81}(336{,}43 \pm 365{,}24).$$

was den 2 Werthen $x = 25134{,}9$ und $x = 40{,}8$ entspricht.

Der erstere Werth ist unmöglich und es ist daher die gesuchte Tiefe $x = 40{,}8$ Meter.

§ 180 a.

Wirkliche Geschwindigkeit fallender Wasserstrahlen unter Berücksichtigung des Luftwiderstandes.

Der Widerstand der Luft gegen fallende Wasserstrahlen ist für kleine Geschwindigkeiten bis zu 4 oder 5 Metern so gering, daß derselbe ganz vernachlässigt werden kann.

Dieser Widerstand ist indessen dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional und nimmt um so mehr zu, als der Querschnitt des Wasserstrahles kleiner wird.

Für Wassermassen von bedeutendem Querschnitte (eigentliche Flüsse mit 0,5 bis 1 Cubikmeter Wasser pro Secunde) kann der Luftwiderstand bis auf 10 Meter Geschwindigkeit des fallenden Wassers vernachlässigt werden.

Für Fallhöhen über 50 Meter nimmt die Fallgeschwindigkeit nicht mehr zu; der Wasserstrahl wird gänzlich aufgelöst, auch bei bedeutendem

Querschnitte und das Wasser fällt mit einer constanten Geschwindigkeit tiefer.

Die Fallgeschwindigkeit ist daher für sehr verschiedene Fallhöhen von 50 bis 300 Metern genau dieselbe.

Gegen das Ende einer großen Fallhöhe zu vermindert sich sogar die Geschwindigkeit und zwar so, daß bei circa 50 Meter durchfallener Höhe die Geschwindigkeit ein Maximum geworden ist, bei welchem der feste Strahl sich auflöst und sodann mit kleinerer sich gleichbleibender Geschwindigkeit niederfällt.

Wasserstrahlen von kleinerem Querschnitte zertheilen sich schon bei geringerer Geschwindigkeit; doch darf man annehmen, daß bei einem Strahl von 5 bis 10 □Centimeter Querschnitt die Verminderung der Geschwindigkeit von 10 bis zu 20 Metern nur ungefähr $^1/_4$ bis $^1/_5$ der theoretischen Geschwindigkeit betrage.

Weitere Daten hierüber siehe § 213a.

§ 180b.

Graphische Darstellung der Fallgesetze.

Fig. 167 Tafel 17 giebt eine graphische Darstellung der Fallgesetze, welche, in etwas größerem Maßstabe mit genauer Eintheilung ausgeführt, die Tabellen über die Ausflußgeschwindigkeiten leicht ersetzen kann und zudem eine anschauliche Uebersicht über die Verhältnisse gewährt, wie die Formeln und Tabellen eine solche nicht bieten können.

Die untere horizontale Eintheilung AB drückt die Fallhöhen bis zu 12,5 Meter, die verticale AC die Fallzeiten t in $^1/_{10}$ Secunden und die obere horizontale Eintheilung CD die erlangten Geschwindigkeiten v bis zu 25 Meter aus.

Die parabolische Curve AaD ist nach der Formel $h = \frac{1}{2} g t^2$ ausgeführt und giebt das Verhältniß der Quadrate der Zeiten zu den durchfallenen Räumen an. Die Gerade AE ist nach der Formel $c = g t$ gezogen und zeigt an, daß die erlangten Geschwindigkeiten den Fallzeiten proportional sind.

Hat man z. B. nach der graphischen Darstellung die Fallzeit und Fallgeschwindigkeit eines durch eine Höhe von 8,75 Meter fallenden Körpers zu suchen, so geht man von der horizontalen AB von 8,75 in die Höhe, bis die Verticale an dieser Stelle die Curve AaD schneidet. Die diesem Durchschnittspunkt entsprechende Höhe b der Eintheilung AC bei 1,325 Secunden giebt die Fallzeit.

Zieht man dagegen von dem Durchschnittspunkte a eine Horizontale, die bei c die Gerade AD schneidet, und errichtet man ferner auf c eine Verticale, so trifft diese die obere Horizontale CD bei 13,10 und dieses ist die gesuchte Fallgeschwindigkeit.

Tabelle über Zeit, Fallhöhe und Geschwindigkeit der Wasserstrahlen.

Fallhöhe	Erlangte Geschwindigkeit	Fallzeit	Fallhöhe	Erlangte Geschwindigkeit	Fallzeit	Fallhöhe	Erlangte Geschwindigkeit	Fallzeit
0,01	0,44	0,05	0,70	3,71	0,38	4,75	9,65	0,99
0,02	0,63	0,06	0,75	3,84	0,39	5,00	9,90	1,02
0,03	0,77	0,08	0,80	3,96	0,40	5,50	10,38	1,06
0,04	0,89	0,09	0,85	4,08	0,42	6,00	10,84	1,11
0,05	0,99	0,10	0,90	4,20	0,43	6,50	11,29	1,15
0,06	1,08	0,11	0,95	4,32	0,44	7,00	11,71	1,20
0,07	1,17	0,12	1,00	4,43	0,45	7,50	12,12	1,24
0,08	1,25	0,13	1,10	4,65	0,47	8,00	12,52	1,28
0,09	1,33	0,14	1,20	4,85	0,50	8,50	12,91	1,32
0,10	1,40	0,15	1,30	5,05	0,52	9,00	13,28	1,36
0,12	1,53	0,16	1,40	5,24	0,53	9,50	13,65	1,39
0,14	1,66	0,17	1,50	5,43	0,55	10,00	14,00	1,43
0,16	1,77	0,18	1,60	5,60	0,57	10,50	14,35	1,47
0,18	1,88	0,19	1,70	5,78	0,59	11,00	14,69	1,50
0,20	1,98	0,20	1,80	5,94	0,61	11,50	15,02	1,53
0,22	2,08	0,21	1,90	6,10	0,62	12,00	15,34	1,57
0,24	2,17	0,22	2,00	6,26	0,64	12,50	15,61	1,60
0,26	2,26	0,23	2,10	6,42	0,66	13,00	15,97	1,63
0,28	2,34	0,24	2,20	6,57	0,67	13,50	16,27	1,66
0,30	2,43	0,25	2,30	6,72	0,69	14,00	16,57	1,69
0,32	2,51	0,26	2,40	6,86	0,70	14,50	16,87	1,72
0,34	2,58	0,26	2,50	7,00	0,71	15,00	17,15	1,75
0,36	2,66	0,27	2,60	7,14	0,73	15,50	17,44	1,78
0,38	2,73	0,28	2,70	7,27	0,74	16,00	17,71	1,81
0,40	2,80	0,29	2,80	7,41	0,76	16,50	17,99	1,84
0,42	2,87	0,29	2,90	7,55	0,77	17,00	18,26	1,86
0,44	2,94	0,30	3,00	7,67	0,78	17,50	18,53	1,89
0,46	3,00	0,31	3,25	7,98	0,81	18,00	18,79	1,92
0,48	3,07	0,31	3,50	8,29	0,85	18,50	19,05	1,94
0,50	3,13	0,32	3,75	8,57	0,88	19,00	19,31	1,97
0,55	3,28	0,34	4,00	8,86	0,90	19,50	19,55	1,99
0,60	3,43	0,35	4,25	9,13	0,93	20,00	19,80	2,02
0,65	3,57	0,36	4,50	9,39	0,96	21,00	20,30	2,07
h	c	t	h	c	t	h	c	t

Zur Bestimmung der Ausflußgeschwindigkeiten der Flüssigkeiten bei verschiedenen Druckhöhen dient die ausführlichere Specialtabelle § 43.

§ 181.

Stabilität schwimmender Körper.

Die Standesfestigkeit oder die Stabilität eines jeden schwimmenden Körpers hängt nach § 6 von der Lage des Schwerpunktes gegen das Metacentrum ab und ist um so größer, je tiefer der erstere unter dem letztern liegt und je mehr durch eine Seitenbewegung oder Schwankung der Schwerpunkt der verdrängten Wassermasse seitwärts verschoben wird, weil die Kraft, mit welcher der Wasserdruck den Körper in seine frühere Lage zurückführt, proportional ist dem horizontalen Abstande der Schwerpunkte von Körper und verdrängter Flüssigkeit. Die Oscillationen erfolgen dabei um den Schwerpunkt des eingetauchten Körpers.

Es folgt aus diesem Verhalten der schwimmenden Körper, daß ein Schiff, das in bedeutender Höhe über dem Wasser mit Kanonen, Ankern, Masten, Tauen, Segeln u. s. w. ausgerüstet ist, seinen Schwerpunkt troß des im untern Raume befindlichen Balastes hoch über dem Schwerpunkte des verdrängten Wassers hat, dennoch eine sehr große Stabilität (Widerstand gegen das Umkippen) haben kann, indem eine Schwankung zur Seite sogleich Kräfte erzeugt, welche das Schiff in seine frühere Lage zurückzuführen streben.

Aus demselben Grunde schwimmt ein leerer hohler Kasten Fig. 187 Taf. 21 aufrecht und kehrt sogleich in die verticale Lage zurück, wenn man ihn auf einer Seite schief herunterdrückt, obwohl der Schwerpunkt A des Kastens hoch über demjenigen b der verdrängten Wassermasse liegt.

Die Standfestigkeit schwimmender Körper hängt daher keineswegs von dem relativen Gewichte und der Größe derselben, sondern ausschließlich von der Form derselben ab.

Eine Kugel, aus beliebigem Materiale bestehend, bleibt, sobald sie überhaupt im Wasser schwimmt, in jeder Lage im Wasser liegen, weil bei ihrer Drehung der Schwerpunkt der verdrängten Wassermasse an derselben Stelle bleibt.

Ein länglicher Cylinder hat eine bedeutende Stabilität längs seiner Achse; quer auf die letztere dagegen gar keine, gleicht hierin vielmehr ganz einer Kugel.

Ein Cylinder, dessen Länge seinem Durchmesser gleich ist, hat eine geringe Stabilität in zwei Lagen: die Achse horizontal und vertical im Wasser liegend.

Der längliche Cylinder vertical stehend hat im Wasser keine Stabilität und kippt sogleich um, sowie er im geringsten aus der verticalen Lage kommt. Mathematisch genommen kann er aber doch im Wasser stehn, obwohl dieses in der Praxis kaum jemals der Fall sein kann, so wenig ein Kegel mit seiner Spitze auf einer festen Fläche steht.

Ein Cylinder, dessen Achse kürzer ist als der Durchmesser, hat eine ziemlich gute Standfestigkeit, wenn er senkrecht im Wasser steht, schwimmt aber nie mit der Achse in horizontaler Lage.

Eine Halbkugel hat mäßige Stabilität in 2 Lagen, mit der ebenen Fläche nach unten und mit der convexen ebenfalls.

Ein Kegel, dessen Achse länger als sein größter Durchmesser ist, schwimmt nur in einer Lage und zwar auf der Seite, so daß die Achse schief im Wasser liegt, wenn das specifische Gewicht desselben nicht sehr groß ist.

Ein Kegel, dessen Achse gleich dem halben Durchmesser seiner Grundfläche ist, schwimmt niemals wie der obige, wohl aber in zwei andern Lagen und zwar sowohl mit der Spitze, als mit der Grundfläche nach unten.

Die erste Art der oben erwähnten Kegel schwimmt auch mit der Spitze nach unten, wenn das specifische Gewicht desselben derart ist, daß der größte Theil desselben im Wasser eintaucht.

Ein Würfel hat mäßige Stabilität in allen Lagen, sobald eine Seitenfläche parallel dem Wasserspiegel liegt.

§ 182.

Leistung einer Wasserkraft.

Die theoretische Leistung oder der sogenannte absolute Effect einer Wasserkraft ohne Berücksichtigung der Nebenhindernisse wie Reibungswiderstände, Stoßverluste u. dgl. ist nach § 15 gleich dem Gewichte des zur Wirkung kommenden Wassers multiplicirt mit seinem Gefälle, also gleich

$$1000\,Q\,H \text{ Kgrmeter. oder } \frac{1000\,Q\,H}{75} \text{ Pferdekräfte.}$$

Unter der wirklichen Leistung oder dem sogenannten Nutzeffecte (Realeffecte, Nutzleistung) versteht man dagegen den durch einen Motor in nützliche mechanische Arbeit verwandelten Theil des absoluten Effectes einer Wasserkraft, also diejenige Arbeitsgröße, welche nach Abzug sämmtlicher Verluste durch Reibung, Stoß 2c. von der theoretischen Leistung übrig bleibt.

Bei einer Turbine z. B. bestehn diese Verluste, die im Ganzen genommen von 20 bis 70 Procenten der ganzen theoretischen Leistung variiren, in den Reibungswiderständen des Wassers in der Zuleitung, beim Durchfluß durch den Motor, in den Stoßverlusten beim unregelmäßigen Durchfluß durch die Canäle, sowie in der lebendigen Kraft, welche das aus dem Motor fließende Wasser vermöge seiner absoluten Ausflußgeschwindigkeit noch besitzt.

Das Verhältniß des Nutzeffectes zu dem absoluten Effecte heißt das **Güteverhältniß** und wird immer in Procenten ausgedrückt.

1. Welchen Nutzeffect in Pferdekräften giebt eine Wasserkraft von 3 Cubikmeter Wasser per Secunde bei einem Gefälle von 2,5 Meter, wenn das Güteverhältniß oder die Nutzleistung des Wasserrades 75 Procente beträgt?

Es ist die absolute Leistung

$$\frac{1000\ Q\,.\,H}{75} = \frac{1000 \times 3 \times 2{,}5}{75} = 1000 \text{ Pferdekräfte}$$

und der Nutzeffect à 75 % $= 0{,}75 \times 100 = 75$ Pferdekräfte.

2. Welche Nutzleistung (Güteverhältniß) in Procenten soll ein Motor entwickeln, wenn eine absolute Wasserkraft von 95 Pferden 40 Pferde Nutzleistung ergeben soll?

Es ist

$$y = \frac{40}{95} = 0{,}42.$$

3. Welche Wassermenge ist erforderlich, um bei einem Gefälle von 10 Meter und einer Turbine als Motor, welche 73 % Nutzeffect entwickelt, eine Nutzleistung von 95 Pferden zu erzielen?

Es ist:

$$\frac{0{,}73 \times 1000\ Q\ H}{75} = 95 \text{ Pferde; also: } 0{,}73 \times 1000\ Q\ H = 75 \times 95 \text{ und}$$

$$Q = \frac{75 \times 95}{0{,}73 \times 1000\ H} = 0{,}976 \text{ Cubikmeter per Secunde.}$$

4. Welches Gefälle ist nothwendig, um mit einer Wassermenge von 0,890 Cubikmeter per Secunde eine Nutzleistung von 35 Pferden zu erzielen, wenn das Güteverhältniß der Turbine 68 Procente beträgt?

Es ist:

$$\frac{0{,}68\,.\,1000\ Q\ H}{75} = 35 \text{ Pferde; also } 0{,}68\,.\,1000\ Q\ H = 75 \times 35$$

und $$H = \frac{75 \times 35}{0{,}68\,.\,1000\ Q} = \frac{75 \times 35}{0{,}68\,.\,1000\,.\,0{,}890} = 4{,}34 \text{ Meter.}$$

§ 183.

Definition der Pferdekraft.

Die Bezeichnung einer „Pferdekraft" als Arbeitsgröße von 75 Kilogramm per Secunde stammt aus der Zeit der Erfindung der Dampfmaschine ab und bezeichnete die wirkliche Arbeitsleistung eines englischen Pferdes jener Rasse, wie sie nur in den englischen Steinkohlenbergwerken in dieser Kraft und Ausdauer vorkommen.

Im Vergleiche mit der wirklichen mittlern Leistung unserer Pferde ist eine mechanische Pferdekraft $^5/_3$ der Leistung eines Pferdes bei längerer Arbeitszeit, indem ein Pferd nicht über 45 Kilgmeter. Arbeit in einer Secunde verrichten kann, wenn es auch, wie z. B. an einem Göpel, alle zwei Stunden abgewechselt wird.

Unter einer Pferdekraft versteht man aber immer die mechanische Pferdekraft von 75 Kilgmeter. per Secunde und sagt dabei abgekürzt oft blos Pferd statt Pferdekraft.

Eine Kraft von 75 Pferden ist daher immer gleich 75 Pferdekräften (oder Pferdestärken) à 75 Kilgmeter. Es ist diese abgekürzte Gebrauchsweise des Begriffes Pferdekraft in der Technik ganz allgemein üblich.

Die Kraft eines Menschen rechnet man allgemein zu blos 7 Kilgmeter per Secunde bei einer 10stündigen Arbeitszeit und bei einer Art der Arbeit (z. B. Kurbeldrehung), welche dem Bewegungsmechanismus des Menschen ordentlich angepaßt ist.

Es gehn also $^3/_5$ einer mechanischen Pferdekraft auf 1 lebendiges Pferd und auf $6\frac{1}{2}$ Menschen hinsichtlich der Arbeitsleistung; oder 1,66 Pferd und 11 Menschen auf eine mechanische Pferdekraft.

Die nachfolgende Tabelle enthält für eine verschiedene Anzahl Menschen und Pferde den zugehörigen Werth der mechanischen Pferdekraft.

(Um grade Werthe zu haben und diese dem Gedächtniß besser einprägen zu können, darf man annehmen 2 lebendige Pferde auf 1 mechanische Pferdekraft; 6 Menschen auf 1 lebendiges Pferd und 12 Menschen auf 1 mechanische Pferdekraft.

Vergleichungstabelle über die Arbeitsleistung des Menschen, des lebendigen Pferdes und der mechanischen Pferdekraft
in Kilgmeter.

Anzahl der Menschen oder Pferde	Arbeitsleistung der Menschen	Arbeitsleistung der lebendigen Pferde	Arbeitsleistung der mechanischen Pferdekraft
	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
1	7	45	75
2	14	90	150
3	21	135	225
4	28	180	300
5	35	225	375
6	42	270	450
7	49	315	525
8	56	360	600
9	63	405	675
10	70	450	750
11	77	495	825
12	84	540	900
13	91	585	975
14	98	630	1050
15	105	675	1125
16	112	720	1200
17	119	765	1275
18	126	810	1350
19	133	855	1425
20	140	900	1500
25	175	1125	1875
30	210	1350	2250
35	245	1575	2625
40	280	1800	3000
45	315	2025	3375
50	350	2250	3750
60	420	2700	4300
70	490	3150	5250
80	560	3600	6000
90	630	4050	6750
100	700	4500	7500
200	1400	9000	15000

§ 183 a.

Preis einer Pferdekraft Arbeit bei verschiedenen Motoren.

Nach § 204 a stellt sich der Preis einer mechanischen Pferdekraft bei einem Wassermotor für Kleinindustrie während 10 Arbeitsstunden auf 8 bis 10 Francs. Dabei ist ein Wasserpreis von 0,50 Francs per eine Bruttopferdekraft für die Dauer einer Stunde (270 Metertonnen) zu Grunde gelegt und keine besondere Abwartung der Maschine gerechnet.

Fügt man nun 10 % des Anschaffungspreises (1000 Frcs. per Pferd) für die Amortisation, die Verzinsung und Reparaturen mit 0,30 Frcs. per Tag und ferner für die Abwartung, Schmiermaterial Dichtungen u. s. w., mit nur 0,50 Frcs. per Tag bei, so stellt sich also eine Pferdekraft, durch einen Wassermotor erzeugt, per Tag (10 Stunden) auf 9 bis 11 Frcs.

Bei einer kleinen Dampfmaschine stellt sich der Anschaffungspreis auf circa 2000 Frcs. per Pferd, incl. Dampfkessel, Schornstein 2c.

Für die Verzinsung, Amortisation, Reparaturen, kann man ebenfalls 10 %, also per Tag 0,6 Frcs. berechnen.

Der Kohlenverbrauch per 10 Stunden beträgt 45 Kil. gute Qualität à 1,20 Frcs.

Abwartung, Schmiermaterial, Dichtungen der Maschine und des Kessels mit 4 Frcs. täglich für 2 Pferde oder 2 Frcs. per 1 Pferd.

Eine Pferdekraft stellt sich also hier täglich auf circa 6 Frcs.

Die Calorische Maschine (System Lehmann) für 1 Pferdekraft kostet 2000 Frcs. Die Unterhaltungskosten sind größer und mit Amortisation und Verzinsung zu 15 % zu veranschlagen, macht 1 Frc. per Tag.

Der Kohlenverbrauch ist 45 Kil. täglich à 1,20 Frcs.

Abwartung, Schmiermaterial, Dichtungen circa 3 Frcs täglich.

Also Totalpreis einer Pferdekraft pro Tag circa $5\frac{1}{2}$ Frcs.

Die Gaskraftmaschine kostet 2000 Frcs. pro Pferd und consumirt 1 Cubikmeter per Stunde und per Pferd à 0,30 Frcs. bis 0,40 Frcs. Dies macht täglich 3 bis 4 Frcs.

Amortisation, Reparaturen, Verzinsung mit 15 % macht 1 Frc. pro Tag.

Abwartung, Oel, Packungen u. dgl. nur 0,60 Frcs. täglich.

Also Totalpreis der Pferdekraft täglich $4\frac{1}{2}$ bis $5\frac{1}{2}$ Frcs.

Petroleum-Motor. Wie die Gaskraftmaschine $4\frac{1}{2}$ bis $5\frac{1}{2}$ Frcs. täglich.

§ 184.

Tabelle über die absoluten Effecte der Wasserkräfte.

Producte der Gefälle und Wassermengen.

Wassermenge in Litern per Secunde	Absoluter Effect der Wasserkraft bei einem Gefälle von						
	0,75 M.	1,00 M.	1,25 M.	1,50 M.	1,75 M.	2,00 M.	2,25 M.
	Kgmet.	Kgmet.	Kgmet.	Kgmet.	Kgmet.	Kgmet.	Kgmet.
50	37,50	50	62,5	75	87,5	100	112,5
75	51,25	75	93,7	112,5	142,4	150	168,7
100	75	100	125	150	175	200	225
125	93,70	125	156,2	187,5	218,7	250	271,2
150	112,55	150	187,5	225	262,5	300	337,5
175	131,25	175	208,7	262,5	306,2	350	393,7
200	150	200	250	300	350	400	450
225	168,75	225	281,2	337,5	393,7	450	516,2
250	187,50	250	312,5	375	437,5	500	562,5
275	205,25	275	343,7	412,5	481,2	550	618,7
300	225	300	375	450	525	600	675
350	262,50	350	437,5	525	612,5	700	787,5
400	300	400	500	600	700	800	900
450	337,50	450	662,5	675	787,5	900	1012,5
500	375	500	725	750	875	1000	1125
550	412,50	550	737,5	825	962,5	1100	1237,5
600	450	600	750	900	1050	1200	1350
650	487,50	650	812,5	975	1137,5	1300	1462,5
700	525	700	875	1050	1225	1400	1575
750	562,50	750	937,5	1125	1312,5	1500	1687,5
800	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
850	637,50	850	1062,5	1275	1487,5	1700	1913
900	675	900	1125	1350	1575	1800	2025
950	712,50	950	1187,5	1425	1662,5	1900	2137
1000	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250
1050	787,50	1050	1312,5	1575	1837,5	2100	2362
1100	825	1100	1375	1650	1925	2200	2475
1150	862,50	1150	1437,5	1725	2012,5	2300	2587
1200	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700
1300	975	1300	1625	1950	2275	2600	2925
1400	1040	1400	1750	2100	2450	2800	3150
1500	1125	1500	1875	2250	2625	3000	3375
1600	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600
1700	1275	1700	2125	2550	2975	3400	3825
1800	1350	1800	2250	2700	3150	3600	4050
1900	1425	1900	2375	2850	3325	3800	4275
2000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500
2500	1875	2500	3225	3750	4375	5000	5625
3000	2250	3000	3750	4500	5250	6000	6750
3500	2625	3500	4475	5250	6125	7000	7875
4000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000
Wassermenge in Litern	0,75 M.	1,00 M.	1,25 M.	1,50 M.	1,75 M.	2,00 M.	2,25 M.

1 m = 1000 Liter 4000 – 257 000
257 000 257 . 4 = 64
17

Producte der Gefälle und Wassermengen.

Wassermenge in Litern per Secunde	Absoluter Effect der Wasserkraft in Kilgmetern bei einem Gefälle von						
	2,50 M.	2,75 M.	3,00 M.	3,25 M.	3,50 M.	3,75 M.	4,00 M.
	Kgmet.	Kgmet.	Kgmet.	Kgmet.	Kgmet.	Kgmet.	Kgmet.
50	125	137,5	150	162,5	175	185	200
75	187,5	206,2	225	243,7	262,5	281,2	300
100	250	275	300	325	350	370	400
125	312,5	343,7	375	406,2	437,5	468,7	500
150	375	412,5	450	487,5	525	555	600
175	437,5	481,2	525	568,7	612,5	656,2	700
200	500	550	600	650	700	740	800
225	562,5	618,7	675	731,2	787,5	832,5	900
250	625	687,5	750	812,5	875	925	1000
275	687,5	756,2	825	883,7	962,5	1031,2	1100
300	750	825	900	975	1050	1110	1200
350	875	962,5	1050	1137	1225	1295	1400
400	1000	1100	1200	1300	1400	1480	1600
450	1125	1237,5	1350	1462	1575	1665	1800
500	1250	1375	1500	1625	1750	1850	2000
550	1375	1512	1650	1787	1925	2045	2200
600	1500	1650	1800	1950	2100	2220	2400
650	1625	1787	1950	2112	2275	2405	2600
700	1750	1925	2100	2275	2450	2590	2800
750	1835	2062	2250	2437	2625	2775	3000
800	2000	2200	2400	2600	2800	2900	3200
850	2125	2375	2550	2762	2975	3145	3400
900	2250	2475	2700	2925	3150	3300	3600
950	2375	2612	2850	3087	3325	3515	3800
1000	2500	2750	3000	3350	3500	3700	4000
1050	2625	2887	3150	3512	3675	3885	4200
1100	2750	3025	3300	3675	3850	4070	4400
1150	2875	3162	3450	3837	4025	4255	4600
1200	3000	3300	3600	4000	4200	4440	4800
1300	3250	3575	3900	4325	4550	4810	5200
1400	3500	3850	4200	4650	4900	5180	5600
1500	3750	4125	4500	4975	5250	5550	6000
1600	4000	4400	4800	5300	5600	5920	6400
1700	4250	4675	5100	5625	5950	6290	6800
1800	4500	4950	5400	5950	6300	6660	7200
1900	4750	5225	5700	6275	6650	7030	7600
2000	5000	5500	6000	6700	7000	7400	8000
2500	6250	6875	7500	8325	8750	9250	10000
3000	7500	8250	9000	10050	10500	11100	12000
3500	8750	9625	10500	11675	12250	12950	14000
4000	10000	11000	12000	13400	14000	14800	16000
Wassermenge in Litern	2,50 M.	2,75 M.	3,00 M.	3,25 M.	3,50 M.	3,75 M.	4,00 M.

Wassermenge in Litern per Secunde	Absoluter Effect der Wasserkraft in Kilgmetern bei einem Gefälle von						
	4,25 M.	4,50 M.	4,75 M.	5,00 M.	5,50 M.	6,00 M.	7,00 M.
	Kgmet.	Kgmet.	Kgmet.	Kgmet.	Kgmet.	Kgmet.	Kgmet.
50	212,5	225	237,5	250	275	300	350
75	318,7	337,5	356,2	375	412	450	525
100	425	450	475	550	550	600	700
125	531,2	562,5	593,7	625	687	750	875
150	637,5	675	712,5	750	825	900	1050
175	733,7	787,5	831,2	875	962	1050	1225
200	850	900	950	1000	1100	1200	1400
225	956,2	1012	1069	1125	1237	1350	1575
250	1062,5	1125	1187	1250	1375	1500	1750
275	1168,7	1237	1306	1375	1512	1650	1925
300	1275	1350	1425	1500	1650	1800	2100
350	1487,5	1575	1662	1750	1925	2100	2450
400	1700	1800	1900	2000	2200	2400	2800
450	1912	2025	2137	2250	2475	2700	3150
500	2125	2250	2375	2500	2750	3000	3500
550	2337	2475	2612	2750	3025	3300	3850
600	2550	2700	2850	3000	3300	3600	4200
650	2762	2925	3087	3250	3575	3900	4550
700	2975	3150	3325	3500	3850	4200	4900
750	3187	3375	3562	3750	4125	4500	5250
800	3400	3600	3800	4000	4400	4800	5600
850	3612	3825	4037	4250	4675	5100	5950
900	3825	4050	4275	4500	4950	5400	6300
950	4137	4275	4512	4750	5225	5700	6650
1000	4250	4500	4750	5000	5500	6000	7000
1050	4462	4725	4987	5250	5775	6300	7350
1100	4675	4950	5225	5500	6050	6600	7700
1150	4887	5175	5462	5750	6325	6900	8050
1200	5100	5400	5700	6000	6600	7200	8400
1300	5525	5850	6175	6500	7150	7800	9100
1400	5950	6300	6650	7000	7500	8400	9800
1500	6375	6750	7125	7500	8250	9000	10500
1600	6800	7200	7600	8000	8800	9600	11200
1700	7225	7650	8075	8500	9350	10200	11900
1800	7650	8100	8550	9000	9900	10800	12600
1900	8075	8550	9025	9500	10450	11400	13300
2000	8300	9000	9550	10000	11000	12000	14000
2500	10625	11250	11925	12500	13750	15000	17500
3000	12750	13500	14300	15000	16500	18000	21000
3500	14875	15750	16675	17500	19250	21000	24500
4000	17000	18000	19000	20000	22000	24000	28000
Wassermenge in Litern	4,25 M.	4,50 M.	4,75 M.	5,00 M.	5,50 M.	6,00 M.	7,00 M.

§ 185.

Tabelle über die Nutzleistung der Wasserkräfte in Pferden

bei verschiedenen Güteverhältnissen in Procenten.

Absoluter Effect in Kgrmetern	Nutzleistung in Pferdekräften (à 75 Kgrmetern) bei einem Güteverhältniß von					
	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75
50	0,33	0,37	0,40	0,43	0,47	0,50
75	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75
100	0,67	0,73	0,80	0,87	0,94	1,00
125	0,83	0,92	1,00	1,09	1,17	1,25
150	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
175	1,17	1,27	1,40	1,52	1,63	1,75
200	1,33	1,46	1,60	1,73	1,87	2,00
225	1,50	1,65	1,80	1,95	2,10	2,25
250	1,67	1,83	2,00	2,15	2,34	2,50
275	1,83	2,01	2,20	2,39	2,57	2,75
300	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00
350	2,33	2,56	2,80	3,03	3,27	3,50
400	2,67	2,93	3,20	3,47	3,74	4,00
450	3,00	3,30	3,60	3,90	4,20	4,50
500	3,33	3,66	4,00	4,34	4,67	5,00
550	3,67	4,03	4,40	4,77	5,14	5,50
600	4,00	4,40	4,80	5,20	5,00	6,00
650	4,33	4,77	5,20	5,63	6,07	6,50
700	4,67	5,13	5,60	6,07	6,54	7,00
750	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50
800	5,33	5,86	6,40	6,91	7,47	8,00
850	5,67	5,23	6,80	7,37	7,91	8,50
900	6,00	6,60	7,20	7,80	8,40	9,00
950	6,33	6,97	7,60	8,23	8,87	9,50
1000	6,67	7,33	8,00	8,67	9,34	10,00
1050	7,00	7,70	8,40	9,10	9,80	10,50
1100	7,33	8,06	8,80	9,54	10,27	11,00
1150	7,67	8,43	9,20	9,97	10,74	11,50
1200	8,00	8,80	9,60	10,40	11,20	12,00
1300	8,67	9,53	10,40	11,27	12,13	13,00
1400	9,33	10,27	11,20	12,13	13,07	14,00
1500	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00
1600	10,67	11,73	12,80	13,87	14,94	16,00
1700	11,33	12,47	13,60	14,74	15,87	17,00
1800	12,00	13,20	14,40	15,60	16,80	18,00
1900	12,67	13,93	15,20	16,47	17,74	19,00
2000	13,33	14,67	16,00	17,33	18,67	20,00
2500	16,67	18,38	20,00	21,67	23,34	25,00
3000	20,00	22,00	24,00	26,00	28,00	30,00
3500	23,33	25,66	28,00	30,33	32,67	35,00
4000	26,67	29,33	32,00	34,67	37,34	40,00
Kgrmeter	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75

§ 186.

Ausfluß und Ablenkung der Wasserstrahlen.

1. Welches ist die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser aus einer Rohrleitung oder aus der Mündung eines Gefäßes ausfließt, wenn die Druckhöhe 5 Meter beträgt und die Reibungswiderstände vernachlässigt werden?

Es ist nach § 10:

$$V = \sqrt{2\,g\,H} = \sqrt{2 \,.\, 9{,}8088 \times 5} = 9{,}904 \text{ Meter in einer Secunde.}$$

2. Aus einem Gerinne E, Fig. 188 Tafel 21, fließt Wasser mit einer Geschwindigkeit von 2 Meter per Secunde aus. Welche Zeit braucht dasselbe, um von a nach c zu gelangen und wie weit gelangt der Strahl von b nach c, wenn die Höhe $a\,b = 4$ Meter beträgt?

Da für die Dauer des Falles die Formel gilt:

$$t = \sqrt{\frac{2\,h}{g}},$$

so ist die Fallzeit

$$t = \sqrt{\frac{2 \times 4}{9{,}8088}} = 0{,}9 \text{ Secunden.}$$

Da nun der Wasserstrahl in horizontaler Richtung 2 Meter in einer Secunde durchlegt, legt er in 0,9 Secunden $= 0{,}9 \times 2 = 1{,}8$ Meter zurück und dieses ist die gesuchte Weite b c.

3. Mit welcher Geschwindigkeit fließt das Wasser aus einer Rohrleitung, wenn die Druckhöhe = 10 Meter ist, und bis zu welcher Höhe erhebt sich der Wasserstrahl, und welches ist die Zeitdauer dieser Steigung?

Die Ausflußgeschwindigkeit ist bei Vernachlässigung des Reibungswiderstandes und der Contraction

$$v = \sqrt{2\,g\,h} = \sqrt{2 \times 9{,}8088 \times 10} = 14 \text{ Meter in einer Secunde.}$$

Die Dauer der Steigung ist:

$$t = \frac{c}{g} = \frac{14}{9{,}8088} = 1{,}53 \text{ Secunden.}$$

Die Steighöhe des Strahles ist:

$$h = \tfrac{1}{2}\,g\,t^2 = \tfrac{1}{2} \,.\, 9{,}81 \,.\, 1{,}53^2 = 10 \text{ Meter}$$

oder auch:

$$h = \frac{c^2}{2\,g} = \frac{14 \times 14}{2 \times 9{,}81} = 10 \text{ Meter.}$$

Anmerkung. Weitere Daten über die wirkliche Steighöhe der Wasserstrahlen unter Berücksichtigung der Widerstände siehe § 213a.

Ein ausfließender Wasserstrahl steigt daher ebenso hoch, als die seiner Ausflußgeschwindigkeit entsprechende Druckhöhe beträgt; wenn die Reibungswiderstände und der Einfluß der Contraction außer Berücksichtigung gelassen wird.

4. Ein Wasserstrahl von 0,85 Meter Dicke i fließt in einem schiefen Gerinne a b, Fig. 24 Tafel 2, gegen eine Ebene b c und zwar mit einer Geschwindigkeit von 3 Meter in einer Secunde. Mit welcher Geschwindigkeit geht der Wasserstrahl auf der Ebene b c fort und welches wird dort die Strahldicke k sein, wenn die Neigung des Gerinnes den Winkel x von 45° bildet?

Nach § 13 ist die Geschwindigkeit b g des Strahles nach dessen Brechung

$$b\,g = b\,e \cos x = 3 \,.\, \cos 45^0 = 3 \,.\, 0{,}707 = 2{,}121 \text{ Meter.}$$

Die Strahldicken dagegen verhalten sich bei gleicher Breite des Gerinnes umgekehrt wie die Geschwindigkeiten, d. h. es ist:

$$k : i = b\,e : b\,g = 3 : 2{,}121; \quad \text{und} \quad k = \frac{3 \times 0{,}85}{2{,}121} = 1{,}2 \text{ Meter.}$$

5. Um welchen Winkel muß ein Wasserstrahl gebrochen werden, wenn seine Geschwindigkeit auf die Hälfte reducirt werden soll?

Es ist:

$$\cos x = \frac{b\,g}{b\,e} = \frac{0{,}5}{b\,e} = 0{,}5,$$

welcher Zahl als Cosinus der Winkel von 60° entspricht (s. Tabelle der trigonometrischen Linien am Schluß des Bandes).

6. Ein Wasserstrahl wird aus dem Wendrohr einer Feuerspritze mit einer Geschwindigkeit V von 20 Meter in einer Secunde schief in die Höhe geschleudert und zwar in einer Richtung, welche mit dem Horizont einen Winkel a von 50° bildet. Wie weit trägt der Strahl, bis zu welcher Höhe steigt er und wie lange braucht er, um diese Höhe zu erreichen?

Nach § 14 ist die Wurfweite W der parabolischen Bahn des Wasserstrahles:

$$W = \frac{V^2 \sin 2\,a}{g} = \frac{20 \times 20 \sin (2 \,.\, 50)^0}{9{,}8088} = 40{,}2 \text{ Meter.}$$

Die Dauer der Steigung des Strahles ist:

$$1_2 = \frac{V \sin a}{g} = \frac{20 \times \sin 50^0}{9{,}8088} = 1{,}56 \text{ Secunden.}$$

Die Steighöhe des Strahles ist:

$$h = \frac{V^2 \sin^2 a}{2 . g} = \frac{20 \times 20 \sin^2 50^0}{2 \times 9{,}8088} = 12 \text{ Meter.}$$

Durch die Reibung des Wasserstrahles in der Luft wird hier der Werth von W, t_2 und h um $1/4$ bis $1/5$ vermindert.

7. Bei welcher anfänglichen Richtung eines schief in die Höhe geschleuderten Wasserstrahles wird der Strahl in horizontaler Richtung am weitesten geworfen?

Aus der Betrachtung der Formel

$$W = \frac{V^2 \sin 2 a}{g}$$

folgt, daß die horizontale Tragweite W dann am größten wird, wenn der Werth von $\sin 2 a$ ein Maximum ist. Dieses ist aber bei einem Winkel a von 45^0 der Fall, da $\sin 90^0 = 1$.

Die horizontale Tragweite wird also am größten, wenn der Strahl in einer Richtung von 45^0 gegen den Horizont in die Höhe geschleudert wird.

Die Reibungswiderstände haben auf die Größe dieses günstigsten Winkels keinen Einfluß.

8. Mit welcher Geschwindigkeit muß ein Wasserstrahl aus der Mündung eines Wendrohres ausströmen, wenn bei einer Neigung des Strahles gegen den Horizont von 60^0 die horizontale Tragweite des Strahles 30 Meter betragen soll?

Aus der Formel

$$W = \frac{V^2 \sin 2 a}{g}$$

ergiebt sich:

$$W g = V^2 \sin 2 a \quad \text{und} \quad V^2 = \frac{W g}{\sin 2 a}.$$

Es ist somit

$$V = \sqrt{\frac{W g}{\sin 2 a}} = \sqrt{\frac{30 . 9{,}8088}{\sin 120^0}} = 18{,}43 \text{ Meter.}$$

In Folge der Reibungswiderstände wird bei Geschwindigkeiten über 6—7 Meter die nöthige Ausflußgeschwindigkeit größer.

9. Welches ist im obigen Falle die gesuchte Ausflußgeschwindigkeit, wenn bei derselben Anfangsrichtung des Strahles die verticale Steighöhe h = 15 Meter betragen soll?

Aus der Formel

$$h = \frac{V^2 \sin^2 a}{2 g}$$

folgt

$$V = \sqrt{\frac{15 \times 2 \times 9,8088}{\sin^2 60^0}} = 17,3 \text{ Meter.}$$

Auch hier wird bei dem großen Werth von v derselbe durch die Reibungswiderstände um $^1/_4$ bis $^1/_6$ vermehrt.

10. Wie lange steigt ein mit 20 Meter Geschwindigkeit und 35° gegen den Horizont geneigt in die Höhe geworfener Wasserstrahl?

Es ist

$$t_2 = \frac{V \,.\, \sin a}{g} = \frac{20 \,.\, \sin 35^0}{9,8088} = 1,16 \text{ Secunden.}$$

Wegen der Reibungswiderstände wird die Zeit des Aufsteigens bei der großen Geschwindigkeit um $^1/_4$ bis $^1/_5$ kleiner; ebenso auch die Steighöhe.

§ 187.

Der Stoßheber oder hydraulische Widder.

(Umwandlung der Formeln in Metermaß.)

Der Verfasser hat schon öfter Gelegenheit gehabt, zu bemerken, daß selbst erfahrene Techniker sich die Wirkungsweise des Stoßhebers nicht recht zu erklären vermögen. Namentlich ist es das Wiederöffnen des Ventiles nach erfolgtem Stoße der Wassersäule, über welches sich mancher nicht bestimmte Rechenschaft zu geben weiß. Die Sache verhält sich folgendermaßen:

Das Gewicht des Ventiles (des Sperrventiles K, Fig. 37) ist so bedeutend, daß dasselbe in geschlossenem Zustande von der darauf ruhenden Wassersäule nicht getragen werden kann, sondern daß es ungeachtet dieses Druckes zurückfällt, d. h. sich öffnet.

Nun beträgt der Druck eines ausfließenden Wasserstrahles gegen eine ebene Fläche nach § 26 das Doppelte desjenigen der ruhend auf die Fläche drückenden Wassersäule derselben Höhe.

Sowie daher das Wasser neben und unter dem Ventile nahezu die der Druckhöhe entsprechende Ausflußgeschwindigkeit erlangt hat, wird das Ventil ganz naturgemäß mit großer Gewalt zugestoßen, sinkt aber ebenso naturgemäß in Folge seines Gewichtes wieder zurück, sowie der Stoß der in Bewegung befindlichen Wassersäule erschöpft ist, resp. die Bewegung aufgehört hat. Siehe hierüber auch § 181.

Der Grund ist hier ganz derselbe, daß ein Mann die vorher leicht zugehaltene Oeffnung eines Fasses mit aller Anstrengung nicht mehr mit der Hand zu verschließen vermag, sobald die Hand einen Augenblick von der Oeffnung weg war und der Wasserstrahl heraustritt. Der Druck ist dann eben doppelt so groß als vorher.

Bezeichnet man behufs Umrechnung der in § 20 gegebenen Regeln für den hydraulischen Widder ins Metermaß mit:

Q_2 das ganze Aufschlagwasser, welches per Minute durch die Leitungsröhre zufließt, in Cubikmetern;

Q die durch das Sperrventil abfließende Wassermenge in derselben Zeit in Cubikmetern;

Q_1 die geförderte Wassermenge per Minute in Cubikmetern;

h_1 die Förderhöhe und h das wirkende Gefälle in Metern und endlich durch l die Länge der Leitröhre in Metern, so ist der erforderliche Durchmesser der letzteren in Centimetern

$$d = 5{,}22 \sqrt{\frac{1920\,Q_2}{60}};\quad \text{ferner}\quad l = h_1 + \tfrac{1}{3}\,\frac{h_1}{h}\ \text{in Metern.}$$

Ferner wird die per Minute gehobene Wassermenge

$$Q_1 = y\,\frac{h}{h_1}\,Q_2.$$

Eytelwein hat im Ganzen über 1100 Versuche mit dem hydraulischen Widder angestellt, dessen Dimensionen schließlich folgende waren, wobei der Apparat am Vortheilhaftesten arbeitete:

Länge der Speiseröhre . .	13,33 Meter,
Weite „ „ . .	0,059 „
„ „ Steigröhre . .	0,027 „
Inhalt des Windkessels .	0,0088 Cub-Meter,
Querschnitt des Sperrventils	0,0024 □Meter.

Aus den sehr gründlichen Versuchen Eytelwein's hat derselbe die angegebenen Regeln abgeleitet, welche auch durch in neuerer Zeit in Frankreich angestellte Versuche bestätigt worden sind.

So erhielt d'Aubuisson:

$$y = 1{,}42 - 0{,}28 \sqrt{\frac{h_1}{h}}$$

und Morin:

$$y = 0{,}258 \sqrt{12{,}8 - \frac{h_1}{h}}\,.$$

Bezeichnet man die ganze Dauer eines Hubes mit 1, so ist die Zeit, während welcher das Sperrventil ganz offen bleibt, = 0,57, und die Zeit, während dasselbe ganz geschlossen bleibt, = 0,23. Der Rest von 0,20 wird für das Oeffnen und Schließen verwendet.

Construction des hydraulischen Widders.

Eytelwein wendete bei seinen Versuchen tellerförmige Ventile an; das Steigventil war von Messing und bestand entweder aus einer hängenden Klappe oder in einem horizontal ausschiebenden Tellerventil.

Ein sehr gut arbeitender Stoßheber, welchen der Verfasser in Wien im Betriebe sah, hatte nachfolgende Dimensionen in Wiener Maß.

Fig. 353 zeigt die Anordnung des Sperrventiles mit den zugehörigen Dimensionen. Dasselbe ist ein Kegelventil von 3″ 8‴ äußerem Durchmesser mit entsprechendem Ventilsitz i. Das Ventil ist aber auf seiner untern Seite mit einer Führung versehn, deren Ring f durch 6 Stege mit dem Ventilkörper verbunden ist.

Die Stege lassen zwischen sich 6 Oeffnungen von 1″ Breite und $5\frac{1}{2}$‴ Höhe für den Durchfluß des Wassers.

Auf seiner obern Seite ist das Ventil mit einer Führungsstange b versehn, auf welcher das tellerförmige zweite Ventil c sitzt. e ist ein auf der Führungsstange b befestigter Stellring.

Die Mutter d dient zum Verstellen des Ventiles a gegenüber demjenigen c, respective zur Regulirung des Hubes des erstern Ventiles.

Das neben dem Ventile a durchfließende Wasser der Speiseleitung drückt mit seiner ganzen Druckhöhe auf das Ventil c und stößt dasselbe auf, wodurch gleichzeitig das eigentliche Sperrventil a geschlossen wird.

Vermöge seines Gewichtes sinken beide Ventile nieder, sowie der Wasserstoff erschöpft ist und der Vorgang wiederholt sich leichter und rascher, als wenn das Ventil c nicht vorhanden wäre.

Das Speiserohr (Zuflußrohr) dieses Widders hatte 2″ 10‴, das Steigrohr $1\frac{1}{2}$″, das Steigventil 2″ 3‴ äußern Durchmesser. Letzteres war eine horizontal liegende Lederklappe, mit Metallplatte versteift.

Die Anordnung des Widders war wie diejenige Fig. 36 Tafel 4. Dieser Widder förderte das Wasser auf eine Höhe von 97′. Das vorhandene Gefälle war 25′.

Der Druckwindkessel hatte eine Höhe von 24″ bei einem Durchmesser von 12″. —

Das Luftventil des Mont Golfier'schen Stoßhebers (§ 18 Fig. 36) war hier nicht vorhanden, dürfte aber doch wohl sehr zweckmäßig sein, weil das Wasser unter höherem Drucke die Luft bekanntlich absorbirt.

Doppeltwirkender Saug-Widder oder Schöpfmaschine für Baugruben u. s. w.

Zum Fördern des Wassers auf größere Höhen ist der Stoßwidder sehr gut geeignet, weniger aber, wo es sich darum handelt, Wasser aus geringern Tiefen (bis zu 7 Meter) heraufzusaugen. Für diesen Zweck paßt der saugende Widder besser als der stoßende und soll daher im Nachfolgenden ein doppeltwirkender Saug-Widder, Fig. 251 und 252, Tafel 34, näher beschrieben werden, welcher von Ingenieur Leblanc construirt und zur Fundamentirung von sieben Brücken gebraucht worden ist.

Fig. 251 ist der Verticalschnitt, Fig. 252 der Grundriß des Apparates. A ist das Reservoir für das Speisewasser, das in den Canal B abfließt. C ist das Ablaufrohr für das Speisewasser, P das Sperrventil.

Der obere Theil des Rohres c ist durch ein horizontales Seitenrohr f mit dem Windkessel m verbunden, in welchen gleichzeitig das Rohr n einmündet, durch das das Wasser aus der Grube (Tiefe) herausgesaugt werden soll, welch letztere natürlich tiefer liegt als der Wasserspiegel des Ablaufcanales B.

Aus dem Reservoir A fließt nun bei geöffnetem Sperrventile P das Wasser durch das Rohr c in den Ablaufcanal. Das Sperrventil ist aber so aufgehängt, daß es vom Wasserstrome geschlossen wird, sobald letzterer eine gewisse Geschwindigkeit erlangt hat.

Vermöge der erlangten Geschwindigkeit in der Richtung des Pfeiles zieht nun das im Leitungsrohre c befindliche Wasser aus dem Windkessel m und dieser durch das Rohr n aus der Tiefe Wasser nach, bis der Stoß der Wassersäule in c erschöpft ist.

Nun würde (da die Rohre c und n zusammen einen Heber bilden) die Wassersäule in n das Uebergewicht erhalten, sinken und die Wassersäule im Rohre c in die Höhe ziehn.

Ein im Verbindungsrohr f angebrachtes, gegen c ausschlagendes Ventil g verhindert aber diese rückgängige Bewegung, indem es sich schließt.

Durch die geringe rückgängige Bewegung bis zum erfolgten Schluß des Ventiles wird das Ventil P aufgestoßen und bleibt in seiner geöffneten Lage.

Das Wasser in A tritt nun wieder in das Rohr c ein und es wiederholt sich der erwähnte Vorgang von Neuem.

Die Bewegung und Aufhängweise des Sperrventiles wäre nach dem Vorhergehenden noch nicht recht klar.

Es ist aber das Ventil P, das Leitungsrohr c und das Verbindungsrohr f mit der Saugklappe g doppelt vorhanden, wie aus dem Grundrisse ersichtlich ist.

Die beiden Ventile P sitzen nun nebeneinander und sind so an einem Balancier r aufgehängt, daß das eine sich schließt, wenn das andere sich öffnet. Es sind also eigentlich zwei getrennte saugende Widder vorhanden, welche sich gegenseitig unterstützen und die saugende Wirkung so zu sagen zu einer continuirlichen gestalten.

Der Sitz des Sperrventiles P liegt 0,50 Meter unter dem Wasserspiegel des Aufschlagwassers und es haben sämmtliche Rohre 20 Centimeter lichte Weite.

Die Länge der Leitungsröhren c ist nur 3,25 Meter, das Gefälle 1,700 Meter, die Förderhöhe 2,250 Meter.

Ueber die Leistung wird angegeben, daß dieselbe 6 hölzerne Pumpen ersetzt hat, von welchen jede 12 Arbeiter zur Bedienung erforderte, welche für eine ununterbrochene 24stündige Arbeit in 3 Rotten à 4 Mann (für jede Pumpe) abgetheilt waren.

Der größte Durchmesser der Sperrventile ist 0,350 Meter. Dasselbe besteht aus Lederscheiben, welche durch Bolzen zusammengepreßt sind.

Bei horizontaler Stellung des Balanciers stehn die Ventile P um 50 Millimeter von ihren Sitzen entfernt. — Das Saugventil g ist eine einfache Lederklappe.

Der Preis des Apparates stellte sich auf 800 Francs.

Die Differenz in der Höhe der beiden Unterwasserspiegel soll nicht kleiner als 1 Meter sein.

Dieser Apparat hat seit seiner Construction ununterbrochen für verschiedene Verhältnisse zwischen Gefälle, Wassermenge und Förderhöhe Verwendung gefunden.

Wasser-Verbrauch und Kostenpunkt der hydraulischen Widder.

Nach den in § 19 angegebenen Güteverhältnissen berechnet, stellt sich der totale Wasserverbrauch eines Stoßhebers bei einer Höhe:

$\frac{h_1}{h} =$	1 : 2	auf	das	$2\frac{1}{2}$fache	des	geförderten	Wasserquantums,
	1 : 3	"	"	$3\frac{1}{2}$ "	"	"	"
	1 : 4	"	"	5 "	"	"	"
	1 : 5	"	"	$7\frac{1}{2}$ "	"	"	"
	1 : 6	"	"	$9\frac{1}{2}$ "	"	"	"
	1 : 7	"	"	12 "	"	"	"
	1 : 8	"	"	$14\frac{1}{2}$ "	"	"	"
	1 : 9	"	"	$17\frac{1}{2}$ "	"	"	"

$$\frac{h_1}{h} = \begin{cases} 1:10 \text{ auf das } 20^1/_2\text{fache des geförderten Wasserquantums,} \\ 1:11 \quad " \quad " \quad 24^1/_2 \quad " \quad " \quad " \quad " \\ 1:12 \quad " \quad " \quad 28^1/_2 \quad " \quad " \quad " \quad " \\ 1:15 \quad " \quad " \quad 44 \quad " \quad " \quad " \quad " \\ 1:18 \quad " \quad " \quad 67 \quad " \quad " \quad " \quad " \\ 1:20 \quad " \quad " \quad 90 \quad " \quad " \quad " \quad " \end{cases}$$

Man ersieht daraus, daß der hydraulische Widder nur dann vortheilhaft ist, wo es auf eine größere Verbrauchswassermenge nicht ankommt und es sich um eine billige Anlage handelt.

Da der hydraulische Widder aber keine Bedienung erfordert, ist derselbe ein äußerst werthvolles Mittel, kleinere Wassermengen auf große Höhen zu fördern. —

Der Verfasser dieses Werkes liefert vorzügliche hydraulische Widder zu nachfolgenden Preisen:

Aufschlagwasser pro Minute

60	bis	160	Liter	Preis	120 Frcs.
160	"	300	"	"	200 "
300	"	600	"	"	250 "
600	"	1200	"	"	300 "
1200	"	2000	"	"	380 "
2000	"	3000	"	"	600 "
3000	"	6000	"	"	1500 "

Beispiel. Mittelst einer benützbaren Wasserkraft von 0,0125 Cubikmeter Wasser per Secunde und 3 Meter Gefälle soll Wasser durch einen hydraulischen Widder auf eine Höhe von 40 Meter gehoben werden. Welche Wassermenge per Minute wird gehoben und welche Dimensionen erhält der Widder?

Es ist hier zunächst nach § 20 das Güteverhältniß des Widders:

$$y = 1{,}12 - 0{,}2\sqrt{\frac{h_1}{h}} = 1{,}12 - 0{,}2\sqrt{\frac{40}{3}} = 0{,}40.$$

Die geförderte Wassermenge per Minute beträgt somit

$$Q_1 = y\frac{h}{h_1}Q_2 = 0{,}40\,\frac{3}{40} \times 60 \times 0{,}0125 = 0{,}024 \text{ Cubikmeter.}$$

Der Durchmesser der Leitungsröhre d wird, da $Q_2 = 60 \times 0{,}0125 = 0{,}75$ Cubikmeter:

$$d = 5{,}22\sqrt{\frac{1920 \,.\, 0{,}75}{60}} = 25 \text{ Centimeter.}$$

und

$$l = 40 + \frac{1}{3}\,\frac{40}{3} = 44 \text{ Meter.}$$

Hinsichtlich der Länge von l ist zu bemerken, daß bei einer Ausführung ziemlich von dieser Länge abgewichen werden kann, indem der Werth von l nur den ungefähren Werth der geringsten Rohrlänge bezeichnet. Man findet öfter ausgeführte Anordnungen mit geringerer Länge von l, doch soll wo möglich das angegebene Minimum von l eingehalten werden.

Der Saugheber.

Bevor über die Bewegung des Wassers im Saugheber ein vollständiges Beispiel gegeben werden kann, müssen die sämmtlichen Widerstandscoefficienten näher bestimmt werden und ich verweise daher dieses Beispiel zu den allgemeinen Aufgaben am Schlusse dieses Bandes.

§ 188.

Stoß des Wassers gegen ebene und gekrümmte Flächen.

1. Ein Wasserstrahl von 0,5 Quadratmeter Querschnitt F fließt mit einer Geschwindigkeit v von 4 Meter per Secunde rechtwinklig gegen eine ebene Fläche, welche sich nicht bewegen kann. Welchen Druck übt der Wasserstrahl auf dieselbe aus?

Es ist dieser Druck nach § 26:

$$P = F \frac{2 v^2}{2 g} G = 0,5 \frac{2 \times 4^2}{2 \times 9,8088} \cdot 1000 = 816 \text{ Kilogramm.}$$

2. Das Ende einer Rohrleitung ist (wie z. B. bei einem Stoßheber) mit einem Ventile von 20 Centimeter Durchmesser geschlossen. Die darauf ruhende Wassersäule beträgt vertical gemessen 15 Meter. Welches ist der Wasserdruck auf das geschlossene und welches auf das offene Ventil?

Der Druck auf das geschlossene Ventil ist gleich dem Gewichte der auf demselben ruhenden Wassersäule, also gleich

$$0,7854 \times 0,20^2 \times 15 \times 1000 = 470 \text{ Kilogramm.}$$

Der Druck auf das offene Ventil dagegen ist vermöge des Stoßes durch die Ausflußgeschwindigkeit v des Wassers

$$P = F \frac{2 v^2}{2 g} G = \frac{0,7854 \times 0,20^2 \times 2 \times \{\sqrt{2 \times 9,8088 \times 15}\}^2}{2 \times 9,8088} \times$$
$$1000 = 941 \text{ Kilogramm.}$$

Dieser letztere Druck ist also doppelt so groß wie derjenige auf das geschlossene Ventil. Es wird daher erklärlich, warum z. B. bei einem hydraulischen Widder das Sperrventil sich schließen muß, sobald das Wasser im Leitrohre eine bestimmte Geschwindigkeit angenommen hat, da in diesem Falle der Wasserdruck auf die Ventilfläche wesentlich größer ausfallen kann, als dieses bei geschlossenem Sperrventil der Fall ist. Ebenso wird daraus erklärlich, daß man mit der Hand die Oeffnung eines vollen Fasses wohl verschlossen halten kann, daß dieses aber nicht mehr der Fall ist, sobald die Hand sich einmal von der Oeffnung entfernt hat, wobei der Wasserstrahl mit einem doppelt so großen Drucke gegen die Hand preßt.

3. Ein Wasserstrahl von rechtwinkligem Querschnitte von 0,06 Meter Länge und 0,04 Meter Dicke stößt mit einer Geschwindigkeit von 8 Metern in einer Secunde rechtwinklig gegen eine ebene Fläche, die vor dem Wasserstrahl mit einer Geschwindigkeit von 3 Metern in einer Secunde zurückweicht. Welches ist der Druck des Wassers auf diese Fläche?

Nach § 27 ist

$$P = \frac{2\,(v - c)^2}{2\,g}\,F\,.\,G = \frac{2\,(8 - 3)^2}{2 \times 9{,}8088} \times 0{,}06 \times 0{,}04\,.\,1000 =$$

6,12 Kilogramm.

4. Kommt im obigen Beispiele die sich bewegende Fläche dem Wasserstrahle, statt sich von demselben zu entfernen, mit einer Geschwindigkeit von 2,5 Metern in einer Secunde entgegen, so wird der Druck

$$P = \frac{2\,(v + c)^2}{2\,g}\,F\,.\,G = \frac{2\,(8 + 2{,}5)^2}{2 \times 9{,}8088} \times 0{,}06 \times 0{,}04 \times 1000 =$$

27 Kilogramm.

5. Stößt der Wasserstrahl in Beispiel 3 unter denselben Umständen gegen eine nach Fig. 50 gebogene Fläche, so wird der Druck auf dieselbe

$$P = 2\,F\,.\,G\,\frac{2\,(v - c)^2}{2\,g} = 2 \times 0{,}06 \times 0{,}04 \times 1000\,\frac{2\,(8 - 3)^2}{2 \times 9{,}8088} =$$

12,24 Kilogramm.

6. Ein Wasserstrahl, welcher auf eine schief gegen seine Bewegungsrichtung gestellte Ebene (nach Fig. 49) mit einer Geschwindigkeit von 16 Meter per Secunde zuströmt, macht mit dieser Ebene einen Winkel a von 45⁰. Der Durchmesser d des runden Strahles ist 0,45 Meter. Welchen Druck übt derselbe auf die Fläche aus, parallel zur Strahlachse gemessen?

Man hat zunächst für den Querschnitt des Strahles $F = 0{,}7854\ d^2 = 0{,}7854 \times 0{,}45^2 = 0{,}1590$ Quadratmeter und es wird daher der gesuchte Druck, wenn der Strahl nach zwei Richtungen ausweichen kann:

$$P = F \,.\, G \frac{2\ v^2 \sin a^2}{2\,g} = 0{,}1590 \times 1000 \frac{2\,.\,16^2 \sin^2 45^0}{2 \times 9{,}808} = 2035 \text{ Kgr.}$$

7. Ist im obigen Beispiele der Druck nicht parallel der Strahlachse, sondern wie in Fig. 52 vertical in der Richtung des Pfeiles zu bestimmen, so wird derselbe nach Formel 10 § 30, wenn das Wasser sich auf der Fläche nach allen Seiten ausbreiten kann:

$$P = 2\,F_1\,G \frac{v^2 \sin a^2 \cos a}{2\,g},$$

wobei F_1 den Querschnitt des Strahles parallel zur Fläche bezeichnet.

Dieser Querschnitt bildet nun aber eine Ellypse, deren kleine Achse $\delta = 0{,}45$ Meter und deren große Achse $\delta_1 = \delta \frac{1}{\cos a} = 0{,}634$ Meter ist. Bekanntlich ist nun der Flächeninhalt einer Ellypse gleich dem Product der beiden halben Achsen multiplicirt mit der Ludolph'schen Zahl $\pi = 3{,}1416$; also

$$F_1 = \tfrac{1}{2}\,d \times \tfrac{1}{2}\,d_1 \times 3{,}1416 = \tfrac{1}{2} \times 0{,}45 \times \tfrac{1}{2} \times 0{,}634 \times 3{,}1416 = 0{,}2234 \text{ Quadratmeter.}$$

Setzt man nun in die obige Formel die entsprechenden Werthe ein, so erhält man

$$P = 2 \times 0{,}2234 \times 1000 \frac{16^2 \sin^2 45^0 \cos 45^0}{2 \times 9{,}8088} = 1971 \text{ Kilogramm.}$$

8. Kann im obigen Beispiel 6 das Wasser nur nach einer Seite ausweichen, so wird der Druck P auf die Fläche parallel zur Strahlachse

$$P = (1 - \cos \delta) \frac{v^2}{g} F \,.\, G = (1 - \cos 45^0) \frac{16^2}{9{,}81}\ 0{,}1590 \times 1000 = 1245 \text{ Kilogramm.}$$

9. Soll im Beispiel 6 der Druck senkrecht auf die Ebene gemessen und unter der Voraussetzung bestimmt werden, daß das Wasser nach zwei Richtungen ausweichen kann, so wird der Druck

$$P_2 = \frac{v^2}{g} \sin a \,.\, F \,.\, G = \frac{16^2}{9{,}81} \sin 45^0 \times 0{,}1590 \times 1000 = 2910 \text{ Kgr.}$$

10. Kann das Wasser nur nach zwei Seiten ausweichen, so wird der Druck im Beispiel 6 senkrecht auf die Strahlachse gemessen

$$P_4 = \frac{v^2}{2\,g}\ 2 \cos a \sin a \,.\, F \,.\, G = \frac{16^2}{2 \times 9{,}81}\ 2 \cos 45^0 \sin 45^0 \times 0{,}1590 \times 1000 = 2067 \text{ Kilogramm.}$$

11. Kann sich endlich das Wasser nach allen Seiten auf der gestoßenen Fläche ausbreiten, so wird der Druck parallel der Strahlachse gemessen:

$$P = \frac{2 \sin a^2}{1 + \sin a^2} \cdot \frac{v^2}{g} . F . G = \frac{2 \sin^2 45^0}{1 + \sin^2 45^0} \times \frac{16^2}{9,81} \times 0,159 \times 1000$$

$$= 2735 \text{ Kilogramm.}$$

§ 189.

Ausfluß des Wassers unter verschiedenen Pressungen.

1. Aus einem runden Gefäße fließt durch eine ebenfalls runde Oeffnung von 0,08 Meter Durchmesser Wasser aus und es beträgt der auf die Oberfläche des Wassers ausgeübte Druck $P = 5$ Atmosphären, während der äußere Druck p die gewöhnliche atmosphärische Pressung ist. Der Durchmesser b des Gefäßes ist 4,5 Meter. Mit welcher Geschwindigkeit fließt das Wasser durch a aus, wenn die Druckhöhe $H =$ 2 Meter beträgt und wenn man die Contraction und die Reibungswiderstände vernachlässigt?

Nach § 33 hat man zunächst die Querschnitte O des Gefäßes und denjenigen A der Austrittsmündung, sowie ferner die Größe der Pressungen auf die Flächeneinheit dieser Querschnitte zu bestimmen. Der Querschnitt O ist $= 0,7854\, b^2 = 0,7854 \times 4,5^2 = 15,89$ Quadratmeter $=$ abgerundet 15,9 Quadratmeter und derjenige A ist $= 0,7854 \times 0,08^2 = 0,005$ Quadratmeter. Der Druck P auf 1 Quadratmeter ist in runder Zahl 50000 Kilogramm und derjenige $p = 10000$ Kilogramm. Das Gewicht von 1 Cubikmeter Flüssigkeit ist $d = 1000$ Kilogramm.

Es wird somit die genaue Ausflußgeschwindigkeit nach Formel 1 § 33:

$$V = \sqrt{\frac{2\,gH + \frac{2\,g\,.\,(P - p)}{d}}{1 - \frac{A^2}{O^2}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 9,808 \times 2 + \frac{2 \times 9,808\,(50000 - 10000)}{1000}}{1 - \frac{0,005 \times 0,005}{15,89 \times 15,89}}} =$$

$$= 28,68 \text{ Meter per Secunde.}$$

2. Da im obigen Falle der Querschnitt des Gefäßes so groß ist, daß das Verhältniß $\frac{A^2}{O^2}$ vernachlässigt werden kann (da $\frac{A}{O}$ weniger $\frac{1}{10}$ beträgt), so kann man die Ausflußgeschwindigkeit setzen (Formel 2) § 33:

$$V = \sqrt{2\,g\,H\,\frac{2\,g\,(P-p)}{d}} =$$

$$= \sqrt{2 \times 9{,}808 \times 2\,\frac{2 \times 9{,}808\,(50000-10000)}{1000}} = 28{,}68 \text{ Meter per Sec.}$$

3. Herrscht dagegen im Innern des obigen Gefäßes nur die gewöhnliche atmosphärische Pressung, so wird

$$V = \sqrt{2\,g\,H} = \sqrt{2 \times 9{,}808 \times 2} = 6{,}27 \text{ Meter per Sec.}$$

4. Strömt aus dem obigen Gefäße statt Wasser gewöhnliche atmosphärische Luft unter einem Drucke von 5 Atmosphären aus, so ist zunächst das Gewicht d der Cubikeinheit Luft unter der Pressung P zu bestimmen.

Das Gewicht von 1 Cubikmeter Luft unter der gewöhnlichen atmosphärischen Pressung und bei 0^0 Temperatur ist = 1,3 Kilogramm und die Dichtigkeit derselben nimmt proportional der Pressung zu. Es ist somit das Gewicht $d = 1{,}3 \times 5 = 6{,}5$ Kilogramm und es wird die Ausflußgeschwindigkeit nach Formel 3 § 33 =

$$V = \sqrt{\frac{2\,g\,(P-p)}{d}} = \sqrt{\frac{2 \times 9{,}808\,(50000-10000)}{6{,}5}} =$$

$$= 347 \text{ Meter per Sec.}$$

§ 190.

Ausfluß des Wassers unter verschiedenen Umständen.

1. Es ist die Zeit t_1 zu berechnen, in welcher der Wasserstand in einem Gefäße, das keinen Zufluß hat, von der Höhe h_1 von 8 Meter bis zu derjenigen $h = 2{,}5$ Meter über der Ausflußöffnung vom Querschnitt $F = 0{,}09$ Quadratmeter herabsinkt, wenn der Querschnitt des Gefäßes $A = 4{,}7$ Quadratmeter beträgt und der Ausflußcoefficient $a = 0{,}83$ ist.

Es ist ferner die Zeit zu bestimmen, welche zur vollständigen Entleerung des Gefäßes erforderlich ist.

Nach § 78 Formel 1 ist die zuerst erwähnte Zeit t_1:

$$t_1 = \frac{A}{aF}\left(\sqrt{\frac{2\,h_1}{g}} - \sqrt{\frac{2\,h}{g}}\right) = \frac{4{,}7}{0{,}83 \times 0{,}09}\left\{\sqrt{\frac{2 \times 8}{9{,}808}} - \sqrt{\frac{2 \times 2{,}5}{9{,}808}}\right\}$$
$$= 35 \text{ Secunden.}$$

Die zur vollständigen Entleerung des Gefäßes erforderliche Zeit dagegen ist nach Formel 2 desselben Paragraphen:

$$t_0 = \frac{A}{aF}\sqrt{\frac{2\,h_1}{g}} = \frac{2\,A\,h_1}{aF\sqrt{2\,g\,h_1}} = \frac{2 \times 4{,}7 \times 8}{0{,}83 \times 0{,}09\sqrt{2 \times 9{,}808 \times 8}} =$$
$$= 80 \text{ Secunden.}$$

2. Wie viel sinkt der Wasserspiegel im obigen Gefäße in 35 Secunden oder welches ist die Höhe h_2, um welche der Wasserstand in dieser Zeit abnimmt?

Es ist für diesen Fall:

$$h_2 = \left\{\sqrt{h_1} - \frac{a\sqrt{2\,g}}{2\,A}\,F\,t\right\}^2 = \left\{\sqrt{8} - \frac{0{,}83\sqrt{2 \times 9{,}81}}{2 \times 4{,}7}\,0{,}09 \times 35\right\}^2 =$$
$$= 2{,}43 \text{ Meter.}$$

3. Wie hoch steht das Wasser im obigen Gefäße, wenn 26 Secunden Zeit zu seiner Entleerung erforderlich sind?

Aus der Formel 2 § 78 folgt:

$$2\,A\,h_1 = t_0 \times a\,.\,F\,.\sqrt{2\,g\,h_1} \quad \text{und} \quad h_1 = \frac{t_0 \times a\,.\,F\,.\sqrt{2\,g\,h_1}}{2\,A} =$$
$$= \frac{26 \times 0{,}83 \times 0{,}09\sqrt{2 \times 9{,}808 \times x}}{2 \times 4{,}7};$$

wenn x die zu suchende Größe h_1 bezeichnet.

Man probirt nun die Durchführung der Rechnung, indem man für x einen willkürlichen Werth einsetzt, bis das Resultat der Formel dem eingesetzten Werthe x gleich wird, wohin man nach einiger Ueberlegung bald gelangen wird. Setzt man z. B. für x den Werth 3, so giebt die Durchführung der Rechnung $h_1 = 1{,}5$ Meter. Es ist somit der Werth x zu groß gewählt. Setzt man nun für denselben den Werth 0,8, so wird $h_1 = 0{,}8$, was also dem eingesetzten Werthe von x entspricht.

Die gesuchte Höhe h_1 ist also = 0,8 Meter.

4. Welches ist die Zeit der Entleerung eines Gefäßes von 6,5 Quadratmeter Querschnitt, wenn demselben anfänglich eine Wassermenge Q von 0,005 Cubikmeter Wasser per Secunde durch eine Oeffnung entfließt und die Druckhöhe am Anfange 9 Meter beträgt?

Es ist hier zunächst die Größe des Querschnittes der Ausflußöffnung zu bestimmen und diese ist

$$F = \frac{1,25 \times 0,005}{\sqrt{2 \times 9,81 \times 9}} = 0,00047 \text{ Quadratmeter},$$

wenn der Contractionscoefficient 0,8 und $\frac{1}{0,8} = 1,25$ ist.

Es wird nun die Zeit der Entleerung nach § 78:

$$t_0 = \frac{A}{aF}\sqrt{\frac{2h_1}{g}} = \frac{2Ah_1}{aF\sqrt{2gh_1}} = \frac{2 \times 6,5 \times 9}{0,8 \times 0,00047\sqrt{2 \times 9,81 \times 9}} =$$
$$= 23400 \text{ Secunden.}$$

5. In welcher Zeit t_1 sinkt der Wasserspiegel eines Gefäßes von $h_1 = 9$ Meter Druckhöhe über einer Oeffnung von 0,0008 Quadratmeter Querschnitt zu der Druckhöhe $h = 2$ Meter herunter, wenn dem Gefäß per Secunde eine Wassermenge von 0,0050 Cubikmeter zufließt und der Coefficient für den Austritt 0,75 beträgt?

Es ist hier nach § 79 zunächst

$$\sqrt{k} = \frac{Q}{aF\sqrt{2g}} = \frac{0,0050}{0,75 \times 0,0008\sqrt{2 \times 9,81}} = 1,92$$

und es wird daher die gesuchte Zeit

$$t_1 = \frac{A}{aF}\sqrt{\frac{2}{g}}\left\{\sqrt{h_1} - \sqrt{h} + \sqrt{k} + \frac{\sqrt{h_1} - \sqrt{k}}{\sqrt{h} - \sqrt{k}}\right\} =$$
$$= \frac{6,5}{0,75 \times 0,0008}\sqrt{\frac{2}{9,81}}\left\{\sqrt{9} - \sqrt{2} + 1,92 + \frac{\sqrt{9} - 1,92}{\sqrt{2} - 1,92}\right\} =$$
$$= 16681 \text{ Secunden.}$$

6. In welcher Weise ist die Entleerungszeit eines Gefäßes von 6,5 Quadratmeter Querschnitt zu bestimmen, wenn außer der Druckhöhe von 9 Meter nur das in der ersten Secunde abfließende Wasserquantum $Q = 0,005$ Cubikmeter bekannt ist?

Aus der Formel

$$t_0 = \frac{2Ah_1}{aF\sqrt{2gh_1}}$$

ergiebt sich

$$t_0 = \frac{2Ah_1}{Q} = \frac{2 \times 6,5 \times 9}{0,005} = 23400 \text{ Secunden.}$$

7. Zwei Gefäße A und B, Fig. 189 Tafel 21, communiciren mit einander durch eine Röhre C. Der Querschnitt von A ist G_1 und derjenige des Gefäßes $B = G$. In welcher Zeit t geht der Niveau-Abstand h in den kleinern h_1 über, wenn der Querschnitt des Ver-

bindungsrohres C (in Fig. 189) = F und der Eintrittscoefficient für die Oeffnung i mit k bezeichnet wird.

Es ist für diesen Fall die gesuchte Zeit t:

$$t = \frac{2\,G \,.\, G_1 \sqrt{h} - \sqrt{h_1}}{k F \,.\, (G + G_1) \sqrt{2 g}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; 1)$$

Dagegen befinden sich die Niveaux in beiden Gefäßen in gleicher Höhe nach einer Zeit t_2:

$$t_2 = \frac{2\,G \,.\, G_1 \sqrt{h}}{k F \,.\, (G + G_1) \sqrt{2 g}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; 2)$$

Ist z. B. G = 2,5 Quadratmeter, G = 1,50 Quadratmeter, h_1 = 4 Meter, k = 0,75, F = 0,0080 Quadratmeter und h = 14 Meter, so wird

$$t = \frac{2 \times 2{,}5 \times 1{,}5 \sqrt{14} - \sqrt{4}}{0{,}75 \times 0{,}008 \times (2{,}5 + 1{,}5) \sqrt{2 \times 9{,}81}} = 130 \text{ Secunden.}$$

und

$$t_2 = \frac{2 \times 2{,}5 \times 1{,}5 \sqrt{14}}{0{,}75 \times 0{,}008 \times (2{,}5 + 1{,}5) \sqrt{2 \times 9{,}81}} = 280 \text{ Secunden.}$$

8. Aus einem Turbinenhause fließt das Wasser durch einen Abflußcanal von 1,3 Meter constanter Wassertiefe h und 2,7 Meter Breite B ab. Wieviel Wasser fließt im günstigsten Falle ab, wenn auf 3 Seiten der Ausflußöffnung Contraction stattfindet?

Es ist nach § 76:

$$M = 0{,}642 \, \frac{2\,h}{3} \, B \sqrt{2 g h} = 0{,}642 \times \frac{2 \times 1{,}3}{3} \times 2{,}7 \sqrt{2 \times 9{,}808 \times 1{,}3}$$
$$= 7{,}523 \text{ Cubikmeter.}$$

Natürlich fließt das Wasser nur dann mit dieser Anfangsgeschwindigkeit aus dem Turbinenhause ab, wenn der Abflußcanal ein solches Gefälle und solche Dimensionen besitzt, daß das Wasser in demselben mit der nämlichen Geschwindigkeit fortlaufen kann. Ist dieses nicht der Fall, so entspricht die Ausflußgeschwindigkeit aus dem Turbinenhause nur derjenigen im Canal.

Ist dagegen die Geschwindigkeit des Wassers im Ablaufcanale größer, so fließt nichtsdestoweniger das Wasser nur mit der obigen maximalen Anfangsgeschwindigkeit aus dem Turbinenhause fort, so daß man durch ein starkes Fallenlassen des Ablaufcanales keineswegs den Wasserstand im Turbinenhause erniedrigen kann, weil das todt im letztern befindliche Wasser nur mit der oben erwähnten maximalen Geschwindigkeit seinen Ablauf beginnt.

9. Welche Breite B muß die Ablauföffnung einer Wasserstube erhalten, wenn aus derselben 6 Cubikmeter Wasser per Secunde abfließen sollen und die Wassertiefe über der Sohle der Abflußöffnung 1,2 Meter betragen darf, indem diese Höhe durch locale Verhältnisse bedingt ist? Contraction finde auf zwei Seiten statt, so daß der Ausflußcoefficient 0,064 beträgt.

Aus der obigen Formel ergiebt sich der Werth von B durch Elimination zu:

$$B = \frac{M}{0{,}664 \frac{2\,h}{3} \sqrt{2\,g\,h}} = \frac{6}{0{,}664 \frac{2 \times 1{,}2}{3} \sqrt{2 \times 9{,}808 \times 1{,}2}} =$$

$$= 2{,}37 \text{ Meter.}$$

9. Welches wird die Wassertiefe h in der Ablauföffnung eines Wasserhauses, wenn durch eine gegebene Breite von 2,4 Meter = 3,5 Cubikmeter Wasser in einer Secunde abfließen sollen? Contraction finde nur auf einer Seite statt, so daß der Ausflußcoefficient = 0,697 beträgt.

Aus der obigen Formel (in Nr. 5) ergiebt sich der folgende Ausdruck:

$$\frac{2\,h}{3} \sqrt{2\,g\,h} = \frac{M}{0{,}697 \,.\, B} = \frac{3{,}5}{0{,}697 \times 2{,}4} = 2{,}095.$$

Es soll somit das Produkt $\frac{2\,h}{3} \sqrt{2\,g\,h}$ gleich sein der Größe 2,095. Durch probeweises Einsetzen eines beliebigen Werthes von h wird man leicht dazu gelangen, den richtigen Werth von h zu erhalten.

Setzt man z. B. versuchsweise h = 1,5 Meter, so müßte sein

$$\frac{2 \times 1{,}5}{3} \sqrt{2 \times 9{,}808 \times 1{,}5} = 5{,}53.$$

Da indessen die letztere Zahl größer ist, so ist der Werth von h zu groß angenommen worden. Setzt man daher h = 0,85, so ist

$$\frac{2 \times 0{,}85}{3} \sqrt{2 \times 9{,}808 \times 0{,}85} = 2{,}09,$$

was wirklich der Fall ist, so daß die gesuchte Höhe des Wasserstandes in der Ablauföffnung = 0,85 Meter ist.

§ 191.

Wasserdruck auf Schützen und Schleusen.

1. Wie groß ist der Druck P des Wassers auf eine Schütze von 5 Meter Breite b, bei 1,5 Meter Wassertiefe a?

Nach § 35 ist

$$P = \tfrac{1}{2} b \cdot a^2 y = \frac{1}{2} \times 5 \times 1{,}5^2 \times 1000 = 5625 \text{ Kilogramm.}$$

(1000 Kilogramm ist das Gewicht von 1 Cubikmeter Wasser.)

2. Wie groß ist der Wasserdruck auf eine Schütze, Fig. 256 Tafel 31, welche von beiden Seiten vom Wasser gedrückt wird, wenn die Wassertiefe einerseits 3 Meter, anderseits 4 Meter beträgt, und die Breite der Schütze = 2 Meter ist?

Bei diesen Verhältnissen hat man sich zu hüten, nur etwa den obern Theil ab als dem Wasserdrucke ausgesetzt zu betrachten.

Der obere Theil ab der Schütze ist hier, wie gewöhnlich, dem halben Wasserdrucke ab ausgesetzt; der untere Theil ac dagegen hat auf die ganze Fläche den vollen Wasserdruck ab zu ertragen, weil der Druck von ab sich auf die ganze Tiefe ac des Wassers fortpflanzt.

Der Druck auf die ganze Fläche bc besteht sonach aus zwei Theilen, von denen

der erste $P = 2 \times 1 \times 0{,}5 \times 1000 = 1000$ Kilo und

der zweite $P = 3 \times 2 \times 1 \times 1000 = 6000$ „

beträgt.

Der ganze Druck auf die Schütze bc in der Richtung des Pfeiles beträgt daher 7000 Kilo.

Am leichtesten kommt man in solchen Fällen zum Ziele, wenn man den Druck auf jede Seite der Schütze extra berechnet und den kleinern vom größern abzieht.

So ist z. B. der Druck auf die rechte Seite der obigen Schütze

$P = 4 \times 2 \times 2 \times 1000 = 16000$ Kilo

und derjenige auf die linke Seite $P = 3 \times 2 \times 1{,}5 \times 1000 = 9000$ Kilo.

Also die Differenz oder der wirksame Druck . . . . = 7000 Kilo wie oben.

3. Welches ist der Seitendruck CR eines Schleusenthores gegen die Widerlager, wenn (nach Fig. 60) die Neigung d der Thore gegen die Querlinie $CC = 18^0$ beträgt und die Länge eines Thores = 5 Meter, die Wassertiefe aber 2,3 Meter ist?

Man hat zunächst den Druck P auf ein Schleusenthor zu bestimmen und es ist derselbe

$$P = \frac{1}{2} \times 5 \times 2{,}3^2 \times 1000 = 13225 \text{ Kilogramm.}$$

Der Seitendruck nach der Richtung $D_1 S_1$ ist

$$= \frac{P}{2 \sin 2 d} = \frac{13225}{2 \sin 36^0} = 12770 \text{ Kilogramm.}$$

Der schiefe Seitendruck CR dagegen wird

$$= \frac{P}{2 \sin d} = \frac{13225}{2 \times 0{,}309} = 21400 \text{ Kilogramm.}$$

§ 192.

Kraftanwendung zum Aufziehn der Schützen.

Nach besondern, über diesen Gegenstand angestellten Versuchen ist die Reibung zwischen einer Schütze und ihrer Unterlage für den ersten Moment des Hebens, also für den Anfang der Bewegung = 0,65 und während des Aufziehens selbst = 0,25 des ganzen Druckes P der Schütze auf ihre Unterlage, d. h. des Wasserdruckes auf die Schütze.

Es ist demnach diese Kraft zum Aufziehn: $P = 0{,}65\, a\, b\, h\, y +$ dem Gewichte der ganzen Schütze, weniger dem Gewichte des von ihr verdrängten Wassers.

Ist demnach a die Höhe des eingetauchten Theiles, b die Breite der Schütze, h die Entfernung des Schwerpunktes unter dem Oberwasserspiegel, oder wenn die Schütze auf beiden Seiten unter Wasser steht, der Niveauabstand beider Wasserspiegel, G das Gewicht und I das Gewicht des von ihr verdrängten Wassers, so ist die Kraft zum Aufziehn für den Anfang der Bewegung:

$$P = 0{,}65\, a\, b\, h\, y + G - I.$$

Natürlich muß bei der Uebersetzung an der Aufzugvorrichtung eines Schützenzuges die zum Anfang der Bewegung erforderliche Kraft berücksichtigt werden und es kann zur Ueberwindung des ersten Widerstandes ein Druck auf die Kurbel von 30 Kilogramm angenommen werden, so daß dieser Druck während des übrigen Theiles des Aufziehens nur $30 \times \frac{0{,}25}{0{,}65} = 12$ Kilogramm beträgt.

b) Bei Anwendung von Schrauben und Schneckenrädern hat man zu berücksichtigen, daß ungefähr $^2/_3$ bis $^4/_5$ des Druckes auf die Kurbel zur Ueberwindung der Reibungswiderstände consumirt werden, hat also die Uebersetzung 3- bis 4mal so groß zu machen, als dieß sonst geschehn müßte. Bei Anwendung von gewöhnlichen Stirnrädern und conischen Getrieben darf man dagegen die Reibungswiderstände beinahe vernachlässigen, da diese Organe nur einen sehr geringen Theil der Kraft absorbiren. Da dieselben indessen bei Schützengetrieben selten so exact und sorgfältig ausgeführt, die Achsenlager auch nicht regelmäßig geschmiert werden und dieselben meist den Einflüssen der Witterung ausgesetzt sind, darf man in Berücksichtigung der Reibungswiderstände auch hier eine um $^1/_3$ bis $^1/_2$ größere Uebersetzung in Anwendung bringen.

§ 192 a.

Ueber den Kraftverlust beim Schneckentrieb.

Es kann befremden, daß durch die Anwendung von Schnecke und Rad ein so bedeutender Theil der treibenden Kraft verloren geht.

In der That sind aber die gewöhnlichen Schnecken und Schneckenräder so construirt, daß den angestellten Versuchen gemäß wenigstens $^3/_5$ der treibenden Kraft durch dieselben verloren gehen, so daß also, wo außer Schnecke und Rad noch anderweitige Räderübersetzungen vorhanden sind, die treibende Kraft unter allen Umständen wenigstens $2^1/_2$ bis 3mal größer ausfällt, als dem vorhandenen Uebersetzungsverhältnisse entspricht.

Da dieser Umstand in der Regel zu wenig berücksichtigt wird, so folgen hier noch die Regeln, nach welchen Schnecke und Rad ausgeführt werden müssen, wenn durch dieselben ein bestimmter Theil der treibenden Kraft nutzbar wird, sowie diejenigen zur Bestimmung des Kraftverlustes.

Nennt man nämlich $\frac{N_1}{N}$ das Verhältniß $\frac{\text{Uebertragene Kraft}}{\text{Treibende Kraft}}$ und ist

$\frac{N_1}{N} =$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$
so muß sein:				
$\frac{R}{d} =$	0,290 i	0,254 i	0,231 i	0,215 i
$\frac{\beta}{d} =$	3,48	3,01	2,77	2,57
$\frac{d_1}{d} =$	$0,794 \sqrt[3]{i}$	$0,693 \sqrt[3]{i}$	$0,630 \sqrt[3]{i}$	$0,585 \sqrt[3]{i}$

dabei bedeutet: i die Anzahl der Zähne des Schneckenrades,
R den Halbmesser " "
d " Durchmesser der Schneckenwelle,
d_1 " " " Schneckenradwelle,
β die Zahnbreite des Schneckenrades.

Soll z. B. für eine Regulir-Welle eines Schützenzuges oder einer Turbine eine Schnecke mit Rad so construirt werden, wenn nur die Hälfte der treibenden Kraft verloren geht, so wird für ein Rad mit 36 Zähnen

$$\frac{R}{d} = 0,29 \times 36 = 10,44 \quad \text{und} \quad R = 10,44\, d;$$

für eine Schneckenwelle von 39 Millimeter Dicke müßte somit das Schneckenrad einen Halbmesser von

$$10{,}44 \times 39 = 407 \text{ Millimeter}$$

erhalten, was ungewöhnlich viel ist.

Um diese großen Dimensionen zu umgehn, hilft sich die Praxis dadurch, daß sie die Räder viel schwächer construirt, als es der Stärke der Wellen entsprechen würde, welche letztern allerdings auch wesentlich stärker gewählt werden, als sie zur Uebertragung der Kraft eigentlich sein müßten; wenn aber Rad und Welle gleich stark sein sollen, müssen sie nach den obigen Regeln ausgeführt sein.

Die Größe, welche die Schnecke erhalten muß, damit nur ein bestimmter Theil der treibenden Kraft verloren geht, ist leicht durch folgende Regel zu bestimmen:

Es ist nämlich: $\frac{N}{N_1} = 1 + \frac{r}{t}$, wenn r der Halbmesser der Schnecke (über den Theilkreis gemessen) und t die Zahntheilung des Schneckenrades ist.

Wenn der Halbmesser $r = 3\,t$ ist, so wird $\frac{N}{N_1} = 4.$

" " " $r = 1{,}6\,t$ " " " $\frac{N}{N_1} = 2{,}6.$

" " " $r = t$ " " " $\frac{N}{N_1} = 2.$

" " " $r = 2\,t$ " " " $\frac{N}{N_1} = 3.$

Ist z. B. die Theilung eines Schneckenrades 36 Millimeter und der Halbmesser der Schnecke 72 Millimeter, so wird $r = 2\,t$ und es muß 3mal so viel Kraft auf die Schneckenwelle ausgeübt werden, als das Schneckenrad überträgt.

Gewöhnlich wendet man bei einer Theilung von 36 Millimeter eine Schnecke von 100 Millimeter Durchmesser an, so daß $r = 1{,}4$ und $\frac{N}{N_1} = 2{,}5$ ist, wobei also nur $^1/_{2,5}$ der Kraft nutzbar wird.

1. Eine Schützenfalle, Fig. 190 Tafel 21, von 4,5 Meter Länge ist einem Wasserdrucke von 2 Meter ausgesetzt. Dieselbe wiegt sammt den Beschlägen und Zahnstangen zum Aufziehn 25 Centner. Welche Kraft ist zum Aufziehn derselben erforderlich?

Der eingetauchte Theil der Schütze verdrängt bei einer Dicke von 9 Centimetern $0{,}09 \times 4{,}5 \times 2 = 0{,}8$ Cubikmeter Wasser im Gewichte von 800 Kilogramm.

Nun ist der Wasserdruck auf die Schütze $= a\,b\,h\,y = 4{,}5 \times 2 \times 1 \times 1000 = 9000$ Kilogramm und es wird die Kraft zum Aufziehn der Schütze für den Anfang der Bewegung:

$$P = 0{,}65\,a\,b\,h\,y + G - I = 0{,}65 \times 9000 + 1250 - 800 = \\ = 6300 \text{ Kilogramm.}$$

Nimmt man nun an, daß die Schütze mit 2 Zahnstangen versehen sei, welche nach Fig. 190 Tafel 21 durch ein Stirnrad von 0,18 Meter Diam., ein Schneckenrad von 0,80 Meter Diam. und eine Schnecke von 0,15 Meter Diam. durch eine Kurbel von 36 Centimeter Länge (welche Dimension man diesen Kurbeln in der Regel giebt) gehoben werden sollen, daß ferner, wie bereits oben erwähnt, der gewöhnliche größte Druck auf die Kurbel 30 Kilogramm nicht übersteigen soll, so ergiebt sich folgendes Verhältniß zur Bestimmung des Uebersetzungsverhältnisses:

In Folge der Absorption der treibenden Kraft an der Kurbel durch die Reibungswiderstände durch Achsenlager, Schnecke und Rad ist die erforderliche Uebersetzung dreimal so groß anzunehmen, als sie beim directen Aufziehn der Schütze erforderlich wäre, also

$$3 \times \frac{6300}{30} = 630\text{fach.}$$

Hat nun die Schnecke ein einfaches Gewinde und giebt man dem Schneckenrade 80 Zähne, hat ferner die Kurbel einen 4mal so großen Halbmesser als das Stirnrad c, so ist die Uebersetzung $= 4 \times 80 = 320$fach.

Durch eine einzige Kurbel kann daher diese Schütze nicht gehoben werden, sondern es sind dazu 2 Mann erforderlich, wobei eine Uebersetzung von $3 \frac{6300}{2 \times 30} = 315$ erforderlich ist, was den angegebenen Verhältnissen entspricht.

In Wirklichkeit muß eine Schütze immer durch einen einzigen Mann also durch einen Druck von 30 Kilo auf die Kurbel für den Anfang der Bewegung) gehoben werden können und es ist daher im obigen Falle statt zweier Kurbeln nur eine solche, dagegen aber noch eine Räderrücksetzung anzuwenden, welche zwischen Kurbel und Schnecke eingeschaltet wird.

Man hat bei der Befestigung des Schützentriebsupports wohl darauf zu achten, daß auch zum Herablassen der Schütze eine ganz bedeutende Kraft erforderlich ist, indem dieselbe bei vorhandenem größerem Wasserdrucke keineswegs von selbst herunterfällt.

So ist z. B. bei den obigen Dimensionen und Verhältnissen, wie überhaupt im Allgemeinen die folgende Kraft zum Herabdrücken der Schütze erforderlich:

$$P_2 = 0{,}25\, a\, b\, h\, y + I - G.$$

Diese Kraft wird daher in unserem Falle $= 0{,}25 \times 9000 + 800 - 1250 = 2077$ Kilogramm, also über $\frac{1}{3}$ der Kraft, welche zum Heben der Schütze erforderlich ist.

Diese Kraft ist beim Herabdrücken der Schütze anfänglich klein, so lange nur ein kleiner Theil derselben ins Wasser eintaucht, wird aber nach und nach größer, bis zum gänzlichen Herunterdrücken der Schütze schließlich die angegebene Kraft erforderlich ist.

In Berücksichtigung der Geschwindigkeit des beim Herablassen gegen die Schütze anfließenden Wassers wird dieser Druck gegen das Ende der Bewegung noch wesentlich größer, so daß man in der Praxis für das Oeffnen und Schließen der Schützen dieselbe Kraft als erforderlich annehmen kann.

Wenn dagegen kein größerer Wasserdruck vorhanden ist, ist zum Herunterlassen der Schütze nur eine sehr geringe Kraft erforderlich, so daß diese oft von selbst herunterfällt.

§ 193.

Drehschützen.

Beim Schließen einer verticalen Schütze muß nach dem Vorhergehenden ein oft sehr bedeutender Wasserdruck überwunden werden, d. h. es werden die Antriebgestelle solcher Schützen mit großer Gewalt nach oben gezogen, so daß man dieselben sehr solid mit den Fundamenten verankern muß. Schon öfter mußte dieses mit großen Schwierigkeiten nachträglich geschehn, wo es bei der ersten Anlage vernachlässigt wurde, und man bringt daher in neuerer Zeit an denjenigen Stellen gerne horizontale Drehschützen (mit verticaler Achse) an, wo ein Abschluß durch eine große Schütze bewerkstelligt werden soll.

Solche Drehschützen sind z. B. vor den Einläufen in das Turbinenhaus der Papierfabrik und Holzschleiferei in Perlen bei Luzern angewendet worden und es fällt bei denselben die große Kraft zur Bewegung deshalb größtentheils weg, weil der Wasserdruck diese Bewegung nicht so sehr erschweren kann.

Diese Schützen bestehn in einer gewöhnlichen hölzernen Schützenwand von 9 Centimeter Stärke bei einer ganzen Breite von 4,5 Meter und einer Wasserhöhe vor denselben von 1,350 und 1,800 Meter, welche an einer gußeisernen Achse von 105 Millimeter Stärke festgeschraubt ist. Die Achse, in der Mitte der Schütze angebracht, dreht sich in Lagern und trägt oben ein Schneckenrad von 1 Meter Durchmesser, in welches eine Schnecke von 0,27 Meter Durchmesser und einfachem Gewinde eingreift. An der Schneckenachse von 60 Millimeter Dicke sind an beiden Enden Kurbeln von 0,36 Meter Länge angebracht. An einer Stelle können diese Drehschützen von den im Innern des Gebäudes befindlichen Holländern aus regulirt werden, wobei das Regulirungsgetriebe 45 Millimeter Durchmesser hat, da es mittelst conischer Räder von 22 in 44 Zähnen (32 Millimeter Theilung) und 420 und 210 Millimeter Durchmesser bei 75 Millimeter Breite rückwärts übersetzt.

Die untern Bodenlager h dieser Drehschützen haben einen Durchmesser der Zapfen von 105 Millimeter und sind mit 25 Millimeter dicken, $3\frac{1}{2}$ Fuß langen, in die Betonmasse eingegossenen Ankerschrauben fest mit dem Fundamente verbunden.

Die Bewegung dieser Drehschützen ist eine verhältnißmäßig sehr leichte, indessen halten dieselben etwas weniger dicht, als gut ausgeführte verticale Ziehschützen, was indessen bei so großen Wasserbau-Anlagen nicht viel zu sagen hat.

Die Flügel, auf welche die hölzerne Schütze festgeschraubt ist, haben eine Dicke von 33 Millimeter, eine Breite von 0,60 Meter; die Schrauben sind $\frac{3}{4}$" engl. = 19 Millimeter Dicke.

Um die zur Bewegung einer solchen Schütze erforderliche Kraft näher festzustellen, hat man zunächst den Wasserdruck auf die geschlossenen Flügel zu bestimmen. Es ist derselbe:

$$P = a\,b\,h\,y = 1{,}8 \times 4{,}5 \times 0{,}9 \times 1000 = 7290 \text{ Kilogramm.}$$

Nun beträgt der Reibungscoefficient für verticale Drehachsen, welche selten oder gar nicht geschmiert werden können, 0,12 bis 0,10 des Druckes, d. h. es ist die zum Drehen dieser Achsen erforderliche Kraft $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{10}$ des auf ihnen lastenden Druckes.

Nehmen wir in unserm Falle, wo ein Schmieren des unter Wasser befindlichen Zapfens ungeachtet der an der Schütze zu diesem Zwecke angebrachten Vorrichtung nicht erwartet werden kann, den Coefficienten der Zapfenreibung zu $\frac{1}{8}$ = 0,12 an, so wird die zur Bewegung der Schütze beim Oeffnen erforderliche Kraft $P = 0{,}12 \times 7290 = 875$ Kilogramm.

Hat das auf den Achsen der Drehschütze angebrachte Schneckenrad 90 Zähne, so ist die Uebersetzung desselben, wenn die Schnecke einfaches Gewinde hat, eine 90fache und es ist somit nach Anmerkung b des vorigen Paragraphen die auf die Schnecke zu übertragende Kraft $P = \frac{875}{90} \times 3 = 29$ Kilogramm.

Mittelst eines Handrades vom 4fachen Durchmesser der Zapfen ist die durch den Arbeiter am Umfange des Rades auszuübende Kraft auf $^{29}/_{4} = 7$ Kilogramm reducirt.

Je mehr sich übrigens die Schütze öffnet, um so weniger Fläche bietet sie dem durchfließenden Wasser dar und um so geringer ist die zu ihrer Bewegung erforderliche Kraft. Am leichtesten ist der Anfang des Schließens und am schwierigsten die erste Ingangsetzung beim Oeffnen der Schütze zu bewerkstelligen.

§ 193 a.

Holzstärke der Schützenzüge.

Bei einem jeden Schützenzuge hat das unterste Brett desselben den größten Wasserdruck auszuhalten und man hat daher hinsichtlich der Stärkeverhältnisse nur das unterste Brett zu berücksichtigen, welches die ganze Wassertiefe als drückende Wassersäule auszuhalten hat.

Ist b die Breite, h die Höhe und d die Dicke eines Schützenbrettes, so bricht dasselbe bei einem gleichmäßig vertheilt gedachten Wasserdrucke von

$$P = \frac{h\,d^2}{b} \times \frac{8}{b} \times 400 \text{ Kilogramm für Tannenholz.}$$

Gewöhnlich berechnet man die Schützen für 5fache Sicherheit und es hält ein Brett sodann einen Druck aus von

$$P_1 = \frac{100\,h\,d^2}{b} \text{ Kilogramm.}$$

Ein Schützenbrett von 1 Meter Breite (der Schütze) hält bei 5facher Sicherheit einen Druck aus von

$$P_1 = h\,d^2 \text{ Kilogramm.}$$

Die nachfolgende Tabelle enthält die Druckhöhe in Metern, welche ein tannenes Schützenbrett von gegebener Breite b (nicht Höhe) bei verschiedener Dicke mit 5facher Sicherheit aushält:

Tabelle über die Holzdicke der Schützenzüge.

Dicke der Bretter in Millimetern.	Zulässige Druckhöhe in Metern bei 5facher Sicherheit; für eine Breite der Schütze von							
	m 1,000	m 1,500	m 2,000	m 2,500	m 3,000	m 3,500	m 4,000	m 5,000
30	0,900	0,670	0,450	0,400	0,300	0,260	0,225	0,180
45	2,025	1,500	1,012	0,800	0,675	0,590	0,505	0,405
60	3,600	2,700	1,800	1,500	1,200	1,050	0,900	0,720
75	5,600	4,200	2,800	0,230	1,870	1,650	1,400	1,120
90	8,100	6,000	4,050	3,30	2,700	2,350	2,000	1,600
105	11,020	8,260	5,510	4,600	3,700	3,300	2,750	2,200
120	14,400	10,800	7,200	6,000	4,800	4,200	3,600	3,000

(Eichenholz hält eine um die Hälfte größere Druckhöhe aus.)

§ 194.

Reaction einer ausfließenden Wassermasse.

Nach § 16 übt jede aus einem Gefäße oder Reservoir ausfließende Wassermenge einen Druck auf die gegenüberliegende Wandung des Behälters aus, welcher in § 77 näher bestimmt ist.

1. Wie groß ist der Reactionsdruck auf die Wandung eines Behälters mit 4,5 Meter Wasserhöhe, wenn der Querschnitt der Austrittöffnung 0,0095 Quadratmeter beträgt und der Ausflußcoefficient $a = 0{,}78$ ist?

Der Reactionsdruck wird nach § 77:

$$R = \frac{Q\gamma}{g} u = 2\gamma a F \frac{u^2}{2g} = 2\gamma a F . h =$$

$$2 \times 1000 \times 0{,}78 \times 0{,}0095 \times 4{,}5 = 65{,}5 \text{ Kilogramm.}$$

2. Vergleicht man die Größe des Reactionsdruckes mit demjenigen, welcher nach § 26 durch einen in Bewegung befindlichen Wasserstrahl gegen eine diesem vertical entgegenstehende Fläche ausgeübt wird, so findet man, daß der Wasserdruck in beiden Fällen gleich groß ist, d. h.:

Der Reactionsdruck ist gleich dem Drucke, welchen dieselbe Wassermasse bei derselben Ausflußgeschwindigkeit beim Stoß auf eine ruhende, vertical zur Ausflußrichtung gestellte Fläche ausübt.

3. Aus einer Rohrleitung A, Fig. 193 Tafel 21, von 1,2 Meter lichter Weite fließt das Wasser mit einer Geschwindigkeit von 2 Metern aus.

Welches ist der Druck R nach der Richtung des Pfeiles, welcher auf das Kniestück A ausgeübt wird und welchen die Befestigungsschrauben auszuhalten haben?

Es ist der Querschnitt der Rohrleitung $= 0{,}7854 \times 1{,}2^2 = 1{,}13$ Quadratmeter und somit der Reactionsdruck in entgegengesetzter Richtung des Wasseraustrittes

$$R = 2\,y\,.\,a\,.\,F\,.\,\frac{u^2}{2\,g} = 2 \times 1000 \times 0{,}95 \times 1{,}13 \times \frac{2^2}{2 \times 9{,}808} =$$

438 Kilogramm,

wobei $a = 0{,}95$ den Ausflußcoefficienten für den Wasseraustritt bezeichnet.

4. Wie man aus diesem Beispiele sieht, ist der Reactionsdruck bei großen Wasserleitungen wohl in Berücksichtigung zu ziehn, indem an den Austritt- und den Kniestücken solcher oft Kraftwirkungen ins Spiel kommen, die nicht so leicht ins Auge fallen und eine gute Verankerung der erwähnten Stücke erfordern. Damit die Schrauben nicht auf Abscheerung in Anspruch genommen werden, wird die Fußplatte solcher Kniestücke 15 bis 20 Millimeter in den Fundamentstein eingelassen. —

§ 195.

Die Fahrgeschwindigkeit der Schiffe.

Man hat schon unzählige Male die Frage ventilirt, ohne sich, zumal in nicht technischen Kreisen, eine befriedigende Beantwortung geben zu können, warum denn die Schnelligkeit der See- resp. Meer-Dampfer nicht bedeutend vermehrt werde, da man ja nur stärkere Maschinen in denselben anzubringen hätte.

Man schließt dann gewöhnlich, daß allerdings für die gleiche Zeit die Quantität der mitzuführenden Kohlenvorräthe größer sein müßte; wenn man aber die Fahrgeschwindigkeit vermehre, so daure die Zeit ein und derselben Fahrt auch in dem Maße weniger lang, so daß die Kohlenvorräthe nicht größer ausfallen müssen.

Dieß scheint nun auf den ersten Blick allerdings so zu sein; man findet jedoch bei näherer Betrachtung, daß sich einer wesentlich größern Fahrgeschwindigkeit unübersteigliche Hindernisse in den Weg legen.

Wie in § 37 angeführt ist, ist die erforderliche Betriebskraft eines Schiffes nicht nur seiner Geschwindigkeit, sondern dem Cubus derselben proportional, so daß eine 2 mal so große Geschwindigkeit $2^3 = 8$ mal, und eine 3 mal größere Geschwindigkeit eine $3^3 = 27$ mal größere Betriebskraft und Kohlenmenge im Gefolge haben müßte. Eine größere Geschwindigkeit hat somit eine bedeutende Vergrößerung des ganzen Schiffes, d. h. eine Vertheuerung des ganzen Betriebes in doppelter Hinsicht zur Folge. Aus diesem Grunde wird die jetzt übliche Fahrgeschwindigkeit der Dampfer niemals eine bedeutend größere werden können, so lange nicht ein billiges Brennmaterial von geringem Gewichte entdeckt wird, welches die Concentrirung eines großen Heizwerthes in einem kleinen Raume gestattet, so daß eine Vermehrung der Schiffsgeschwindigkeit keine Vergrößerung des Schiffes selbst mehr im Gefolge hat.

Ein solches Brennmaterial wäre das Petroleum, doch ist dieses ein zu gefährlicher Stoff, obwohl die mit demselben angestellten Versuche in anderer Hinsicht sehr befriedigend ausgefallen sind.

Aufgaben. 1. Welche Kraft erfordert ein Schiff zum Betriebe, dessen Länge 30 Meter, die Breite 8 Meter, die Tauchung 4 Meter beträgt, wenn seine Geschwindigkeit 4 Meter in einer Secunde betragen soll und die Umfangsgeschwindigkeit der Schaufelräder gegen das Schiff 8 Meter beträgt?

Das Verhältniß zwischen Real- und Nominaleffect sei $= \frac{2}{3}$ *).

Nach § 38 ist zunächst der Werth

$$k = 0{,}309 \left\{ \tfrac{2}{3} \frac{L}{T} + 2 \frac{L}{B} \right\} \text{ zu bestimmen.}$$

Dieser ist $k = 0{,}309 \left\{ \frac{2}{3} \times \frac{30}{4} + 2 \frac{30}{8} \right\} = 3{,}862$. Und es wird nun die erforderliche Betriebskraft in Pferden: $Nu = \frac{k\,Q}{75} u^3 \frac{\frac{v}{u}}{\frac{Nr}{Nu}} =$

$$\frac{3{,}862 \times 8 \times 4}{75} \times 4^3 \frac{\frac{8}{4}}{\frac{2}{3}} = 315 \text{ Pferde.}$$

2. Welche Geschwindigkeit wird das obige Schiff besitzen, wenn die Maschine desselben 150 nominelle Pferdestärken hat und das Verhältniß zwischen Nominal- und Realeffect $\frac{Nu}{Nr} = \frac{3}{2}$ ist? Es wird die Fahrgeschwindigkeit u:

*) Siehe § 196 folgender Seite.

$$u = \sqrt[3]{\frac{75\ Nu\left(\frac{Nr}{Nu}\right)}{k\ Q\left(\frac{v}{u}\right)}} = \sqrt[3]{\frac{75 \times 150\left(\frac{2}{3}\right)}{3{,}862 \times 8 \times 4\left(\frac{8}{4}\right)}} = 3{,}10 \text{ Meter}$$

per Secunde.

§ 196.

Nominal- und Realeffect eines Motors.

Das Verhältniß zwischen dem sogenannten Nominaleffect (nominellen Pferdestärke) und dem Realeffect (wirkliche Pferdestärke) ist nicht zu verwechseln mit dem in § 175 behandelten absoluten Effect und dem Nutzeffect. Die Bezeichnung „Nominaleffect" kommt ausschließlich bei den Dampfmaschinen vor und ist nur in England, in Deutschland und Frankreich dagegen meist nicht üblich und rührt davon her, daß man die wirkliche Leistung der Dampfmaschinen in frühern Zeiten, wo man noch keine verläßlichen Kraftmesser zur Verfügung hatte, meist zu gering anschlug, indem man ihnen der Größe entsprechend eine Anzahl nomineller Pferde zuschrieb, während sich dann später der wirkliche Effect oder die thatsächliche Kraftleistung als bedeutend größer herausgestellt hat.

Diese letztere wirkliche Leistung einer Dampfmaschine nennt man nun den Realeffect, zum Unterschiede von dem (nur nach der Schätzung beurtheilten) Nominaleffect.

Unsinniger Weise haben aber die Engländer ihre Methode der Kraftbezeichnung einer Dampfmaschine durch Angabe des früher üblich gewesenen Nominaleffectes (nach der Schätzung beurtheilten Effectes) beibehalten, ohne daß dabei ein constantes Verhältniß des Nominal- und Realeffectes zu Grunde gelegt und angegeben wird. Im Allgemeinen ist aber eine nominelle Pferdekraft ungefähr = $^3/_2$ wirkliche Pferdestärken.

Die Ursache, warum die sonst so practischen Engländer bei dieser Bezeichnungsweise stehn geblieben sind, ist aber darin zu suchen, daß eine Dampfmaschine von bestimmter Größe einen sehr verschiedenen Realeffect entwickelt, je nachdem man dieselbe bei gleichem Dampfdrucke langsamer oder schneller arbeiten läßt. Arbeitet sie doppelt so schnell, so leistet sie auch nahe doppelt so viel und umgekehrt. Man muß daher, wenn man den Realeffect einer Maschine angiebt, auch immer beifügen, bei welcher Kolbengeschwindigkeit dieser Realeffect erzielt wird, um ein Urtheil über die Größe und den eigentlichen commerciellen Werth derselben zu haben. Rationell ist indessen einzig die Angabe des Realeffectes und es ist sehr fatal, daß die Engländer diese sinnverwirrende Bezeichnung gegenüber dem Auslande hartnäckig beibehalten haben.

Wird bei der Angabe des Realeffectes die zu Grunde liegende Anzahl Umdrehungen nicht angegeben, so ist dieselbe allerdings auch nicht rationell und man thut daher beim Ankauf von Maschinen gut, gar nicht nach der Pferdestärke, sondern nach Cylinderdurchmesser und Hublänge der betreffenden Maschine zu fragen.

§ 197.

Aufgaben über die Schraube als Treibapparat.

1. Welche Betriebskraft (Realeffect) erfordert ein Schiff von 45 Meter Länge, 10 Meter Breite und 6 Meter Tauchung, wenn es durch eine Schraube betrieben werden soll, deren Projection auf die Querebene = 3,8 Quadratmeter und deren Winkel $a = 45^0$ beträgt?

Es ist zunächst

$$k = 0,309 \left\{\frac{2}{3}\,\frac{L}{T} + 2\,\frac{L}{B}\right\} = 0,309 \left\{\frac{2}{3}\,\frac{45}{6} + 2\,\frac{45}{10}\right\} = 4,326.$$

und $z = 0,307$; $A = B\,T = 60$, und es wird sodann die erforderliche Betriebskraft nach § 39, wenn das Schiff 6,8 Meter per Secunde Fahrgeschwindigkeit haben muß:

$$Nr = \frac{k\,Q}{75}\,u^3 \left\{1 + \sqrt{\frac{k\,Q}{k_1\,Q_1}\,\frac{1}{z}}\right\} =$$

$$\frac{4,326 \times 60}{75} \times 6,8^3 \left\{1 + \sqrt{\frac{4,326 \times 60}{102 - 3,8} \times \frac{1}{0,307}}\right\} = 2700 \text{ Pferde}.$$

Dagegen würde diese Kraft bei 3 Meter Fahrgeschwindigkeit nur $Nr = 233$ Pferdestärken.

2. Welche Anzahl Umdrehungen muß die obige Schraube machen, wenn der Winkel a derselben wie gewöhnlich 30^0 beträgt?

Es ist

$$n = 145\,\frac{u}{B} = 145\,\frac{6,8}{10} = 98,6 \text{ per Minute}.$$

3. Welches ist die erforderliche Betriebskraft des Schiffes, wenn der Winkel $a = 30^0$ und die Fahrgeschwindigkeit 4 Meter per Secunde beträgt?

Es ist:

$$Nr = 0{,}043\, B^2 u^3 = 0{,}043 \times 10^2 \times 4^3 = 275 \text{ Pferde}$$

und es macht die Schraube

$$n = 145 \frac{u}{B} = 145 \frac{4}{10} = 58 \text{ Umdrehungen per Minute.}$$

§ 198.

Aufgaben über die Turbine als Treibapparat.

1. Das obige Schiff soll durch eine Turbine in Betrieb gesetzt werden mit einer Geschwindigkeit von 6,8 Meter per Secunde. Der Winkel y, § 40, ist 40°; $R = 2{,}5$ Meter, $R_2 = 2{,}25$ Meter und $R_1 = 2{,}75$ Meter.

Wie groß wird die Betriebskraft, die Anzahl Umdrehungen der Turbine und der Winkel β?

Es ist zunächst wie in 1. des vorigen Paragraphen

$$K = 0{,}309 \left\{\frac{2}{3}\,\frac{45}{6} + 2\,\frac{45}{10}\right\} = 4{,}326, \text{ Ferner } O = 0{,}0945\, B^2 = 9{,}45$$

$$\sin\beta = \frac{\sin y}{1 + \frac{K\,O}{k\,o}} = \frac{\sin 40^0}{1 + \frac{4{,}326 \times 60}{102 \times 9{,}45}} = 0{,}504; \text{ also } \beta = 30^0. -$$

$$n = \frac{30}{\pi}\,\frac{U}{R \operatorname{tang}\beta} = \frac{30}{3{,}1416}\,\frac{6{,}8}{2{,}5 \times \operatorname{tang} 30^0} = \frac{30}{3{,}1416}\,\frac{6{,}8}{2{,}5 \times 0{,}577} =$$

45 Umdrehungen per Minute,

ferner

$$N = \frac{K\,O\,U^3}{75}\,\frac{\operatorname{tang}\frac{1}{2}(\beta + y)}{\operatorname{tang}\beta} = \frac{4{,}326 \times 60 \times 6{,}8^3}{75}\,\frac{\operatorname{tang}\frac{1}{2}(30^0 + 40^0)}{\operatorname{tang} 30^0}$$

$$= \frac{4{,}326 \times 60 \times 6{,}8^3}{75}\,\frac{0{,}70}{0{,}57} = 1335 \text{ Pferde.}$$

2. Es sei im obigen Falle der Winkel $y = 30^0$. Welches werden die Werthe der Größen β, n und N?

Es wird:

$$\beta = 25^0\, 24'; \; n = 134 \frac{U}{B} = 134 \frac{6{,}8}{10} = 91 \text{ per Minute;}$$

ferner:

$$N = 0{,}059\, Q\, U^3 = 0{,}059 \times 10 \times 6 \times 6{,}8^3 = 1130 \text{ Pferdekräfte.} -$$

§ 199.

Das Schöpfrad.

1. Ein Schöpfrad nach Fig. 69, Tafel 5 (§ 42), hat die nachfolgenden Dimensionen und es ist die durch dasselbe gehobene Wassermenge Q und die Nutzleistung L zu bestimmen, welche zum Heben dieses Wasserquantums erforderlich ist.

Das Rad hat einen äußern Durchmesser von 10 Meter; hat 30 Eimer, deren jeder bei einer Breite von 2 Meter $^1/_4$ Cubikmeter Wasser faßt und dabei bis zu $^1/_4$ angefüllt wird. Das Rad macht 6 Umdrehungen per Minute und es befinden sich die Canäle, in welche das Wasser sich ergießt, in einer Höhe von 7 Meter über dem Unterwasserspiegel. Das Wasser wird indessen zur vollständigen Entleerung noch um 1 Meter über den Wasserspiegel der oberen Canäle emporgehoben.

Es ergiebt sich nun die per Secunde emporgehobene Wassermenge zu:

$$Q = \frac{n}{60} V u = \frac{n u V}{60} = \frac{6 \times 30 \times 0{,}25}{60} = 0{,}75 \text{ Cubikmeter per Sec.}$$

Der zum Betrieb des Rades erforderliche Nutzeffect wird:

$$L = \left(h + h_1 + \frac{V^2}{2g}\right) \frac{n u}{60} V y \times 1{,}25 =$$

$$\left(7 + 1 + \frac{3{,}1^2}{2 \times 9{,}808}\right) \frac{30 \times 6}{60} 0{,}25 \times 1000 \times 1{,}25 = 843 \text{ Kilgmeter.}$$

$$= 11{,}2 \text{ Pferde.}$$

Die in diesem Beispiele gewählte Umfangsgeschwindigkeit ist eine außerordentlich große und soll dieselbe in der Praxis nicht über 1 Meter per Secunde betragen.

2. Wären bei dem obigen Rade aus einer zu hebenden Wassermenge von 0,8 Cubikmeter per Secunde die erforderlichen Dimensionen zu bestimmen, so hat man zu erwägen, daß der Durchmesser durch die gegebene Förderhöhe von 7 Meter bestimmt wird und ungefähr 10 Meter zu betragen hat. Aus der obigen Formel ergiebt sich dann:

$$n u V = 60 Q; \; V = \frac{60 Q}{n u}; \; n = \frac{60 Q}{u V}; \; u = \frac{60 Q}{n V}.$$

Nimmt man nun z. B. das Rad 2 Meter breit an, so wird das Volum eines Eimers bei einer Anzahl von 30 Eimern circa 1 Cubikmeter, wenn man das Rad 0,5 Meter tief macht. Rechnet man nun

$^1/_4$ Füllung, so ist $V = 0{,}25$ und $n = 30$ und es wird nun die erforderliche Anzahl Umdrehungen:

$$u = \frac{60\,Q}{n\,V} = \frac{60 \times 0{,}8}{30 \times 0{,}25} = 6{,}4 \text{ per Minute.}$$

3. Wäre dagegen die Anzahl Umdrehungen durch locale Verhältnisse zu 2 per Minute bestimmt, so würde bei 30 Eimern das erforderliche Volum

$$V = \frac{60\,Q}{n\,u} = \frac{60 \times 0{,}8}{30 \times 2} = 0{,}8 \text{ Cubikmeter,}$$

d. h. es müßte das ganze Volumen eines Eimers bei $^1/_4$ Füllung $= 4 \times 0{,}8 = 3{,}2$ Cubikmeter betragen.

Da nun die Umfangstheilung des Rades circa 1 Meter beträgt, so müßte das Product von Umfangstheilung, Breite und Tiefe $= 3{,}2$ Cubikmeter sein.

Bei einer Tiefe von 1 Meter würde daher das Rad 3,2 Meter Breite erhalten müssen.

4. Wenn schließlich der leichtern Ausführung halber ein geringeres Volumen V von 0,12 Meter und eine Anzahl Umdrehungen von 3 per Minute gewählt werden soll, so ergiebt sich die erforderliche Anzahl Eimer zu

$$n = \frac{60\,Q}{u\,V} = \frac{60 \times 0{,}8}{3 \times 0{,}12} = 133;$$

was auf practische Schwierigkeiten stößt.

Bei einer Füllung von $^1/_3$ würde der Inhalt eines Eimers $= 3 \times 0{,}12 = 0{,}36$ Cubikmeter und bei einer Breite von 1 Meter und einer Tiefe von 0,36 Meter würde das Rad $= \frac{0{,}36}{1 \times 0{,}36} = 1$ Meter Theilung; also 133 Meter Umfang oder 42 Meter Diam. erhalten, was nicht ausführbar wäre. Man hätte somit eine größere Breite und Tiefe des Rades zu wählen.

§ 200.

Das Spiralrad.

1. Ein Spiralrad nach Fig. 70 und 71, § 42, hat 6 Abtheilungen oder Spiralen und es ist die von jeder Abtheilung derselben aufgefaßte Wassermenge ein Segmentkörper von 3 Meter Länge, 2 Meter Breite und 0,85 Meter Tiefe und es macht das Rad 8 Umdrehungen in einer

Minute. Welches ist die per Secunde gehobene Wassermenge und welche Kraft erfordert es zum Betriebe, wenn die Förderhöhe 4 Meter beträgt?

Es ist zunächst der Inhalt eines Segmentes oder Wasserkörpers

$$V = \frac{2}{3} a . b . l = \frac{2}{3} \times 0{,}85 \times 2 \times 3 = 3{,}4 \text{ Cubikmeter}$$

und die per Secunde gehobene Wassermenge:

$$Q = \frac{n}{60} u \frac{2}{3} a . b . l = \frac{n u}{90} a . b . l = \frac{6 \times 8}{90} 0{,}85 \times 2 \times 3 =$$
$$2{,}72 \text{ Cubikmeter per Secunde.}$$

Bei der Bestimmung der zum Heben erforderlichen Kraft ist zu berücksichtigen, daß dieselbe wegen der Reibungswiderstände auch hier um $^1/_4$ größer ausfällt, als die Formel § 42 dieselbe angiebt. Diese Kraft wird somit:

$$1{,}25 \frac{1}{6{,}75} n u a . b . l . h = 1{,}25 \frac{1}{6{,}75} 6 \times 8 \times 0{,}85 \times 2 \times 3 \times 4 =$$
$$181 \text{ Pferde.}$$

2. Hat man umgekehrt aus der per Secunde zu hebenden Wassermenge von z. B. 0,5 Cubikmeter und der Förderhöhe $h = 2{,}4$ Meter die Dimensionen eines solchen Spiralrades zu bestimmen, so hat man zu erwägen, daß eine oder mehrere der gesuchten Dimensionen nach dem Gefühle, oder probirweise oder aber nach localen Verhältnissen passend angenommen werden müssen, wonach die übrigen sich dann ergeben.

Es ist z. B. nach der obigen Formel:

$$\frac{2}{3} a . b . l = \frac{60 Q}{n u}.$$

Nimmt man daher für das Rad 5 Abtheilungen an und will man dem Rade 4 Umdrehungen per Minute geben, so müßte eine Spirale leicht den Wasserkörper:

$$\frac{2}{3} a b l = \frac{60 \times 0{,}5}{5 \times 4} = 1{,}5 \text{ Cubikmeter}$$

auffassen können.

Nach der Aufzeichnung würde sich dann Länge und Tiefe dieses Wasserkörpers ergeben, woraus dann leicht die erforderliche Radbreite gefunden werden kann.

Bei manchen Annahmen wird es sich treffen, daß die zuletzt bestimmte Dimension nicht in einem passenden Verhältnisse mit den übrigen Dimensionen steht und dann sieht man sogleich, welche Aenderung in den gemachten Annahmen vorzunehmen ist, um bei einer Wiederholung der Rechnung ans gewünschte Ziel zu kommen.

§ 201.

Das Wurfrad.

Gehobene Wassermenge per Secunde und dazu erforderlicher Kraftbedarf ist bei einem Wurfrade, Fig. 72, § 42, von nachfolgenden Dimensionen zu bestimmen:

Das Rad hat 5,5 Meter Diam.; 18 Schaufeln von 1,2 Meter Tiefe und 1,5 Meter Breite; es macht 3 Rev.

Das per Schaufelraum aufgefaßte Wasservolum ist bei $^1/_3$ Füllung 0,6 Cubikmeter.

Die Wassermenge per Secunde, die gehoben wird, ist:

$$Q = \frac{n}{60} V u = \frac{n u V}{60} = \frac{18 \times 3 \times 0{,}6}{60} = 0{,}54 \text{ Cubikmeter.}$$

Die Förderhöhe ist 2,2 Meter und $h_1 = 0{,}60$ Meter; daher die zum Heben erforderliche Kraft bei $^1/_4$ Zuschlag für Nebenhindernisse:

$$L = 1{,}25 \left(h + h_1 + \frac{v^2}{2 g}\right) \frac{n u}{60} V y =$$

$$1{,}25 \left(2{,}2 + 0{,}60 + \frac{0{,}86^2}{2 \times 9{,}808}\right) \frac{18 \times 3}{60} \times 0{,}6 \times 1000 =$$

1920 Kilgmeter. oder 25,6 Pferde.

§ 202.

Archimedische Spirale.

1. Die Länge des wasserhaltenden Bogens einer Wasserschnecke nach Fig. 75 beträgt 0,95 Meter und der Durchmesser der Röhren ist 0,22 Meter und bilden dieselben 3 Windungen oder Spiralen, welche 25 Umdrehungen in einer Minute machen.

Welches ist die per Secunde gehobene Wassermenge und welche Kraft erfordert dieselbe zum Betriebe, wenn man für die Nebenhindernisse (Reibungswiderstände) $^1/_3$ der erforderlichen Kraft zuschlägt?

Es ist nach § 42:

$$Q = \frac{n u}{60} V = \frac{n u}{60} F . l = \frac{3 \times 25}{60} \times 0{,}7854 \times 0{,}22^2 \times 0{,}95 =$$

0,412 Cubikmeter,

und die zur Umdrehung erforderliche Arbeit bei einer Förderhöhe von 4,2 Meter:

$$L = \frac{n u}{60} V h y = \frac{n u}{60} F l h y = \frac{3 \times 25}{60} \times 0{,}038 \times 0{,}95 \times 4{,}2 \times 1000$$

$$= 1730 \text{ Kilgmeter}$$

und bei $\frac{1}{3}$ Zuschlag für die Nebenhindernisse $= 1{,}33 \times \frac{1730}{75} =$

30,6 Pferdekräfte.

§ 203.

Holländische Wasserschraube.

1. Der äußere Durchmesser $2r$ einer solchen Schraube ist 0,85 Meter; der parallel der Achse gemessene Abstand der Schraubengewinde $= h_1 = 0{,}49$ Meter; der Neigungswinkel der Schraubenfläche $a = 15^0$. Wieviel Schraubengewinde n_1 muß diese Schraube haben und welche Wassermenge fördert sie bei 33 Umdrehungen u per Minute, wenn die gefaßte Wassermenge eines Gewindes 0,010 Cubikmeter beträgt?

Es wird:

$$n_1 = \frac{2 \pi r \operatorname{tang} a}{h_1} = \frac{2 \times 3{,}14 \times 0{,}425 \operatorname{tang} 15^0}{0{,}49} = 1{,}47 \text{ oder } = 2.$$

Die per Secunde geförderte Wassermenge Q wird:

$$Q = \frac{n_1 u}{60} V = \frac{2 \times 33}{60} \times 0{,}010 = 0{,}011 \text{ Cubikmeter per Secunde}$$

und die erforderliche Betriebskraft L für eine Förderhöhe von 3 Meter bei $\frac{1}{4}$ Zuschlag für die Nebenhindernisse:

$$L = \frac{n u}{60} V h y \times 1{,}25 = \frac{2 \times 33}{60} \times 0{,}010 \times 3 \times 1000 \times 1{,}25 =$$

41,3 Kilgmeter. per Secunde.

2. Fig. 4 auf Tafel 26 zeigt die constructive Anordnung einer hölzernen holländischen Wasserschraube, wie sie zum Entleeren der Baugruben mit großem Vortheil verwendet wird, sobald die Förderhöhe des Wassers nicht mehr als 8 bis 10′ oder 3 Meter beträgt. Dieselbe erhält im Durchmesser 40 bis 60 Centimeter; eine Länge von circa 6 Meter; ein 3faches Gewinde mit einer Steigung gleich dem Durchmesser der Schnecke. Ja der Schraubengang ist aus 20 bis 25 Stücken auf eine Windung zusammengesetzt. Die einzelnen Brettchen der Gänge greifen mit Zapfen in die in die Welle c eingeschnittene Nuthe ein und

sind außerdem unter sich durch hölzerne Nägel verbunden. Um den ebenfalls hölzernen äußern Mantel sind in je 1 Meter Entfernung eiserne Zugbänder oder Reifen angebracht, um demselben dichten Verschluß durch Anziehn der Bänder ertheilen zu können. In der Regel läßt man die einzelnen Brettchen der Schraubengänge ebenfalls in eine Nuthe des äußern Mantels eingreifen, was einerseits die Festigkeit erhöht, anderseits eine leichtere Abdichtung der Gänge von einander gestattet.

Hinsichtlich der Aufstellung ist die Lage der Schnecke in einem Winkel von 30° die vortheilhafteste und hat sich bei den Versuchen von D'Aubuisson und Hachette in Frankreich herausgestellt, daß man mittelst einer solchen Schnecke von 6 Meter Länge, mit 3fachem Gewinde von 50 Centimeter Durchmesser bei 35 Umdrehungen in einer Minute ein Wasserquantum von 45 Cubikmeter per Stunde auf $3\frac{1}{2}$ Meter Höhe heben konnte, wobei 9 Arbeiter zum Betriebe erforderlich waren. Gewöhnlich rechnet man durch einen Mann während 6 Arbeitsstunden 16 Cubikmeter Wasser per Stunde auf einen Meter Höhe zu fördern. —

Gewöhnlich werden 3 Schraubengewinde auf der Spindel angebracht. Der innere Durchmesser des Cylinders beträgt das 3fache desjenigen des Kernes und wechselt von 300 bis 700 Millimeter.

Die Länge ist 12- bis 18mal größer als der Durchmesser des Cylinders.

Auf dem Kerne aufgerissen beträgt der Winkel, welchen die Schiefe der Gänge mit der Achse des Kernes bildet, gewöhnlich 60°. Die alten Römer nahmen in der Regel 45°; Eytelwein nahm bei seinen Versuchen 78°; bei Versuchen in Toulouse hatte man eine Schiefe von 45°.

Die Neigung der Schraubenachse gegen den Horizont kann von 30° bis 45° betragen, und die Wirkung wird am besten, wenn der Unterwasserspiegel etwas über die Mitte der unteren Oeffnung reicht. Hinsichtlich der Leistungsfähigkeit eines Arbeiters an einer gut construirten holländischen Schraube kann man annehmen, daß dieselbe stündlich 15 Cubikmeter auf 1 Meter Höhe beträgt, wobei der Arbeiter 6 bis 8 Stunden zu arbeiten vermag. Die holländische Schraube ergiebt eine weit bessere Leistung, wenn der Cylinder sich sammt dem Gewinde dreht, und also letzteres dicht mit dem Cylinder vereinigt ist, als wenn, wie oft der Fall, der Kasten feststeht und die Spirale in demselben sich mit dem nöthigen Spielraum dreht, durch welch letztern ein wesentlicher Verlust stattfindet. —

§ 204 a.

Wasserversorgung.

1. **Wasserbedarf für verschiedene Zwecke.** Zur Bestimmung des Wasserbedarfs bei der Anlage eines Pumpwerkes kann man sich der nachstehenden mittlern Werthe bedienen:

Es ist der tägliche Verbrauch an Wasser

für eine Person durchschnittlich	20	Liter (Kilogramm),
„ ein Pferd oder eine Kuh	75	„
„ einen Wagen zur Reinigung . . .	40—75	„
„ ein Bad	300	„
„ einen Quadratmeter Garten	1,4	„
„ „ „ Straßenbesprengung	1	„
„ „ Gossenspülhahn	5000	„

Durchschnittlich gerechnet kann man die für die verschiedenartigsten Zwecke verbrauchte Wassermenge in Städten zu 30 bis 40 Liter für jeden Einwohner rechnen.

Dieß gilt indessen nur für ganz große Städte.

In Paris wird ferner verbraucht:

Per 1 Quadratmeter Garten oder Allee	3	Liter	täglich,	
Für jede Werkstätte (boutique) .	100	„	„	
Per Pferdekraft Dampfmaschine Hochdruck	3500	„	„	(in 10 Stunden),
Per Pferdekraft Dampfmaschine mit Expansion und Condensation	6000	„	„	„ „ „
Per Pferdekraft Niederdruck-Dampfmaschine	10000	„	„	„ „ „
Per Hectoliter Biererzeugung . .	200	„	„	
Per Bad	300	„	„	
Spülung der Pissoirs ꝛc. per 1 Hahn	5000	„	„	

Paris verbraucht ferner 13500000 Liter täglich für öffentliche Brunnen.

Im Ganzen verbraucht Paris täglich 180 bis 200 Liter Wasser für jeden Einwohner.

Für kleinere Städte und Ortschaften ist Folgendes zu bemerken: eine sehr reinliche Arbeiterfamilie, bestehend aus Vater Mutter und 3 Kindern, consumirt 40 Liter Wasser täglich.

Im Mittel darf angenommen werden, daß jeder Mensch täglich 2 Liter Wasser für seine innern und 18 Liter für seine äußern Bedürfnisse, im Ganzen somit 20 Liter bedarf.

Auf einem Schiffe (wo sehr sparsam mit Wasser umgegangen wird) beträgt der tägliche Wasserverbrauch 3 Liter per Mann und es kann somit der minimale Wasserverbrauch auf dem Lande nicht unter 5 Liter per Person angenommen werden.

Allgemein wird verbraucht:

30 Liter täglich von besser situirten Personen,
10 " " " Schülern, Studenten und Militärs,
5 " " " Arbeitern.

In neuerer Zeit, wo die Wassermotoren für Kleinindustrie große Verbreitung erlangt haben, muß der Wasserverbrauch für industrielle Zwecke ganz besonders berücksichtigt werden.

Ein einpferdiger Wassermotor consumirt circa 70 bis 80 Cubikmeter Wasser täglich bei der gewöhnlich vorhandenen Druckhöhe von 60—70 Meter.

2. Wasserverbrauch verschiedener Städte.

	Einwohner:	Liter täglich per Person:
Rom in der Gegenwart	175000	944
New-York	450000	410
Besançon	43500	246
Dijon	29800	240
Marseille	215200	186
Richemonde	20000	180
Bordeaux	140000	170
Genua	140000	120
Glasgow	330000	100
London	2500000	95
Paris	1729000	90
Manchester	360000	84
Brüssel	264000	80
Genf	40000	74
Philadelphia	250000	70
Edinburg	195000	55
Havre	65000	45
Metz	60000	25

In dem täglichen Wasserverbrauche von 90 Liter für Paris sind 55 Liter für öffentliche Zwecke inbegriffen, so daß auf jede Person täglich nur noch 35 Liter entfallen.

In London dagegen entfallen 80 Liter auf jede Person, nach Abzug von 15 Liter für öffentliche Zwecke.

3. **Preis des Wassers.** In Paris bezahlt man:

Täglicher Wasserverbrauch:	Preis per Jahres-Abonnement:
250 Liter	60 Frcs. für Quellwasser,
500 „	100 „ „ „
1000 „	60 „ „ gewöhnliches Flußwasser, 120 „ „ Quellwasser.

Dieser Preis bleibt derselbe pro Cubikmeter bis zu einem täglichen Wasserverbrauche von 5000 Litern; von 5000—10000 Litern täglichem Consum beträgt der Preis nur noch 50 bis 100 Frcs. (letzteres für Quellwasser) und bei einem täglichen Consum von 10—20000 Litern vermindert der Preis sich auf 40 bis 80 Frcs.

Bei über 20 Cubikmeter täglichem Consum sinkt der Preis niemals unter 25 Frcs. pro Jahr per 1 Cubikmeter (täglich) für Flußwasser und 55 Frcs. pro Jahr per Cubikmeter täglich für Quellwasser.

Einzelne Wassermengen außer dem regelmäßigen Abonnement werden abgegeben zu:

150 Liter und weniger	0,10 Frcs.,
150—200 „	0,15 „
200—250 „	0,20 „
250—300 „	0,25 „

In Zürich, wo die städtische Wasserversorgung das Wasser zum Selbstkostenpreise hergiebt, kostet der Cubikmeter Wasser:

a) für den Hausgebrauch in kleinern Quantitäten . . 0,15 Frcs.,
b) „ außergewöhnlichen Privatgebrauch in größern Mengen 0,10 „
c) „ industrielle Gewerbe „ „ „ 0,75 „
d) zu öffentlichen Zwecken . . . . 0,50 „
e) Zum Betriebe von Motoren für die Kleinindustrie wird bei der Bestimmung des Preises die Druckhöhe mit in Berücksichtigung gezogen und zwar in der Weise, daß 270 Meter-Tonnen brutto (eine Pferdekraft per Stunde) auf 0,50 Frcs. zu stehen kommt.

Der letztere Preis, bei welchem eine effective Pferdekraft täglich (in 10 Stunden) 8 bis 10 Frcs. kostet, ist schon so bedeutend, daß diese Betriebsweise nur für kleine mit Unterbrechungen arbeitende Maschinen vortheilhaft sein kann, als Ersetzung des Handbetriebes. Nichtsdestoweniger sind allein in der Stadt Zürich und Umgebung über 60 solcher

Motoren im Betriebe und nimmt deren Anzahl rasch zu. (Siehe auch § 190 a.) —

Der 2. Band dieses Werkes bringt genaue Constructions-Zeichnungen der bewährtesten Systeme solcher Wasser-Motoren, welche bei besonders guter Instandhaltung (bei Versuchen z. B.) bis gegen 80 % und bei gewöhnlichem Betriebe circa 70 % Nutzleistung gewähren. Siehe hierüber auch § 46 und die Figuren Tafel 10 und 11. —

§ 204 b.

Pumpen.

1. **Kolbengeschwindigkeit.** Diese soll bei gut ausgeführten Pumpen nicht über 0,25 bis 0,30 Meter per Secunde und bei weniger sorgfältig ausgeführten Pumpen nicht über 0,3 bis 0,35 Meter per Secunde betragen, so daß große doppelt wirkende Pumpen von über 30 Centimeter Kolbendurchmesser und 50 bis 60 Centimeter Hub nicht über 10 bis 15 Umdrehungen oder Doppelhube; kleinere Pumpen aber nicht über 20 bis 30 Umdrehungen oder Doppelhube per Minute machen sollen.

2. **Die Geschwindigkeit des Wassers in den Saug- und Steigröhren** soll nicht über 1 bis 1,2 Meter in einer Secunde betragen.

Bezeichnet v_2 die Geschwindigkeit des Wassers in diesen Röhren per Secunde und Q die per Secunde zu fördernde Wassermenge, so wird der Durchmesser d_2 der Saug- und Steigröhren:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4\,Q}{\pi\, v_2}} \text{ und daher bei 1 Meter Geschwindigkeit: } d_2 = \sqrt{\frac{4\,Q}{\pi}}.$$

3. **Der Querschnitt der Ventile** soll gleich sein dem Querschnitt der Saug- und Druckröhren. Der Hub der Ventile muß immer in der Weise gewählt werden, daß der Querschnitt für den Durchfluß des Wassers nirgends kleiner ist als der Querschnitt des Ventils.

Beispiele: a) Eine einfachwirkende Pumpe soll per Secunde eine Wassermenge von 0,020 Cubikmeter oder 20 Liter fördern. Welche Dimensionen erhält sie?

Es wird nach § 43 der Querschnitt F des Pumpenkolbens:

$$F = \frac{2\,Q}{u\,.\,v} = 2{,}353\,\frac{Q}{v}.$$

Nimmt man nun eine mittlere Kolbengeschwindigkeit von $v = 0{,}30$ Meter an, so wird:

$$F = 2{,}353\,\frac{0{,}020}{0{,}30} = 0{,}156 \text{ Quadratmeter}$$

und daher der Kolbendurchmesser:

$$d = \sqrt{\frac{4\,F}{\pi}} = 1{,}1284 \sqrt{F} = 1{,}1284 \sqrt{0{,}156} = 0{,}45 \text{ Meter.}$$

Soll nun die Geschwindigkeit des Wassers in den Saug- und Druckröhren 1,2 Meter betragen, so wird der Durchmesser derselben, sowie derjenige der Ventile

$$d_2 = \sqrt{\frac{4\,Q}{\pi\,v_2}} = \sqrt{\frac{4 \times 0{,}020}{3{,}14 \times 1{,}2}} = 0{,}14 \text{ Meter.}$$

Giebt man dieser Pumpe, wie es für diese Größe passend ist, einen Hub gleich dem doppelten Kolbendurchmesser $= 2 \times 0{,}45 = 0{,}9$ Meter, so beträgt der Kolbenweg eines doppelten Hubes (bei einer Umdrehung) 1,8 Meter und er braucht $\frac{1{,}8}{0{,}30} = 6$ Secunden zu einem solchen Doppelhube und somit hat diese Pumpe $= \frac{60}{6} = 10$ Doppelhube oder Umdrehungen in einer Minute zu machen.

b) Welches Wasserquantum vermag eine doppelt wirkende Pumpe von 0,30 Meter Kolbendurchmesser und 0,60 Meter Hub in einer Secunde zu fördern?

Es wird bei einer Kolbengeschwindigkeit von 0,28 Meter per Secunde das in derselben Zeit gelieferte Wasserquantum

$$Q = \frac{0{,}85\,F\,v}{0} = 0{,}85 \times 0{,}7854 \times 0{,}30^2 \times 0{,}28 = 0{,}0166 \text{ Cubikmeter.}$$

c) Welches sind die Dimensionen einer doppeltwirkenden Pumpe, welche per Minute 3 Cubikmeter Wasser fördern soll?

Die per Secunde zu liefernde Wassermenge ist $\frac{3}{60} = 0{,}05$ Cubikmeter und es wird bei einer Kolbengeschwindigkeit von 0,25 Meter per Secunde:

$$F = 1{,}1765 \frac{Q}{v} = 1{,}1765 \frac{0{,}05}{0{,}25} = 0{,}235 \text{ Quadratmeter.}$$

und

$$d = 1{,}1284 \sqrt{F} = 1{,}1284 \sqrt{0{,}235} = 0{,}54 \text{ Meter.}$$

Statt dessen würde man in Wirklichkeit passender eine 2cylindrige Pumpe von je 39 Centimeter Kolbendurchmesser wählen.

Darf das Wasser in den Saug- und Steigröhren nur 0,8 Meter Geschwindigkeit per Secunde erhalten, so wird der Durchmesser derselben

$$d_2 = \sqrt{\frac{4\,Q}{\pi\,.\,v_2}} = \sqrt{\frac{4 \times 0{,}05}{\pi \times 0{,}8}} = 0{,}28 \text{ Meter.}$$

§ 205 a.

4. Betriebskraft der Pumpen. Nennt man h die Förderhöhe und Q die in einer Secunde zu liefernde Wassermenge, so ist die erforderliche effective Betriebskraft in Pferden:

a) für sehr vollkommene Pumpwerke:

$$N = \frac{\left(1 + \frac{1}{10}\right) 1000\, Q\, (h + z)}{75},$$

b) für gut gearbeitete gewöhnliche Pumpen:

$$N = \frac{\left(1 + \frac{2}{10}\right) 1000\, Q\, (h + z)}{75},$$

c) für weniger sorgfältig ausgeführte Pumpen:

$$N = \frac{\left(1 + \frac{2{,}5}{10}\right) 1000\, Q\, (h + z)}{75},$$

wobei z die Widerstandshöhe oder die Höhe der Wassersäule bezeichnet, welche zur Ueberwindung der Reibung des Wassers in den Rohrleitungen erforderlich ist.

Der Werth von z muß nach den Regeln der §§ 166 und 167 berechnet werden.

Beispiel. Welche Kraft in Pferdestärken ist zum Betrieb einer Pumpe erforderlich, welche per Secunde 0,080 Cubikmeter Wasser auf 15 Meter Höhe fördern soll, wenn die Widerstandshöhe $z = 2$ Meter beträgt? Die Pumpe ist vorzüglich gearbeitet.

Es ist

$$N = \frac{\left(1 + \frac{1}{10}\right) 1000\, Q\, (h + z)}{75} = \frac{\left(1 + \frac{1}{10}\right) 1000 \times 0{,}08 \times (15 + 2)}{75}$$

$$= 20 \text{ Pferde}.$$

Diese Pumpe würde eine Kolbengeschwindigkeit von 0,27 Meter per Secunde erhalten und es würden die Dimensionen derselben, wenn man sie doppeltwirkend macht:

$$F = 1{,}1765 \frac{Q}{v} = 1{,}1765\, \frac{0{,}080}{0{,}27} = 0{,}341 \text{ Quadratmeter}$$

$$d = 1{,}1284 \sqrt{F} = 1{,}1284 \sqrt{0{,}341} = 0{,}65 \text{ Meter},$$

an dessen Stelle man passender zwei Cylinder wählen würde, welche zusammen denselben Querschnitt und daher einen Durchmesser von

47 Centimeter erhalten, und d_2 für 1 Meter Geschwindigkeit des Wassers in den Röhren:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4\,Q}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0{,}080}{3{,}14}} = 0{,}316 \text{ Meter.}$$

§ 205 b.

Pumpen für Wasserversorgungen.

Zur Förderung des Wassers auf große Höhen von 40 bis 120 Meter bei städtischen Wasserversorgungen haben in neuester Zeit die Girard'schen zweicylindrigen Pumpen mit einem gemeinschaftlichen Kolben eine große Verbreitung erlangt und leisten dieselben allenthalben so gute Resultate, daß sie bei neuen Anlagen dieser Art ganz vorzugsweise berücksichtigt werden.

Die Figuren 248 bis 250 auf Tafel 34 stellen in $^1/_{20}$ der wirklichen Größe die Girardpumpe dar, deren mehrere am Wasserwerke der Stadt Zürich im Betriebe sind und sich in derselben Anordnung auch bei den Wasserversorgungen in Genf, Freiburg, Florenz und andern mehr in Anwendung befinden.

Die beiden Cylinder a und b, die Gradführung f und das Kurbellager g sind auf einer gemeinschaftlichen starken Fundamentrahme a festgeschraubt und es bilden die beiden Cylinder mit ihrem gemeinschaftlichen Plungerkolben c zusammen eine doppeltwirkende Pumpe.

Fig. 250 ist der verticale Querschnitt durch die beiden Cylinder-Enden mit dem Saug- und Druckventil.

o ist das Saugventil, p das Druckventil.

Das Saugrohr verzweigt sich nach seinem Austritte aus dem Saugwindkessel in zwei Leitungen, von welchen je eine zu dem Saugventilkasten k am Ende eines jeden Cylinders führt.

Die aus den beiden Druckventilkasten i ausgehenden Druckrohre vereinigen sich in das gemeinschaftliche Druckrohr, das in den Druckwindkessel einmündet.

Je größer die Förderhöhe des Wassers ist, um so größer soll das Volumen des Windkessels sein.

Die Ventile haben die Form einer nach abwärts gekehrten Schale und werden durch eine regulirbare Spiralfeder abwärts gedrückt, so daß sie beim Wechsel des Hubes sofort schließen, bevor ein Wasserstoß auf dieselben stattfindet. Die Ventile arbeiten daher sehr ruhig.

Dieselben sind mit Sohlleder gefüttert, das sich (entgegen dem Kautschuk) vorzüglich bewährt und nur eine alljährliche Auswechslung erheischt. Die Stopfbüchsen des Plungerkolbens dagegen sind mit Hanf und Talg abgedichtet.

Die Pumpen haben 290 Millimeter Kolbendurchmesser bei 600 Millimeter Hub und machen 18 bis 20 Doppelhube per Minute.

Die Lieferung an Wasser beträgt bei 120 Meter Förderhöhe 80 bis 85 Procente des theoretischen (vom Kolben durchlaufenen) Volumens. Die Anordnung der Federn (Fig. 249) an den Ventilen hat sich nicht bewährt, wohl aber diejenige mit Spiralfeder nach Fig 250.

Diese Pumpen nach Girard's System sind übrigens nicht nur für eigentliche Wasserversorgungen allen andern Constructionen vorzuziehn, sondern es haben dieselben auch für den gewöhnlichen Gebrauch in industriellen Geschäften allgemeinen Anklang gefunden.

Für Förderhöhen bis zu 10 à 15 Metern darf eine Pumpe wie die vorliegende 26 bis 32 Doppelhübe (Umdrehungen) in einer Minute machen.

§ 206.

Schützen-Oeffnungen.

Beispiel 1. Welche Wassermenge fließt bei vollständiger Contraction durch eine Oeffnung von 2,5 Meter Breite, 0,30 Meter Höhe aus, wenn die Druckhöhe über dem obern Rande der Oeffnung 0,60 Meter beträgt?

Nach der Tabelle ist der Coefficient für diesen Fall = 0,602 und es ist daher

$$Q = 0{,}602\,L\,E\sqrt{2gH} = 0{,}602 \times 2{,}5 \times 0{,}30 \times \sqrt{2 \times 9{,}81 \times 0{,}75}$$
$$= 1{,}710 \text{ Cubikmeter per Secunde.}$$

Beispiel 2. Zur Vereinfachung der Bestimmung der Wassermenge, welche bei vollständiger Contraction durch eine verticale Oeffnung in dünner Wand bei verschiedenen Oeffnungs- und Druckhöhen ausfließt, ist die nachfolgende Tabelle bestimmt (§ 209).

Beispiel 3. Welche Wassermenge fließt durch eine verticale Oeffnung von 1,50 Meter Breite und 0,25 Meter Höhe aus, wenn die Druckhöhe 2,20 Meter beträgt und die Contraction vollständig ist?

Die Tabelle ergiebt die per 1 Meter Breite durchfließende Wassermenge in einer Secunde zu 987 Liter an und es ist daher

$$Q = 1{,}5 \times 987 = 1480{,}5 \text{ Liter per Secunde.}$$

Beispiel 4. Aus der gegebenen Wassermenge, Druckhöhe und Oeffnungshöhe läßt sich mit Hülfe der Tabelle leicht die erforderliche Breite der Ausflußöffnung bestimmen. Soll z. B. eine Wassermenge von 300 Litern per Secunde durch eine Oeffnung von 0,08 Meter Höhe bei einer Druckhöhe über dem Mittelpunkt von 0,30 Meter abfließen, so ergiebt die Tabelle für diese Dimensionen ein Wasserquantum von 120 Liter per 1 Meter Oeffnungsbreite und es wird somit diese Breite $= \frac{300}{120} = 2{,}5$ Meter.

Beispiel 5. Ebenso läßt sich die erforderliche Höhe einer Oeffnung leicht aus den übrigen Daten mittelst der Tabelle bestimmen.

Soll z. B. ein Wasserquantum von 420 Litern per Secunde durch eine Oeffnung von 3,11 Meter Breite bei 0,30 Meter Druckhöhe abfließen, so wird die per 1 Meter Breite abfließende Wassermenge $= \frac{420}{3{,}11} = 135$ Liter per Sec. Diesem Wasserquantum entspricht bei einer Druckhöhe von 0,30 Meter laut der Tabelle eine Oeffnungshöhe von 9 Centimeter.

§ 207.

Bestimmung der Wassermenge bei Schützenöffnungen mit unvollständiger Contraction, in dünnen Wänden.

Findet bei diesen Oeffnungen der Ausfluß nicht mit vollständiger Contraction statt, sondern nur auf einer oder einigen der vier Seiten der Oeffnung, so hat man die Coefficienten, welche der vollständigen Contraction entsprechen, mit folgenden Zahlen zu multipliciren:

a) Rechtwinklige Oeffnungen:

Contraction auf 3 Seiten = 1,035,
" " 2 " = 1,072,
" " 1 " = 1,125.

b) Nichtrechtwinklige Oeffnungen.

Nennt man p die Länge des Umfangs der Ausflußöffnung, n die Länge desjenigen Theils des Umfangs, auf welchem keine Contraction stattfindet, so hat man den Coefficienten, welcher der vollständigen Contraction entspricht, mit folgendem Ausdruck zu multipliciren:

$$1 + 0{,}152 \frac{n}{p} \cdot$$

Nach den Versuchen von Weißbach und Bidone ist nach Weißbach der obige Multiplicator auch für rechtwinklige Oeffnungen im Mittel gleich

$$1 + 0{,}155 \frac{n}{p}$$

zu setzen.

Beispiel 1. Welche Wassermenge fließt per Secunde durch eine Oeffnung von 25 Centimeter Höhe und 1,30 Meter Breite, wenn die Druckhöhe über dem Mittelpunkt 0,80 Meter beträgt und die Contraction nur auf drei Seiten stattfindet?

Für vollständige Contraction ergiebt die Tabelle per 1 Meter Oeffnungsbreite Q = 598 Liter.

Es würde also für diesen Fall Q = 598 × 1,30 = 777 Liter per Secunde.

Dieser Werth ist, da nur auf drei Seiten Contraction stattfindet, mit 1,035 zu multipliciren und es wird somit die gesuchte Wassermenge = 1,035 × 777 = 804 Liter per Secunde.

2. Würde dagegen nur auf einer Seite, d. h. oben, Contraction stattfinden, indem die Ausflußöffnung sowohl am Boden als zu beiden Seiten die Verlängerung der Canalwände bildet, so wäre der Multiplicator = 1,125 und somit die gesuchte Wassermenge Q = 1,125 × 777 = 874 Liter per Secunde.

§ 208.

Wassermenge bei Schützenöffnungen, die nach einem Gerinne führen.

Aus den in § 66 u. f. aufgeführten Versuchsresultaten über die Wassermenge bei Schützen, die nach einem Gerinne führen, das dieselbe Breite mit der Ausflußöffnung hat, lassen sich folgende für die Praxis leicht handliche und übersichtliche Regeln ableiten:

1) Wenn die Schütze schief steht, hat man sich der in § 64 angeführten Regeln zu bedienen.

2) Wenn die Schütze vertical steht, hat die Anwesenheit eines Gerinnes keinen Einfluß auf die abfließende Wassermenge, so lange der Wasserstand über dem Mittelpunkt der Oeffnung nicht unter:

0,5—0,6	Meter	ist	für	Oeffnungen	von	0,15—0,20	Meter Höhe.
0,3—0,4	"	"	"	"	"	0,10	" "
0,2	"	"	"	"	"	0,05	" "

3) Wenn der Wasserstand unter die soeben angeführten Grenzen fällt (was aber selten eintritt), hat die Anwesenheit des Gerinnes Einfluß auf die abfließende Wassermenge und sind dann die Ausflußcoefficienten für verschiedene Oeffnungshöhen, Druckhöhen und Anordnungen der Schützen aus der folgenden Tabelle zu entnehmen.

§ 209.

Effective Durchflußmenge durch einen verticalen Schützenzug per 1 Meter Breite bei vollständiger Contraction.

Druckhöhe über dem Mittelpunkt der Oeffnung in Metern	Zugehörige Geschwindigkeit in Metern	Durchflußmenge in Litern per Secunde bei einer Höhe der Oeffnung von					
		4 Cm.	5 Cm.	6 Cm.	7 Cm.	8 Cm.	9 Cm.
0,10	1,400	36	44	53	61	69	78
0,15	1,715	44	54	65	73	83	94
0,20	1,981	50	62	75	86	98	109
0,25	2,215	57	70	82	96	110	124
0,30	2,426	61	76	91	106	120	135
0,35	2,620	66	82	98	114	130	146
0,40	2,802	71	88	107	122	139	156
0,45	2,972	75	93	111	130	148	165
0,50	3,131	79	98	117	136	155	174
0,55	3,285	83	103	123	143	163	183
0,60	3,403	86	107	128	148	170	191
0,65	3,600	90	112	135	157	177	200
0,70	3,705	93	116	139	161	184	208
0,75	3,836	96	120	143	167	190	215
0,80	3,961	99	124	148	172	196	220
0,90	4,208	105	131	157	183	207	236
1,00	4,430	110	138	165	192	219	246
1,10	4,645	116	145	175	201	229	257
1,20	4,852	121	151	181	210	240	267
1,30	5,050	126	157	187	218	249	279
1,40	5,241	130	162	194	226	258	289
1,50	5,425	134	168	201	233	266	300
1,60	5,603	138	173	207	241	275	309
1,70	5,775	142	177	213	248	283	318
1,80	5,943	146	182	218	255	290	326
1,90	6,105	150	187	224	261	298	335
2,00	6,264	154	191	229	267	305	343
2,10	6,419	157	196	235	274	312	351
2,20	6,570	161	201	241	280	320	359
2,30	6,718	165	205	248	286	327	368
2,40	6,862	168	210	251	293	334	375
2,50	7,003	172	214	257	299	341	382
2,60	7,143	175	218	262	305	348	391
2,70	7,279	178	223	267	311	355	398
2,80	7,412	182	227	271	316	361	405
2,90	7,542	135	231	276	323	367	413
3,00	7,672	188	235	281	327	374	420
3,25	7,985	193	242	290	338	385	433
3,50	8,288	201	246	301	350	400	450
3,75	8,577	208	251	311	363	414	465
4,00	8,859	215	268	321	374	427	481
h	v	4 Cm.	5 Cm.	6 Cm.	7 Cm.	8 Cm.	9 Cm.

Effective Durchflußmenge durch einen bei vollständiger

Druckhöhe über dem Mittelpunkt der Oeffnung in Metern	Ausflußmenge in Litern per Secunde bei einer Höhe der Oeffnung von						
	10 Cm.	11 Cm.	12 Cm.	13 Cm.	14 Cm.	15 Cm.	16 Cm.
0,10	86	94	102	110	119	126	134
0,15	105	115	125	135	145	155	165
0,20	122	133	145	157	168	179	190
0,25	136	149	162	175	188	201	214
0,30	149	164	178	192	206	220	234
0,35	162	177	192	208	223	238	253
0,40	173	189	206	222	238	255	271
0,45	183	201	219	236	253	271	288
0,50	193	212	230	249	267	285	304
0,55	203	222	242	261	280	299	318
0,60	212	230	251	272	292	312	330
0,65	221	240	262	284	304	325	350
0,70	228	249	272	294	316	338	360
0,75	236	259	282	304	327	350	372
0,80	246	267	291	314	338	361	385
0,90	259	284	309	334	359	384	409
1,00	272	299	326	352	379	405	432
1,10	285	314	341	368	396	424	452
1,20	298	327	356	385	414	443	472
1,30	310	340	371	401	431	461	491
1,40	321	353	384	416	446	467	509
1,50	332	365	397	429	462	493	526
1,60	342	376	409	443	476	509	542
1,70	352	387	422	456	491	524	559
1,80	362	398	434	469	504	539	574
1,90	371	408	444	480	516	552	588
2,00	380	418	455	492	530	566	603
2,10	389	428	466	504	542	580	617
2,20	398	438	477	517	555	594	633
2,30	408	448	488	527	567	606	646
2,40	416	457	498	538	579	620	660
2,50	424	466	507	549	590	631	673
2,60	438	476	518	561	603	645	687
2,70	442	486	529	573	616	660	702
2,80	450	495	539	584	628	673	716
2,90	458	503	548	592	637	683	726
3,00	466	511	557	602	648	693	739
3,25	481	530	578	624	672	720	768
3,50	500	550	599	637	697	747	797
3,75	517	568	619	671	722	773	825
4,00	533	587	640	693	745	799	852
h	10 Cm.	11 Cm.	12 Cm.	13 Cm.	14 Cm.	15 Cm.	16 Cm.

verticalen Schützenzug per 1 Meter Breite Contraction.

Druckhöhe über dem Mittelpunkt der Oeffnung in Metern	Durchflußmenge in Litern per Secunde bei einer Höhe der Oeffnung von						
	17 Cm.	18 Cm.	19 Cm.	20 Cm.	21 Cm.	22 Cm.	23 Cm.
0,10	142	150	158	167	—	—	—
0,15	175	188	194	203	213	224	234
0,20	201	213	223	235	247	259	271
0,25	226	239	252	264	278	290	305
0,30	248	262	276	291	305	320	334
0,35	268	284	299	314	330	346	361
0,40	287	304	324	337	354	370	388
0,45	305	324	341	362	375	393	411
0,50	322	340	358	377	396	417	434
0,55	338	357	378	390	416	436	460
0,60	350	370	392	414	431	451	472
0,65	370	392	411	430	455	473	499
0,70	382	403	425	447	470	492	515
0,75	394	418	440	463	486	516	533
0,80	414	432	454	485	512	538	550
0,90	434	459	483	509	534	560	585
1,00	456	484	510	536	563	590	616
1,10	478	506	534	562	590	618	646
1,20	501	529	558	586	615	645	674
1,30	521	551	580	610	640	671	701
1,40	540	571	601	627	664	695	726
1,50	558	589	621	654	687	720	757
1,60	575	608	641	675	708	742	776
1,70	593	627	660	695	733	764	800
1,80	610	644	680	715	751	787	823
1,90	625	661	698	734	770	807	844
2,00	638	677	715	753	790	828	865
2,10	655	694	733	771	800	848	887
2,20	671	705	750	790	829	869	908
2.30	686	722	767	807	848	888	929
2,40	701	742	783	825	866	907	948
2,50	715	757	799	841	884	926	968
2,60	732	773	815	858	901	944	987
2,70	747	790	833	873	919	962	1006
2,80	760	804	847	890	934	979	1023
2,90	771	816	861	906	952	997	1042
3,00	784	830	876	922	968	1014	1060
3,25	816	864	912	960	998	1056	1104
3,50	847	896	946	996	1046	1096	1146
3,75	876	928	979	1031	1082	1134	1185
4,00	905	958	1011	1065	1118	1171	1223
h	17 Cm.	18 Cm.	19 Cm.	20 Cm.	21 Cm.	22 Cm.	23 Cm.

Effective Durchflußmenge durch einen
bei vollständiger

Druckhöhe über dem Mittelpunkt der Oeffnung in Metern	Durchflußmenge in Litern per Secunde bei einer Höhe der Oeffnung von						
	24 Cm.	25 Cm.	26 Cm.	27 Cm.	28 Cm.	29 Cm.	30 Cm.
0,10	—	—	—	—	—	—	—
0,15	244	254	264	275	286	296	307
0,20	282	294	306	318	329	340	353
0,25	317	329	345	336	373	382	395
0,30	348	363	377	392	406	421	434
0,35	377	393	409	424	439	455	471
0,40	404	420	437	454	471	487	504
0,45	429	446	464	482	500	518	536
0,50	452	471	490	509	527	546	564
0,55	475	494	514	534	554	573	592
0,60	492	516	538	559	573	602	624
0,65	521	543	564	586	608	629	651
0,70	537	559	581	604	626	649	670
0,75	556	579	602	625	649	672	695
0,80	574	598	626	645	679	693	718
0,90	611	636	662	688	713	735	762
1,00	643	670	697	724	740	777	804
1,10	674	702	731	758	777	815	843
1,20	703	733	762	791	820	850	880
1,30	732	762	793	823	854	884	915
1,40	758	790	822	853	885	916	948
1,50	785	818	849	883	916	949	981
1,60	809	843	877	911	944	978	101[illegible]
1,70	833	871	904	939	975	1008	1043
1,80	859	895	930	966	1001	1037	1073
1,90	880	917	954	991	1027	1064	1100
2,00	903	941	978	1016	1054	1092	1129
2,10	926	964	1003	1042	1080	1118	1157
2,20	947	987	1026	1066	1105	1145	1184
2,30	969	1009	1050	1090	1130	1170	1211
2,40	989	1031	1072	1113	1154	1196	1237
2,50	1010	1052	1094	1136	1172	1220	1262
2,60	1030	1070	1116	1159	1202	1244	1287
2,70	1049	1094	1137	1181	1224	1269	1312
2,80	1068	1113	1157	1202	1246	1291	1336
2,90	1088	1133	1178	1223	1268	1314	1359
3,00	1106	1152	1198	1245	1291	1337	1383
3,25	1152	1200	1248	1296	1344	1392	1440
3,50	1195	1245	1295	1345	1395	1444	1494
3,75	1237	1289	1340	1392	1442	1494	1546
4,00	1278	1331	1384	1437	1491	1544	1597
h	24 Cm.	25 Cm.	26 Cm.	27 Cm.	28 Cm.	29 Cm.	30 Cm.

verticalen Schützenzug per 1 Meter Breite
Contraction.

Druckhöhe über dem Mittelpunkt der Oeffnung in Metern	Durchflußmenge in Litern per Secunde bei einer Höhe der Oeffnung von						
	31 Cm.	32 Cm.	33 Cm.	34 Cm.	35 Cm.	36 Cm.	37 Cm.
0,10	—	—	—	—	—	—	—
0,15	—	—	—	—	—	—	—
0,20	364	376	388	400	415	424	436
0,25	408	422	434	447	460	473	483
0,30	449	463	477	491	507	520	534
0,35	486	503	518	535	548	564	580
0,40	521	533	555	572	588	605	622
0,45	554	572	588	606	624	642	660
0,50	583	602	622	640	659	677	696
0,55	613	633	651	672	692	712	732
0,60	635	655	676	696	717	737	758
0,65	672	694	716	738	760	780	803
0,70	694	715	737	759	782	804	826
0,75	718	741	758	788	811	834	863
0,80	741	765	789	813	837	861	885
0,90	787	813	839	864	889	915	940
1,00	831	857	884	911	938	965	981
1,10	874	899	927	955	983	1012	1040
1,20	909	939	969	998	1027	1057	1086
1,30	945	976	1007	1037	1067	1098	1128
1,40	980	1011	1043	1074	1103	1138	1169
1,50	1014	1047	1079	1112	1145	1178	1210
1,60	1046	1079	1113	1147	1180	1214	1248
1,70	1078	1112	1147	1182	1217	1251	1286
1,80	1109	1144	1180	1216	1252	1288	1324
1,90	1137	1174	1211	1247	1284	1321	1357
2,00	1167	1205	1242	1279	1317	1355	1392
2,10	1196	1234	1273	1312	1350	1389	1427
2,20	1224	1263	1303	1342	1382	1421	1461
2,30	1251	1293	1332	1373	1414	1453	1494
2,40	1278	1320	1361	1402	1443	1485	1526
2,50	1305	1366	1389	1431	1473	1515	1557
2,60	1331	1374	1417	1460	1502	1545	1588
2,70	1356	1400	1444	1487	1531	1575	1619
2,80	1381	1425	1470	1514	1559	1604	1648
2,90	1405	1450	1495	1541	1586	1632	1677
3,00	1429	1475	1521	1568	1614	1660	1706
3,25	1488	1556	1584	1632	1679	1728	1776
3,50	1544	1594	1644	1693	1743	1793	1843
3,75	1597	1649	1701	1753	1805	1857	1909
4,00	1650	1703	1756	1810	1863	1916	1969
h	31 Cm.	32 Cm.	33 Cm.	34 Cm.	35 Cm.	36 Cm.	37 Cm.

Effective Durchflußmenge durch einen bei vollständiger

Druckhöhe über dem Mittelpunkt der Oeffnung in Metern	Durchflußmenge in Litern per Secunde bei einer Höhe der Oeffnung von						
	38 Cm.	39 Cm.	40 Cm.	41 Cm.	42 Cm.	43 Cm.	44 Cm.
0,10	—	—	—	—	—	—	—
0,15	—	—	—	—	—	—	—
0,20	450	462	484	—	—	—	—
0,25	499	513	527	541	552	566	580
0,30	549	564	577	591	606	620	635
0,35	595	610	626	641	657	673	696
0,40	638	653	671	688	705	722	737
0,45	677	695	712	731	749	766	785
0,50	715	734	753	772	790	809	828
0,55	751	771	791	811	831	851	871
0,60	778	798	819	840	860	881	901
0,65	824	846	867	881	901	932	953
0,70	849	872	494	915	938	961	983
0,75	880	904	925	948	971	995	1017
0,80	909	933	957	981	1005	1028	1053
0,90	965	991	1017	1042	1067	1093	1118
1,00	1018	1045	1070	1097	1124	1151	1174
1,10	1068	1096	1124	1152	1180	1208	1236
1,20	1115	1145	1174	1203	1233	1262	1291
1,30	1159	1189	1220	1250	1281	1311	1342
1,40	1201	1232	1266	1298	1329	1361	1393
1,50	1243	1276	1308	1341	1374	1407	1439
1,60	1283	1315	1351	1384	1419	1453	1486
1,70	1321	1356	1391	1425	1460	1495	1529
1,80	1359	1395	1431	1467	1503	1538	1574
1,90	1394	1431	1468	1504	1541	1577	1614
2,00	1430	1468	1506	1543	1581	1618	1656
2,10	1465	1504	1543	1582	1620	1659	1697
2,20	1500	1540	1579	1619	1658	1698	1737
2,30	1534	1574	1615	1655	1696	1736	1776
2,40	1567	1608	1650	1690	1732	1773	1814
2,50	1599	1641	1683	1725	1768	1809	1851
2,60	1631	1674	1717	1760	1803	1845	1881
2,70	1662	1706	1750	1794	1837	1881	1924
2,80	1692	1737	1782	1826	1871	1915	1960
2,90	1722	1767	1813	1858	1904	1949	1994
3,00	1752	1798	1844	1890	1936	1982	2029
3,25	1824	1872	1919	1967	2015	2063	2111
3,50	1893	1943	1992	2042	2092	2142	2192
3,75	1958	2010	2062	2114	2166	2218	2270
4,00	2023	2066	2129	2182	2236	2289	2343
h	38 Cm.	39 Cm.	40 Cm.	41 Cm.	42 Cm.	43 Cm.	44 Cm.

verticalen Schützenzug per 1 Meter Breite Contraction.

Druckhöhe über dem Mittelpunkt der Oeffnung in Metern	Durchflußmenge in Litern per Secunde bei einer Höhe der Oeffnung von						
	45 Cm.	46 Cm.	47 Cm.	48 Cm.	49 Cm.	50 Cm.	51 Cm.
0,10	—	—	—	—	—	—	—
0,15	—	—	—	—	—	—	—
0,20	—	—	—	—	—	—	—
0,25	592	605	619	634	648	661	—
0,30	649	663	677	691	706	719	633
0,35	703	718	734	749	764	773	789
0,40	754	771	787	804	820	836	853
0,45	802	820	838	856	874	898	910
0,50	847	866	825	903	922	940	958
0,55	888	908	928	948	967	988	1013
0,60	920	941	961	982	1002	1023	1043
0,65	975	997	1018	1040	1062	1084	1105
0,70	1005	1028	1050	1072	1095	1115	1137
0,75	1041	1064	1087	1110	1133	1156	1179
0,80	1076	1100	1124	1148	1172	1194	1218
0,90	1144	1169	1194	1220	1245	1271	1296
1,00	1204	1231	1257	1284	1311	1337	1364
1,10	1265	1293	1321	1348	1377	1405	1433
1,20	1321	1350	1380	1409	1438	1468	1497
1,30	1372	1403	1433	1463	1494	1525	1555
1,40	1424	1456	1488	1519	1551	1583	1614
1,50	1472	1505	1537	1570	1603	1635	1668
1,60	1520	1554	1588	1622	1656	1690	1724
1,70	1564	1599	1634	1669	1703	1741	1776
1,80	1609	1636	1681	1716	1753	1789	1824
1,90	1650	1688	1718	1761	1797	1834	1871
2,00	1694	1731	1769	1807	1845	1882	1920
2,10	1736	1774	1812	1852	1890	1928	1967
2,20	1776	1816	1856	1895	1935	1974	2014
2,30	1817	1857	1898	1938	1978	2018	2059
2,40	1856	1897	1938	1979	2021	2062	2103
2,50	1894	1936	1978	2020	2062	2104	2147
2,60	1932	1975	2017	2051	2103	2146	2189
2,70	1969	2011	2056	2100	2143	2187	2231
2,80	2004	2049	2093	2138	2182	2227	2272
2,90	2040	2085	2130	2176	2221	2266	2312
3,00	2075	2121	2167	2213	2339	2305	2351
3,25	2159	2207	2255	2303	2351	2399	2447
3,50	2241	2291	2341	2391	2440	2490	2540
3,75	2320	2370	2423	2474	2525	2577	2629
4,00	2394	2449	2504	2559	2614	2669	2724
h	45 Cm.	46 Cm.	47 Cm.	48 Cm.	49 Cm.	50 Cm.	51 Cm.

Es ist zu dieser Tabelle noch zu bemerken, daß bei der Anordnung c der kleinere Absatz zwischen Oeffnung und Canalwand nur 0,02 Meter betragen hat. Bei der Anordnung e haben beide Absätze ebenfalls 0,02 Meter. Alle übrigen Absätze haben größere Dimensionen.

§ 210.

Graphische Darstellung der Wassermenge aus Schützenöffnungen.

Die Diagramme Fig. 164 und 166 Tafel 17 stellen die theoretische Ausflußmenge rechtwinkliger Oeffnungen dar, für Druckhöhen H von 0 bis 4 Meter und für Oeffnungshöhen h von 1 bis 50 Centimeter, bei einer constanten Breite von 1 Meter.

Das erste Diagramm ist für Oeffnungshöhen von 1 bis 10 Centimeter, das zweite für solche von 10 bis 50 Centimeter Höhe. Die Druckhöhe ist über dem Mittelpunkt der Oeffnung gerechnet.

Die Höhe h der Oeffnungen ist dabei durch Verticale ausgedrückt, welche auf der untern Horizontalen AB in ungleichen Distanzen errichtet sind. Die vom Punkte B aus gezogenen schiefen Linien stellen die Druckhöhen über dem Mittelpunkt dar.

Die Ausflußmenge in Litern wird durch eine Parabel AE bestimmt und kann auf der obern Horizontalen CD abgelesen werden.

Die Parabel AE hat ihren Scheitel in A; die Achse liegt in der Linie AC und um dieselbe zu finden, hat man nur einen einzigen Punkt derselben zu bestimmen, indem man für eine bestimmte Druckhöhe die durchfließende Wassermenge ausrechnet und an der eingetheilten Linie CD die entsprechende Ziffer sucht, von dieser Stelle vertical abwärts fährt, bis man sich in der Höhe der entsprechenden Oeffnung befindet und diesen Punkt als Punkt der Parabel festsetzt und sodann geometrisch den Rest der Curve zeichnet.

Die Diagramme können, wenn sie in etwas größerem Maßstabe mit genauer Eintheilung aufgezeichnet sind, zur raschen Lösung aller Fragen bezüglich des Ausflusses aus rechtwinkligen Oeffnungen verwendet werden.

Beispiele. 1. Welches ist die Durchflußmenge durch eine rechtwinklige Oeffnung (in dünner Wand) von 25 Centimeter Höhe und 2,40 Meter Druckhöhe über dem Mittelpunkt?

Man sucht in der zweiten Figur den Durchschnittspunkt a der Verticalen, welche auf dem Punkte 25 der Horizontalen AB errichtet wird, mit der schiefen Bb, welche von B nach dem Punkte 2,4 der Senkrechten AC gezogen ist.

Von dem Durchschnittspunkte a geht man horizontal so lange fort, bis die Linie ac die Parabel schneidet. Der Punkt d auf der Linie CD, senkrecht über dem Durchschnittspunkt c der Parabel mit der Horizontalen ac giebt die per Secunde abfließende Wassermenge auf 1 Meter Breite der Oeffnung zu 1720 Liter an. Diese theoretische Ausflußmenge hat man nur noch mit dem entsprechenden Coefficienten zu multipliciren.

2. Welches Wasserquantum fließt durch eine Oeffnung von 6 Centimeter Höhe und 0,20 Meter Breite bei einer Druckhöhe über dem Mittelpunkte von 3 Meter, wenn auf zwei Seiten Contraction stattfindet?

Man zieht von dem Durchschnittspunkte a^1 der auf der Ziffer 0,6 errichteten Verticalen mit der Schiefen B3 eine Horizontale a^1c^1, bis dieselbe die Parabel AE bei c^1 schneidet. Die Senkrechte auf diesem Punkte giebt bei d^1 der Horizontalen CD die theoretische Ausflußmenge zu 460 Liter per 1 Meter Breite der Oeffnung an.

Der Contractionscoefficient ist für vollständige Contraction m = 0,604, dagegen nach § 207 für Contraction auf zwei Seiten

$$m^1 = 1{,}072\,m = 1{,}072 \times 0{,}604 = 0{,}647$$

und es wird somit bei 0,20 Meter Breite der Oeffnung die wirklich ausfließende Wassermenge

$$Q = 0{,}20 \times 0{,}647 \times 460 = 59{,}34 \text{ Liter per Secunde.}$$

3. Will man mit Hülfe der Diagramme aus einer gegebenen Wassermenge und einer vorhandenen oder durch locale Verhältnisse bestimmten Druckhöhe die erforderliche Oeffnungshöhe suchen, so sucht man auf der Linie CD zunächst die gegebene Wassermenge auf, geht an der betreffenden Stelle vertical herunter bis auf die Parabel und zieht an dieser Stelle eine Horizontale. Wo diese Horizontale die schiefe Linie (von B aus gegen die Druckhöhe gezogen) schneidet, geht man vertical abwärts und erhält sogleich auf der Linie AB die gesuchte Oeffnungshöhe.

4. Hat man aber aus der Wassermenge und den gegebenen Oeffnungshöhen die entsprechende Druckhöhe zu suchen, so sucht man zunächst wieder die der Wassermenge entsprechende Ziffer auf der Linie CD auf, errichtet eine Verticale nach abwärts, wo diese die Parabel schneidet. An diesem Durchschnittspunkte zieht man eine Horizontale und durch den Durchschnittspunkt dieser Horizontalen mit der auf der Oeffnungshöhe errichteten Verticalen zieht man von B aus eine schiefe Linie. Wo diese die Senkrechte AC schneidet, kann man die gesuchte Druckhöhe ablesen.

Ein in großem Maßstabe aufgezeichnetes Diagramm leistet zur raschen und mühelosen Lösung aller auf die theoretische Ausflußmenge des Wassers bezüglichen Fragen vorzügliche Dienste und ist für Jeden, der viel mit solchen Fragen zu thun hat, ein unentbehrliches, alle Rechnungsfehler vermeidendes Hülfsmittel.

§ 211.

Schützenöffnungen in nicht dünnen Wänden.

Ueberall, wo es sich um die Bestimmung der Ausflußmenge aus Schützenöffnungen handelt, die nicht in dünnen Wänden angebracht sind, oder überhaupt nicht unter die oben betrachteten Anordnungen gehören, hat man die entsprechenden Ausfluß-Coefficienten im ersten Theil des Werkes in den §§ 59 und folgenden aufzusuchen.

Der übrige Theil der Berechnung der ausfließenden Wassermenge bleibt sich genau gleich, wie in den bisher betrachteten Beispielen, und würde eine Wiederholung solcher ohne weitern Nutzen sein.

§ 211a.

Geneigte oder schiefstehende Schützen.

1. Eine Schützenöffnung von 3,6 Meter Breite und 0,20 Meter Höhe steht bei einer Druckhöhe von 2,4 Meter um 60° gegen den Horizont geneigt und es findet weder am Boden noch an den Seiten Contraction statt. Welches ist die per Secunde durchfließende Wassermenge?

Nach § 64 ist für diesen Fall

$$k = 1 - 0{,}0043\, a^0 = 1 - 0{,}0043 \times 60 = 0{,}74$$

und es wird daher die Ausflußmenge per Secunde:

$$Q = 0{,}74\, L E \sqrt{2\, g H} = 0{,}74 \times 3{,}6 \times 0{,}20 \sqrt{2 \times 9{,}81 \times 2{,}4}$$
$$= 3{,}644 \text{ Cubikmeter.}$$

2. Ein um 45° gegen den Horizont geneigter Schützen hat eine Oeffnung von 1,2 Meter Breite, 0,30 Meter Höhe und eine Druckhöhe einerseits von 3,6 Meter, anderseits von 1,7 Meter, da er von beiden Seiten unter Wasser ist. Welche Wassermenge fließt per Secunde durch denselben ab?

Nach § 64 wird

$$k = 1 - 0{,}0043\, a^0 = 1 - 0{,}0043 \times 45 = 0{,}81$$

und es wird nun nach § 53

$$Q = 0{,}81\,L\,E\sqrt{2\,g\,(H - H_1)} = 0{,}81 \times 1{,}2 \times 0{,}30\sqrt{19{,}6 \times (3{,}6 - 1{,}7)}$$
$$= 1{,}778 \text{ Cubikmeter.}$$

3. Wäre im obigen Beispiel die Neigung des Schützens nur 30^0 (was freilich nicht leicht vorkommen dürfte), so wäre

$$k = 1 - 0{,}0043 \times 30 = 0{,}87$$

und
$$Q = \frac{0{,}87}{0{,}81} \times 1{,}778 = 1{,}898 \text{ Cubikmeter per Secunde.}$$

§ 212.

Geschwindigkeits-Coefficient, Ausfluß-Coefficient, Contractions-Coefficient und Widerstands-Coefficient.

Es ist bis jetzt (in den vorhergehenden Abschnitten) kein Unterschied zwischen dem Ausfluß-Coefficienten und dem Contractions-Coefficienten gemacht worden, d. h. es ist als Contractions-Coefficient immer diejenige Zahl angenommen worden, mit welcher das Product der theoretischen Ausflußgeschwindigkeit mit dem Querschnitt der Oeffnung noch multiplicirt werden muß, um die wirklich ausfließende Wassermenge zu erhalten.

Diese Zahl ist also der eigentliche Ausfluß-Coefficient.

Diese Verminderung der ausfließenden Wassermenge wird nun aber bei genauer Betrachtung der Sache nicht allein durch die Contraction verursacht, sondern es wird ein Theil dieser Verminderung durch die Reibung des Wassers an den Kanten der Mündung bewirkt, indem diese Reibung die Geschwindigkeit $\sqrt{2\,g\,h}$ des durch den zusammengezogenen Strahl ausfließenden Wassers etwas verkleinert.

Die Zahl, mit welcher die theoretische Geschwindigkeit multiplicirt werden muß, um die wirkliche Durchflußgeschwindigkeit durch den contrahirten Strahl zu erhalten, heißt man den Geschwindigkeits-Coefficienten, welcher also wohl von dem Contractions-Coefficienten zu unterscheiden ist.

Bei Oeffnungen in dünner Wand, sowie bei stark convergenten Ansatzröhren von geringer Länge (2—3fache Länge des Durchmessers) ist der Geschwindigkeits-Coefficient sehr groß und zwar $= 0{,}97$, die Verminderung der Geschwindigkeit also sehr unbedeutend.

Die Praxis hat nun in den meisten Fällen nicht mit einem einzelnen dieser beiden Coefficienten zu thun, sondern immer mit dem

Producte beider, nämlich mit dem eigentlichen Ausfluß-Coefficienten.

Der Ausfluß-Coefficient x ist also gleich dem Producte des Contractions-Coefficienten k mit dem Geschwindigkeits-Coefficienten u, d. h. es ist

$$x = k \times u \quad \text{und somit} \quad k = \frac{x}{u}.$$

In der Tabelle des § 75 sind die Werthe der Ausfluß-Coefficienten x und diejenigen der Geschwindigkeits-Coefficienten u aufgeführt und es stimmt der Werth von u für die Oeffnung in dünner Wand mit demjenigen einer sehr stark conisch convergenten Ansatzröhre ($\lfloor\ 48^0$) überein; denn es ist derselbe nach den Versuchen von Weißbach $= 0{,}97$; die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser durch den zusammengezogenen Strahl hindurchfließt,

$$v_1 = 0{,}97 \sqrt{2\,g\,h}.$$

Der eigentliche Contractions-Coefficient, d. h. der Betrag, um welchen der Strahl wirklich zusammengezogen wird, läßt sich nun mit Hülfe des obigen Ausdruckes leicht berechnen.

Da die Praxis immer mit dem Ausfluß-Coefficienten zu thun hat und dieser mit dem Contractions-Coefficienten bei Oeffnungen in dünnen Wänden, bei Schützenöffnungen, Ueberfällen u. dergl. sehr nahe zusammenfällt, so ist im ganzen Verlaufe dieses Werkes unter dem Contractions-Coefficienten immer der

eigentliche Ausfluß-Coefficient,

also das Product des Contractions- und des Geschwindigkeits-Coefficienten verstanden, um die betreffenden Formeln nicht noch complicirter zu machen, als sie ohnehin schon sind.

Da wo die Unterscheidung der Coefficienten nothwendig ist, wie z. B. in § 213a, wird an betreffender Stelle schon darauf aufmerksam gemacht.

Für cylindrische Ansatzröhren fallen die Werthe der beiden Coefficienten x und u zusammen, wobei aber wohl zu berücksichtigen ist, daß die Werthe dieser Coefficienten für den cylindrischen Querschnitt des Rohres am äußern Ende desselben (an der Ausflußstelle) gelten, während im hintern Theile des Rohres, da wo der Wasserstrahl noch zusammengezogen ist, der Ausfluß-Coefficient denselben Werth besitzt, der Geschwindigkeits-Coefficient dagegen viel größer, und zwar $= 0{,}97$ ist, weil das Wasser durch den contrahirten Strahlquerschnitt mit der Geschwindigkeit $0{,}97 \sqrt{2\,g\,h}$ hindurchfließt, welche Geschwindigkeit sich aber in Folge der Erweiterung des Strahlquerschnittes im hintern Rohrtheile auf $0,82 \sqrt{2 g h}$ vermindert.

Wie der Geschwindigkeits-Coefficient oder (da bei cylindrischen Ansatzröhren beide gleich groß sind) der Ausfluß-Coefficient eines kurzen cylindrischen Ansatzrohres (an der Ausflußstelle) aus dem Ausfluß-Coefficienten für eine gleich große Oeffnung in dünner Wand berechnet werden kann, ist in § 70 nachgewiesen.

Wohl zu beachten ist noch, daß unter einem cylindrischen Ansatzrohre immer ein solches Rohr verstanden ist, dessen hinteres Ende Fig. 50 Tafel 3 nicht erweitert oder nicht nach der Form des contrahirten Strahles abgerundet, sondern einfach gerade abgeschnitten ist, so daß das Wasser mit vollständiger Contraction in das Rohr eintritt.

Bei einem cylindrischen Ansatzrohre, Fig. 125 Tafel 14, dessen hinteres Ende nach der Form des contrahirten Strahles erweitert oder abgerundet ist, wird der Ausfluß-Coefficient ebenfalls gleich dem Geschwindigkeits-Coefficienten, es haben aber alsdann beide den Werth 0,95 bis 0,97 und selbst bis 0,98, wenn die Flächen inwendig glatt und polirt sind.

Dieß Alles gilt natürlich nur für kurze Ansatzröhren, denn bei längern Röhren (über das Drei- bis Fünffache des Durchmessers) wird der Widerstand der Reibung größer, wie wir bei den eigentlichen Rohrleitungen näher finden werden.

Diejenige **Druckhöhe**, welche zur **Ueberwindung** der Reibungswiderstände in einer Rohrleitung irgend welcher Form und Größe erforderlich ist, welche also von der ganzen vorhandenen Druckhöhe abgerechnet werden muß (verloren ist), heißt man die **Widerstandshöhe** und diejenige Zahl, mit welcher die ganze vorhandene Druckhöhe (Gefälle) multiplicirt werden muß, um den Druckhöhenverlust oder die Widerstandshöhe zu erhalten, heißt man den **Widerstands-Coefficienten**.

Die **nützliche Druckhöhe** oder **Geschwindigkeitshöhe** ist diejenige Druckhöhe $h = \frac{v^2}{2g}$, welche die wirklich vorhandene Ausflußgeschwindigkeit v erzeugt und zu welcher die Widerstandshöhe oder der Gefällsverlust hinzugerechnet werden muß, um die totale vorhandene Druckhöhe (Gefälle) zu erhalten.

Eine vorhandene totale Druckhöhe h_1 erzeugt in einer Rohrleitung oder auch beim Ausfluß des Wassers durch eine Oeffnung eine Ausflußgeschwindigkeit v, welche kleiner ist als $\sqrt{2 g h_1}$, weil ein Theil der Druckhöhe h_1 zur Ueberwindung der Reibung absorbirt wird. Nennt man diesen absorbirten Theil der Druckhöhe $= z$, so ist z die Widerstandshöhe, und die Ausflußgeschwindigkeit v ist

$$v = \sqrt{2g(h_1 - z)} = \sqrt{2gh}.$$

und

$$h_1 - z = h.$$

$$\frac{v^2}{2g} = h; \qquad \frac{v^2}{2g} = h_1 - z; \qquad z = h_1 - \frac{v^2}{2g}.$$

§ 212 a.

Druckhöhen- oder Gefälls-Verlust beim Ausfluß aus Oeffnungen in dünner Wand und aus cylindrischen Ansatzröhren.

Es ist bereits in § 70 nachgewiesen worden, daß beim Ausflusse des Wassers aus cylindrischen Ansatzröhren ein Verlust an lebendiger Kraft stattfindet, welcher dort bestimmt und zur Berechnung der Ausflußgeschwindigkeit benützt worden ist.

Es mag an dieser Stelle noch der Verlust an mechanischer Arbeit näher betrachtet werden, welchen eine Wassermasse erleidet, wenn sie bei demselben Gefälle h das eine Mal aus einer Oeffnung in dünner Wand und das andere Mal aus einem kurzen cylindrischen Ansatzrohre ausfließt.

Bei der Oeffnung in dünner Wand ist die Ausflußgeschwindigkeit

$$= 0{,}975\sqrt{2gh},$$

bei dem cylindrischen Ansatzrohre dieselbe

$$= 0{,}82\sqrt{2gh}.$$

Es verhalten sich daher die Geschwindigkeiten: 1) theoretisch, 2) in dünner Wand, 3) aus cylindrischem Ansatzrohre wie

$$1 : 0{,}975 : 0{,}82$$

und da die lebendigen Kräfte den Quadraten der Geschwindigkeit proportional sind, so verhalten sich die Leistungen der Wassermasse in den obigen drei Fällen wie

$$1^2 : 0{,}975^2 : 0{,}82^2$$

oder wie

$$1 : 0{,}9506 : 0{,}672.$$

Die Verluste an mechanischer Arbeit verhalten sich ferner wie

$$0 : 0{,}049 : 0{,}328.$$

Man ersieht daraus, daß der Verlust beim Ausfluß aus dünner Wand nur 5 Procente, dagegen derjenige bei einem cylindrischen Ansatzrohre volle 33 Procente der theoretischen Leistung beträgt, und daß man daher in den Zuleitungen des Wassers zu hydraulischen Motoren nicht genug darauf bedacht sein kann, alle geraden cylindrischen Wasserfassungen oder Einläufe zu vermeiden.

Beim cylindrischen Ansatzrohre hat man nur das hintere Ende conisch zu erweitern und der Form des contrahirten Strahles entsprechend abzurunden, damit der Geschwindigkeits-Coefficient auf 0,975 vergrößert und der Verlust an mechanischer Arbeit durch den Ausfluß auf 5 Prozente vermindert wird.

Drückt man (wie dieß in Weißbach's Ingenieur-Mechanik, 1875, Seite 1003, geschehn) den Verlust an lebendiger Kraft im Verhältniß zur wirklichen Kraftleistung aus, so verhalten sich die oben erwähnten Verluste wie

$$0 : \frac{0,049}{0,95} : \frac{0,328}{0,672},$$

oder wie

$$0 : 0,052 : 0,50,$$

sind also scheinbar noch größer als oben angeführt.

Um den Widerstands-Coefficienten für die obigen Verhältnisse zu bestimmen, hat man zu bedenken, daß die Druckhöhen sich ebenfalls wie die Quadrate der Ausflußgeschwindigkeiten verhalten, daß also die oben aufgefundenen Werthe für den Verlust an Arbeit

0   0,049   und   0,328

gleichzeitig die Werthe der betreffenden Widerstands-Coefficienten sind.

§ 213.

Cylindrische Ansatzröhren.

1. Welches ist der Coefficient der Ausflußgeschwindigkeit für eine Oeffnung von 0,09 Meter Durchmesser und kreisförmigem Querschnitte mit einem Ansatzrohre von der zwei- bis dreifachen Länge des Durchmessers?

Bei kreisförmigen Oeffnungen in dünner Wand ist im Mittel der Ausfluß-Coefficient $k = 0,62$.

Der Coefficient für die Geschwindigkeit wird daher nach § 70

$$k_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{0,62} - 1\right)^2}} = \frac{1}{1,25} = 0,80,$$

was mit der Angabe des § 72 sehr gut übereinstimmt.

Es wird also die ausfließende Wassermenge durch dieses Ansatzrohr bei 6 Meter Druckhöhe über dem Mittelpunkt der Oeffnung =

$$0{,}80 \times 0{,}7854 \times 0{,}09^2 \sqrt{19{,}61 \times 6} = 0{,}055 \text{ Cubikmeter per Sec.}$$

2. Wie groß wird der Ausfluß-Coefficient bei einer rechtwinkligen Oeffnung von 0,25 Meter Höhe, 1,4 Meter Breite und 2,5 Meter Druckhöhe über dem obern Rand, wenn die Oeffnung mit einem 3 Meter langen Ansatzrohr vom Querschnitt der Oeffnung versehen ist?

Welche Wassermenge fließt durch diese Oeffnung?

Dieser Druckhöhe und Oeffnungshöhe entspricht nach § 55 für vollständige Contraction beim Ausfluß in dünner Wand der Coefficient $k = 0{,}601$ und es wird daher nach § 70 die ausfließende Wassermenge per Secunde:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{k} - 1\right)^2}} A \sqrt{2gH} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{0{,}601} - 1\right)^2}} \times 0{,}25 \times 1{,}4 \sqrt{19{,}61 \times 2{,}625} =$$

$$= 2{,}083 \text{ Cubikmeter.}$$

3. Welches Wasserquantum fließt durch das cylindrische Ansatzrohr einer Oeffnung von 0,06 Meter Diam. bei einer Druckhöhe über dem Centrum von 3,4 Meter, wenn das Ansatzrohr 20mal so lang als der Durchmesser der Oeffnung ist?

Nach § 72 ist für diesen Fall der Coefficient $k = 0{,}73$ und es wird daher

$$Q = 0{,}73 \times 0{,}7854 \times 0{,}06^2 \sqrt{19{,}61 \times 3{,}4} = 0{,}0163 \text{ Cubikm. per Sec.}$$

4. Wie groß wird der Ausfluß-Coefficient k, wenn die Länge eines cylindrischen Ansatzrohres 80mal so groß ist als der Durchmesser des Rohres?

Nach § 72 wird

$$k_1 = 0{,}82 - 0{,}0038\,(n - 2) = 0{,}82 - 0{,}0038\,(80 - 2) = 0{,}524.$$

§ 213 a.

Wirkliche Steighöhe der springenden Wasserstrahlen.

Die Steighöhe eines springenden Wasserstrahles ist in Wirklichkeit immer kleiner als $h = \frac{v^2}{2g}$ und zwar einerseits wegen der Reibungswiderständen, als auch besonders in Folge des Widerstandes, welchen die Luft dem aufsteigenden Strahle entgegensetzt. Es ist

1) Die Verminderung der Steighöhe größer bei großen Steighöhen als bei den weniger hoch steigenden Strahlen, und ferner

2) Die Verminderung der Steighöhe ist größer bei Strahlen von geringer Dicke als bei Strahlen von bedeutender Stärke.

3) Der Coefficient, mit welchem die theoretische Steighöhe multiplicirt werden muß, ist daher von dem Product aus dem Querschnitt des Strahles in die Steighöhe abhängig und müssen immer beide dieser Factoren berücksichtigt werden, wenn man die wirkliche Steighöhe bestimmen will.

Mariotte hat über die Steighöhe springender Strahlen Versuche angestellt und hat gefunden, daß bei Mündungen von 10 bis 15 Millimeter Durchmesser in dünner Wand und für Druckhöhen von 1,600 bis 14 Meter folgendes Verhältniß zwischen der theoretischen Steighöhe h und der wirklichen Sprunghöhe s herrscht:

$$h = s + \frac{s^2}{300} \text{ Pariser Fuß.}$$

oder

$$\frac{h}{s} = 1 + \frac{s}{300} = 1 + 0{,}0033\,s.$$

Weißbach hat ebenfalls zahlreiche Versuche über diesen Gegenstand angestellt und folgende Verhältnisse zwischen h und s abgeleitet, welche für Druckhöhen von 1 bis 24 Meter gültig sind.

a) für kreisförmige Oeffnungen von 10 Millimeter Durchmesser in dünner Wand:

$$\frac{h}{s} = 1 + 0{,}01157\,h + 0{,}0005818\,h^2 \text{ (in Metern)},$$

b) für kreisförmige Oeffnungen von 14 Millimeter Durchmesser in dünner Wand:

$$\frac{h}{s} = 1 + 0{,}00778\,h + 0{,}000603\,h^2,$$

c) für kurze conische Ansatzstücke von 10 Millimeter äußerer lichter Weite mit einwärts abgerundeten Kanten (Form des contrahirten Strahles):

$$\frac{h}{s} = 1{,}0272 + 0{,}000476\,h + 0{,}000956\,h^2,$$

d) für ein längeres conisches Mundstück von 10 Millimeter Weite, 145 Millimeter Länge (30 Millimeter Weite am hintern gut abgerundeten Ende nach der Form des contrahirten Strahles):

$$\frac{h}{s} = 1{,}0453 + 0{,}000373\,h + 0{,}000859\,h^2.$$

Bei der Wahl der Form eines Mundstückes, mit welchem eine möglichst größe Steighöhe des springenden Strahles erzielt werden soll, hat man den Contractions-Coefficienten vom Geschwindigkeits-Coefficienten wohl zu unterscheiden, denn es ist für den vorliegenden Zweck nur die Größe des letztern Coefficienten allein maßgebend.

Nichtsdestoweniger findet man in der Praxis keine so stark conischen Mundstücke, für welche nach § 75 der Geschwindigkeits-Coefficient wesentlich größer ist, als bei schwach conischen Ansatzröhren.

Man hat nämlich die Beobachtung gemacht, daß die Strahlen aus innen abgerundeten cylindrischen oder schwach conischen Ansatzstücken von mäßiger Länge bei großen Höhen ebenso hoch steigen, als aus den stärker conischen Mundstücken.

Es rührt dieß ohne Zweifel davon her, daß die nicht contrahirten Strahlen parallel austretende Wasserfäden geben, welche einen dicht beisammen bleibenden glatten Wasserstrahl bilden, der von der Luft weniger aufgehalten wird, als ein contrahirter Strahl.

Contrahirte Strahlen haben bei großer Geschwindigkeit Anlage zu transversalen Schwingungen (§ 51 d), zur Bildung von Knoten und Querschnittsveränderungen, welche beim Aufsteigen durch die Luft mehr Widerstand finden, als glatte Strahlen.

Für Strahlen von $^1/_4$ bis 3 Meter Steighöhe bleibt die letztere sehr nahe gleich der Druckhöhe $\sqrt{2\,g\,h}$, vorausgesetzt nämlich, daß der Strahl aus einer Oeffnung in dünner Wand ausfließt und der Wasserstrahl nicht auf sich selbst zurückfällt.

Für solche ist nämlich der Ausfluß-Coefficient nur 0,82, der Geschwindigkeits-Coefficient dagegen nahe 0,93, so daß hier die Steighöhe bei Vernachlässigung des Luftwiderstandes nach § 74

$$H_1 = k_1{}^2\,H = 0{,}97 \times 0{,}97\,H = 0{,}94\,H$$

ausfällt.

Bei einem cylindrischen Ansatzrohre von der zwei- bis dreifachen Länge des Durchmessers, wie sie gewöhnlich in solchen Fällen Anwendung finden, ist der Ausfluß-Coefficient ebenfalls = 0,82, also gleich groß wie derjenige beim Ausfluß aus einer Oeffnung in dünner Wand; der Geschwindigkeits-Coefficient ist aber beim cylindrischen Ansatzrohr ebenfalls

$$h_1 = 0{,}82,$$

also wesentlich kleiner als bei der Oeffnung in dünner Wand, so daß die Steighöhe beim cylindrischen Ansatzrohre nur

$$H_1 = 0{,}82^2 H = 0{,}67 H$$

ausfällt, wobei noch der Luftwiderstand unberücksichtigt ist.

Für Steighöhen von $^1/_4$ bis 5 Meter kann der Luftwiderstand, (welcher dem Quadrate der Ausflußgeschwindigkeit proportional ist), gänzlich vernachlässigt werden, und ist auch bei großen Druckhöhen bis zu 25 Metern insoferne zu vernachlässigen, als ein Theil des Strahles immer sehr nahe die theoretische Steighöhe $H_1 = k_1{}^2 H$ erreicht.

Die etwas geneigten Strahlen zertheilen sich bei sehr großen Steighöhen bis zu 30 à 50 Meter in ihrem obern Verlaufe immer in eine große Anzahl einzelner Strahlen, von welchen die obersten auf Kosten der untern oft sogar noch etwas höher steigen als $k_1{}^2 H$, während dagegen die untersten Strahlen um einen ganzen vierten Theil unter dieser Höhe verbleiben, so daß es äußerst schwierig ist, eine mittlere Steighöhe anzugeben.

Unter Steighöhe versteht man daher immer diejenige der am höchsten steigenden Strahlen und kann sodann den Luftwiderstand vollständig vernachlässigen.

Es kann befremden, daß die obersten Wasserstrahlen öfter noch etwas höher steigen, als der Ausflußgeschwindigkeit v aus der Oeffnung entspricht, also höher als $\frac{v_1{}^2}{2g}$, wenn v_1 die wirkliche Ausflußgeschwindigkeit aus der Oeffnung bezeichnet.

Wenn man einen ausfließenden Strahl untersucht, so wird man bald finden, daß nicht alle Theile desselben Strahlquerschnittes dieselbe Geschwindigkeit besitzen, daß es Theile oder Wasserfäden giebt, welche sich rascher in dem Strahle bewegen, während andere Fäden dagegen mehr zurückbleiben.

Die Geschwindigkeit einzelner Strahltheile wird auf Unkosten anderer durch innere Vorgänge vermehrt, die sich nicht beobachten lassen, aber jedenfalls Aehnlichkeit mit der Entstehung der Wellen von doppelter Höhe bei Begegnung zweier Wellenberge haben.

Die Geschwindigkeits-Vermehrung findet hier innerhalb eines Systemes zusammenhängender Körper statt und schließt daher durchaus keinen Widerspruch in sich ein, wie man auch leicht beobachten kann, daß beim Herabfallen eines Wassertropfens in ein Gefäß mit Wasser kleine Tropfen oft höher aufspritzen, als die Fallhöhe des ersten (das Aufspritzen verursachenden) Tropfens beträgt.

Es muß hier noch besonders erwähnt werden, daß unter der Druckhöhe H diejenige Druckhöhe verstanden ist, welche der Ausfluß-geschwindigkeit des Wassers an der engsten Stelle des Strahles entspricht, also diejenige Druckhöhe, welche nach Abzug der Reibungs-widerstände bis zur Oeffnung übrig bleibt.

Wenn das Zuleitungsrohr im Verhältniß zur Mündung einen großen Querschnitt hat, die Geschwindigkeit des Wassers in demselben also klein ist (nicht über 1 bis $1\frac{1}{2}$ Meter beträgt), so fallen die Reibungs-widerstände klein aus und können für Zuleitungen von nicht über 30 Meter Länge vernachlässigt werden; in jedem andern Falle müssen diese Widerstände und der entsprechende Druckhöhenverlust berechnet werden.

Für lange cylindrische Ansatzrohre wird der Geschwindigkeits-Coefficient gleich dem Ausfluß-Coefficienten, was die Berechnungen insoferne erleichtert, als kein Unterschied zwischen beiden gemacht zu werden braucht. Je länger das Ansatzrohr ist, um so kleiner werden beide Coefficienten, und giebt die Tabelle § 72 die Werthe derselben an.

Bei sehr großer Länge verschwindet der Begriff des Ansatzrohres; es bildet dasselbe eine eigentliche Rohrleitung und müssen die Reibungs-verluste alsdann nach den Regeln für die Rohrleitungen berechnet werden.

1. Wie hoch springt ein Wasserstrahl durch ein cylindrisches verticales Ansatzrohr von der zwei- bis dreifachen Länge des Durchmessers, wenn die Druckhöhe 20 Meter beträgt?

Nach § 72 ist hier der Ausfluß-Coefficient ein Maximum oder $= 0{,}82$ und es wird somit nach § 74 die Steighöhe

$$H_1 = k_1{}^2\,(H) = 0{,}82^2 \times 20 = 13{,}4 \text{ Meter},$$

wobei die hydraulischen Widerstände in der Zuleitung vernachlässigt sind.

2. Ist dagegen das Ansatzrohr 10mal so lang, als der Durchmesser beträgt, so wird

$$k_1 = 0{,}77 \quad \text{und} \quad H_1 = 0{,}77^2 \times 20 = 11{,}8 \text{ Meter}.$$

3. Welche Druckhöhe muß ein Wasserstrahl erhalten, welcher durch ein kurzes cylindrisches Ansatzrohr 10,0 Meter hoch steigen soll?

Es wird

$$H = \frac{H_1}{k_1{}^2} = \frac{10{,}0}{0{,}82^2} = \frac{10}{0{,}67} = 16{,}4 \text{ Meter}.$$

§ 214.

Conisch convergirende Ansatzröhren.

1. Welches Wasserquantum fließt durch ein kurzes conisch verengtes Ansatzrohr, wenn die Druckhöhe 5,6 Meter und der Convergenz-

winkel der Rohrwände 50° beträgt, der Durchmesser der engsten Oeffnung aber 0,035 Meter beträgt?

Nach § 75 ist der Coefficient für den Ausfluß in diesem Falle

$$= 0{,}844$$

und $$Q = 0{,}844 \times 0{,}035^2 \times 0{,}7854 \sqrt{19{,}61 \times 5{,}6}$$
$$= 0{,}0088 \text{ Cubikmeter per Secunde}$$

2. Wie hoch steigt der Wasserstrahl im obigen Falle, wenn das Ansatzrohr schief steht?

Nach § 75 ist der Coefficient für die Ausflußgeschwindigkeit (nicht zu verwechseln mit dem für die Ausflußmenge) $k_1 = 0{,}985$ und es wird die Steighöhe nach § 74

$$H_1 = 0{,}985^2 \times 5{,}6 = 5{,}37 \text{ Meter}.$$

3. Es folgt daraus, daß zur Erzielung relativ großer Steighöhen wenigstens bei mäßigen Druckhöhen nie cylindrische, sondern immer conisch convergirende Ansatzröhren zu wählen sind, weil bei letztern die Ausflußgeschwindigkeit größer ist. Die beste Form für Mundstücke zu möglichst hoch steigenden Wasserstrahlen ist das stark convergente Ansatzrohr, Fig. 191 Tafel 21, dessen vorderstes Ende eine Strecke weit gerade cylindrisch ausläuft und dessen hinteres Ende der Form des contrahirten Strahles entsprechend abgerundet ist.

Die letztere Form ergiebt den möglichst größten Geschwindigkeits- und Ausfluß-Coefficienten 0,98 und die cylindrisch parallele Form des äußern Endes bewirkt einen parallelen Austritt der Wasserfäden des Strahles, was nach dem obigen wegen der geringern Widerstandsfläche beim Aufsteigen durch die Luft vortheilhaft ist, indem ein größerer Theil des Strahles die größte Steighöhe erreicht.

Eine genaue Prüfung der Tabelle § 75 zeigt ferner, daß zwar zu Erzielung einer möglichst großen Ausflußmenge ein Convergenzwinkel von 12 bis 14° der vortheilhafteste ist, daß dagegen zur Erzielung möglichst großer Steighöhen größere Convergenzgrade noch vortheilhafter sind, weil bei den letztern der G e s c h w i n d i g k e i t s - C o e f f i c i e n t größer ist.

§ 215.

Weitere Beobachtungen über conische Ansatzröhren.

Außer den im § 75 angeführten Versuchen über conisch convergirende Ansatzröhren sind in neuerer Zeit Beobachtungen über große pyramidale Ansatzröhren gemacht worden, welche ein noch günstigeres Resultat für den Coefficienten des Ausflusses ergeben haben. Im südlichen Frankreich sind seit alten Zeiten horizontale Mühlräder, Fig. 83 Tafel 7, in Anwendung, welchen das Wasser oft durch hölzerne pyramidale Röhren zugeführt wird. Der Ingenieur Lespinasse untersuchte ein solches Rohr und fand, daß die Länge 9′ 4″; die Längen und Breiten der Oeffnung an den Enden hatten 27,9 × 37,3 und 5,2 × 7,2″. Der Convergenzwinkel beträgt daher $11\frac{1}{2}$ und $15\frac{1}{2}^{0}$. Die Druckhöhe war 9′ 4″ und es ergab sich bei drei Beobachtungen der Ausfluß-Coefficient zu

0,987; 0,976; 0,979.

Es verdient der Erwähnung, daß die rohe Praxis des Mühlenbaues dem obigen nach zu schließen schon vor langer Zeit auf den vortheilhaftesten Convergenzwinkel von circa 12 bis 14^{0} geführt worden ist.

§ 216.

Conisch divergirende Ansatzröhren.

Die Vermehrung der Ausflußmenge durch conisch auseinandergehende Ansatzröhren nach § 75b findet in der Praxis wenig Anwendung (siehe unter den allgemeinen hydraulischen Aufgaben, Wassersaugapparate) und es sind auch keine einläßlichern dießbezüglichen Versuche angestellt worden, aus denen die Ausfluß-Coefficienten für die verschiedenen Verhältnisse entnommen werden könnten. Ein um 5^{0} 6′ divergirendes Ansatzrohr von der neunfachen Länge des kleinsten Durchmessers ergab den Ausfluß-Coefficienten bis zu 1,5 für die engste Stelle des Ansatzrohres.

Es könnte dieses als Widerspruch gegen die dynamischen Gesetze der Bewegung erscheinen, daß die Geschwindigkeit im engsten Theile des Rohres bis zum $1\frac{1}{2}$fachen der Geschwindigkeit steigen soll, welche der Druckhöhe entspricht, doch ist dieses nicht der Fall, wie man bei einläßlicher Betrachtung der Sache findet. Dieser Widerspruch wäre vorhanden, wenn das Wasser frei ausströmen würde.

In der Röhre eingeschlossen bildet dagegen der Wasserstrahl ein zusammengehöriges System von Körpern, dessen ganze lebendige Kraft durch diese große Geschwindigkeit eines Theiles nicht vergrößert, vielmehr vermindert wird, wenn man den äußern weitern Theil des Ansatzrohres betrachtet, welches die eigentliche Ausflußöffnung ist.

Als Beispiel kann man leicht beobachten, daß beim Herunterfallen einer Wassermasse von einiger Höhe auf eine starre Unterlage oder auch in Wasser einzelne Wassertheilchen bedeutend höher aufspritzen, als das Wasser heruntergefallen ist, während die totale lebendige Kraft der ganzen wiederaufsprudelnden Wassermasse nicht entfernt derjenigen der fallenden Wassermasse gleichkommt.

§ 217.

Wassermenge bei Ueberfällen.

Nach dem Vorhergehenden ist der Ausfluß-Coefficient k der Formel $Q = k B h \sqrt{2 g h}$ bei vollständigen Ueberfällen abhängig von der Druckhöhe, von dem Verhältniß der Breite von Ueberfall und Canal, außerdem aber auch noch abhängig von der Wassertiefe des Canales unmittelbar vor dem Ueberfall, von der Geschwindigkeit des zufließenden Wassers, also von dem Verhältnisse der Querschnitte der Wasserkörper von Ueberfall und Canal; dann ferner abhängig von der Form der Ueberfallkante.

Der Coefficient k wächst, wenn die Druckhöhe abnimmt; er nimmt ab, wenn $\frac{B}{b}$ kleiner wird, weil die Wasserfäden ihre grade Richtung um so mehr verändern müssen, um von den Seitenwänden des Canales zum Austritt zu gelangen, je kleiner die Ueberfallbreite B im Verhältniß zur Breite b des Canales ist.

Was den Einfluß des Unterwassers anbelangt, so hat Francis bei seinen über diesen Gegenstand angestellten Versuchen gefunden, daß das Unterwasser ohne Einfluß auf die durch den Ueberfall fließende Wassermenge ist, so lange seine Höhe nicht mehr als bis zu 3 Zoll = 75 Millimeter unter der Kante des Ueberfalles steigt.

§ 218.

Braschmann's Formel für vollständige Ueberfälle.

In neuerer Zeit hat Herr Professor Braschmann aus Moscau eine Formel zur Bestimmung der Wassermenge bei vollständigen Ueberfällen aufgestellt, welche bei Ueberfällen in dünner Wand oder solchen mit stromabwärts abgeschrägter Kante gute Uebereinstimmung mit den Thatsachen zeigt, da sie für Druckhöhen über 100 Millimeter genaue Werthe liefert, dagegen bei Druckhöhen unter 100 Millimeter im Mittel um nur zwei Procente differirt, und selbst bei ganz kleinen Druckhöhen von 30 Millimeter Werthe liefert, die nicht um mehr als einige Procente von der Wirklichkeit abweichen.

Die Braschmann'sche Formel berücksichtigt wie die Weißbach'sche, § 90, sowohl die verschiedenen Druckhöhen als den Einfluß des Breitenverhältnisses von Ueberfall und Canal und enthält an der Stelle des Coefficienten k den Werth

$$k = a + \beta \frac{B}{b} + d \cdot \frac{1}{h},$$

wobei a und β zwei Constanten sind und h wie gewöhnlich die Druckhöhe oder den Abstand des Wasserspiegels (vertical gemessen) über der Kante des Ueberfalles bezeichnet.

Die Formel für die abfließende Wassermenge lautet:

$$Q = \left(a + \beta \frac{B}{b} + d \frac{1}{h}\right) B h \sqrt{2 g h}$$

oder auch:

$$Q_1 = \left(a + \beta \frac{B}{b} + d \frac{1}{h}\right) b h^{\frac{3}{2}} \sqrt{2 g},$$

wobei der Werth der Constanten

$$\left.\begin{array}{l} a = 0,3838 \\ \beta = 0,3086 \end{array}\right\} \text{für jedes Maßsystem ist,}$$

während dagegen der Werth von d für verschiedene Maßsysteme folgender ist:

d für Metermaß . . . 0,00053,
d „ Preußisches Maß 0,001686,
d „ Schweizer Maß . 0,001766,
d „ Englisches Maß . 0,001614.

Die nachfolgende Tabelle enthält für Metermaß den Werth des Ausdruckes oder Coefficienten $k_2 = \left(a + \beta \frac{B}{b} + d \frac{1}{h}\right) \sqrt{2 g}$, so daß die Wassermenge Q dann sehr leicht durch den einfachen Ausdruck

$$Q = k_2 B \sqrt{h^3}$$

berechnet werden kann.

Werth von $\frac{B}{b}$	Werth des Ausdruckes $k_2 = \left(a + \beta \frac{B}{b} + d \frac{1}{h}\right) \sqrt{2 g}$ bei einer Druckhöhe von:							
	0,030 M.	0,050 M.	0,10 M.	0,20 M.	0,30 M.	0,40 M.	0,50 M.	0,60 M.
0,1	1,7969	1,7640	1,7410	1,7295	1,7256	1,7233	1,7220	1,7216
0,4	1,8478	1,8150	1,7920	1,7805	1,7765	1,7741	1,7729	1,7725
0,6	1,8823	1,8496	1,8260	1,8146	1,8106	1,8083	1,8070	1,8066
0,8	1,9165	1,8836	1,8602	1,8486	1,8452	1,8425	1,8411	1,8407
1,0	1,9505	1,9178	1,8943	1,8828	1,8787	1,8765	1,8752	1,8748

Ueberfälle mit scharfen Kanten, stromabwärts abgeschrägt.

§ 219.

Das Messen der Druckhöhe eines Ueberfalles.

Die Bestimmung des Abstandes (in verticaler Richtung gemessen) des Oberwasserspiegels über der Kante des Ueberfalles (Krone des Wehres) darf nicht mit der Vermessung der Strahldicke verwechselt werden, da der Wasserspiegel sich gegen den Ueberfall zu wesentlich senkt, dieser Abstand also wesentlich größer ist, als die Dicke des Wasserstrahles über der Kante des Ueberfalles.

Dieser Abstand muß daher immer in einiger Entfernung vom Ueberfall (circa 2 bis 3 Meter) bestimmt werden, d. h. man hat den Verticalabstand des Oberwasserspiegels in 2 bis 3 Meter Abstand von der Kante über dieser Kante zu messen, wenn man die wirkliche Druckhöhe erhalten will.

Am einfachsten geschieht diese Messung mittelst einer Setzlatte mit Wasserwaage oder aber mit dem Nivellir-Instrument, wenn man ein solches zur Hand hat.

Beim Messen mit der Setzlatte wird dieselbe in einiger Entfernung vom Wehre in der Höhe des Oberwasserspiegels am Ufer eingelegt, nöthigenfalls an einen in den Bach gestellten Stab gebunden, die Wasserwaage daraufgelegt und nun die Latte mit dem vordern Ende über der Ueberfallkante so lange auf- und abbewegt, bis die horizontale Lage erreicht ist, d. h. die Wasserwaage einspielt. Nun kann die Druckhöhe leicht mit dem Zollstabe abgemessen werden.

Eine weitere sehr bequeme und in vielen Fällen recht gut brauchbare Methode, die Druckhöhe h zu messen, besteht darin, daß man ein dünnwandiges Glasrohr a, das unten rechtwinklig umgebogen ist und eine Oeffnung von nur $1\frac{1}{2}$ bis 2 Millimeter hat (während die Weite des übrigen Rohres 6 bis 7 Millimeter beträgt), vor die Kante des Ueberfalles stellt. Das Wasser steigt in der Röhre nicht nur bis zu der Strahldicke i, sondern vermöge der Geschwindigkeit des Wassers genau bis zur Druckhöhe h, so daß man dieselbe leicht direct mit dem Maßstabe messen kann.

Die Oeffnung b des Glasrohres darf indessen nicht zu tief unter der Kante des Ueberfalles befindlich sein und es wird das Glasrohr am besten an ein hölzernes Gestelle befestigt, wie bei dem Pitot'schen Geschwindigkeitsmesser (§ 116), welcher im Principe ganz auf dieselbe Weise wirkt.

Das Messen der Druckhöhe eines Ueberfalles soll mit großer Vorsicht geschehn, wenn man eine genaue Bestimmung der Wassermenge beabsichtigt.

Die Bestimmung der Druckhöhe durch Ableitung aus der gemessenen Strahldicke nach § 96 ist nur für annähernde Bestimmungen zu empfehlen.

§ 220.

Wassermenge bei Ueberfällen mit verschiedener Druckhöhe

per einen Meter Breite derselben.

Druckhöhe über der Schwelle in Centimetern	Geschwindigkeit, welche dieser Druckhöhe entspricht, in Metern	Wassermenge in 1 Secunde in Litern		Druckhöhe über der Schwelle in Centimetern	Geschwindigkeit, welche dieser Druckhöhe entspricht, in Metern	Wassermenge in 1 Secunde in Litern	
		1. Fall	2. Fall			1. Fall	2. Fall
3,0	0,768	10	10	19,0	1,931	143	154
3,5	0,829	12	12	19,5	1,956	149	160
4,0	0,885	15	15	20,0	1,981	154	166
4,5	0,940	17	18	20,5	2,006	160	173
5,0	0,990	20	21	21,0	2,030	166	179
5,5	1,039	23	24	21,5	2,054	171	185
6,0	1,085	26	27	22,0	2,078	176	192
6,5	1,130	29	31	22,5	2,101	182	199
7,0	1,171	32	34	23,0	2,124	188	205
7,5	1,212	36	38	23,5	2,148	194	212
8,0	1,252	40	42	24,0	2,170	202	219
8,5	1,291	43	46	24,5	2,193	207	226
9,0	1,330	47	50	25,0	2,215	212	233
9,5	1,365	51	54	25,5	2,237	220	240
10,0	1,400	56	59	26,0	2,259	226	247
10,5	1,435	60	63	26,5	2,280	232	254
11,0	1,470	64	68	27,0	2,302	239	261
11,5	1,502	68	73	27,5	2,323	245	268
12,0	1,534	72	77	28,0	2,344	253	276
12,5	1,567	77	82	28,5	2,365	259	283
13,0	1,598	82	87	29,0	2,385	266	290
13,5	1,628	86	92	29,5	2,405	273	298
14,0	1,658	92	98	30,0	2,426	280	306
14,5	1,688	97	103	30,5	2,446	287	313
15,0	1,716	101	108	31,0	2,464	293	321
15,5	1,744	107	114	31,5	2,484	301	329
16,0	1,772	111	119	32,0	2,505	309	337
16,5	1,800	117	125	32,5	2,525	315	341
17,0	1,826	121	130	33,0	2,545	323	353
17,5	1,852	127	136	33,5	2,564	330	361
18,0	1,879	132	142	34,0	2,583	338	369
18,5	1,905	138	148	34,5	2,601	345	377

Druckhöhe über der Schwelle in Centimetern	Geschwindigkeit, welche dieser Druckhöhe entspricht, in Metern	Wassermenge in 1 Secunde in Litern		Druckhöhe über der Schwelle in Centimetern	Geschwindigkeit, welche dieser Druckhöhe entspricht, in Metern	Wassermenge in 1 Secunde in Litern	
		1. Fall	2. Fall			1. Fall	2. Fall
35,0	2,620	353	385	55,5	3,300	704	769
35,5	2,638	360	393	56,0	3,315	713	779
36,0	2,657	368	402	56,5	3,330	724	790
36,5	2,676	375	410	57,0	3,334	733	800
37,0	2,694	382	419	57,5	3,359	743	811
37,5	2,712	392	428	58,0	3,374	753	822
38,0	2,730	399	436	58,5	3,388	762	832
38,5	2,748	408	445	59,0	3,402	771	842
39,0	2,766	415	453	59,5	3,416	781	853
39,5	2,784	423	462	60,0	3,430	791	864
40,0	2,802	431	471	60,5	3,445	801	875
40,5	2,819	439	479	61,0	3,460	811	886
41,0	2,836	447	488	61,5	3,474	821	896
41,5	2,854	455	497	62,0	3,488	831	907
42,0	2,871	463	506	62,5	3,502	841	918
42,5	2,888	472	515	63,0	3,516	851	929
43,0	2,905	481	525	63,5	3,530	861	940
43,5	2,921	488	533	64,0	3,544	871	951
44,0	2,938	497	543	64,5	3,558	882	963
44,5	2,955	506	552	65,0	3,571	892	974
45,0	2,972	514	561	65,5	3,585	902	985
45,5	2,989	523	571	66,0	3,599	912	996
46,0	3,005	531	581	66,5	3,613	922	1007
46,5	3,020	540	590	67,0	3,626	932	1018
47,0	3,036	549	599	67,5	3,639	943	1030
47,5	3,052	558	609	68,0	3,652	954	1042
48,0	3,069	567	619	68,5	3,666	965	1054
48,5	3,085	576	629	69,0	3,680	976	1066
49,0	3,100	584	638	69,5	3,693	987	1078
49,5	3,116	593	648	70,0	3,706	998	1090
50,0	3,132	603	658	70,5	3,719	1008	1101
50,5	3,148	612	668	71,0	3,732	1019	1113
51,0	3,163	621	678	71,5	3,745	1030	1125
51,5	3,178	630	688	72,0	3,759	1041	1137
52,0	3,194	639	698	72,5	3,772	1052	1149
52,5	3,210	648	708	73,0	3,785	1063	1161
53,0	3,225	658	718	73,5	3,798	1073	1172
53,5	3,240	667	728	74,0	3,810	1084	1184
54,0	3,255	676	738	74,5	3,823	1095	1196
54,5	3,270	685	748	75,0	3,836	1106	1208
55,0	3,285	694	758	75,5	3,849	1117	1221

§ 221.

Beispiele über die Berechnung der Wassermenge bei Ueberfällen.

A. Handelt es sich um eine für die gewöhnliche Praxis genügende, bis auf $^1/_{30}$ annähernde Bestimmung der Wassermenge, welche durch einen gegebenen Ueberfall fließt, so kann dieselbe mit Hülfe der vorstehenden Tabelle leicht und rasch bestimmt werden, welche die Wassermenge in Litern angiebt, die bei einer gegebenen Druckhöhe über einen Ueberfall per 1 Meter seiner Breite abfließt, und zwar in den beiden Fällen, daß:

1. Fall: der Ueberfall wesentlich schmäler ist als der Zuflußcanal,
2. Fall: Canal und Ueberfall ungefähr gleiche Breite haben.

Es ist dabei vorausgesetzt, daß der Ueberfall vollständig sei, kein Gerinne habe und die Tiefe des Canales nicht viel größer sei, als diejenige des Ueberfalles (oder als die Druckhöhe h).

Beispiele. 1. Welche Wassermenge fließt durch einen Ueberfall von 3,39 Meter Breite bei einer Druckhöhe von 68,5 Centimetern, wenn Canal und Ueberfall gleich breit sind?

Es ist nach der Tabelle für die gegebene Druckhöhe im zweiten Falle die per 1 Meter Breite abfließende Wassermenge = 1054 Liter per Secunde, also die gesuchte Wassermenge

$$Q = 1054 \times 3{,}39 = 3573 \text{ Liter} = 3{,}573 \text{ Cubikmeter per Secunde.}$$

2. Ist dagegen der Canal wesentlich breiter als der Ueberfall, so giebt die Tabelle den Werth von Q zu 965 Liter per 1 Meter Breite an und es wird somit

$$Q = 965 \times 3{,}39 = 3271 \text{ Liter} = 3{,}271 \text{ Cubikmeter per Secunde.}$$

3. Welche Breite muß ein Ueberfallwehr erhalten, wenn bei einer durch die Localverhältnisse bestimmten Druckhöhe von 55 Centimetern ein Wasserquantum von 4,78 Cubikmetern abfließen soll?

Die Tabelle ergiebt zunächst unter Annahme des ersten Falles per 1 Meter Breite $Q = 694$ Liter. Es wird daher die gesuchte Breite B

$$B = \frac{4780}{694} = 6{,}88 \text{ Meter.}$$

Wäre die gefundene Breite nun nicht kleiner als diejenige des Canales, so hat man die Rechnung zu wiederholen, indem man den Werth 758 (dem zweiten Fall entsprechend) zu Grunde legt.

4. Welche Druckhöhe muß ein Ueberfall erhalten, wenn bei einer Breite von 3,4 Meter eine Wassermenge von 2,68 Cubikmeter per Secunde abfließen soll?

Man dividirt zunächst die Wassermenge per Secunde durch die Breite des Ueberfalls, also $\frac{2680}{3{,}4} = 788$ Liter. Diese Wassermenge muß also per 1 Meter Breite durch den Ueberfall fließen. Jenachdem nun die Localverhältnisse dem ersten oder zweiten Fall entsprechen, sucht man den Werth 788 in der dritten oder vierten Colonne der Tabelle auf und der entsprechende Werth der ersten Colonne ist dann die gesuchte Druckhöhe.

Ist z. B. Canal und Ueberfall gleich breit, so findet man in der vierten Colonne als den annähérndsten Werth an 788 denjenigen 790, welchem eine Druckhöhe von 56,5 Centimetern entspricht. Dieß ist also die gesuchte Höhe.

B. Soll die Wassermenge, die durch einen Ueberfall fließt, möglichst genau und unter Berücksichtigung aller Nebenumstände bestimmt werden, so hat man sich der in den §§ 86 und folgenden aufgestellten Regeln und Formeln zu bedienen.

Bei einer Wasservermessung durch einen künstlichen Ueberfall ist es am passendsten, eine Anordnung zu wählen, die genau einem in den §§ 85 und folgenden beschriebenen Fällen entspricht, da man alsdann den Contractions-Coefficienten direct aus den dortigen Tabellen (welche directe Versuchsresultate enthalten) und mit aller Verläßlichkeit entnehmen kann.

Beispiele über die genaue Berechnung der Wassermenge bei Ueberfällen.

1. Welche Wassermenge fließt durch einen schmalen Ueberfall von 0,45 Meter Breite bei einer Druckhöhe von 0,15 Meter, wenn Canal und Ueberfall nicht um mehr als $^1/_5$ ihrer Breite von einander verschieden sind?

Für diesen Fall ist nach § 86:

$$M = 0{,}400\, L H \sqrt{2 g H} = 0{,}4 \times 0{,}45 \times 0{,}15 \times \ldots\ldots$$
$$\ldots\ldots \times \sqrt{2 \times 9{,}81 \times 0{,}15} = 0{,}0046 \text{ Cubikmeter.}$$

2. Welches Wasserquantum fließt durch einen Ueberfall von gleicher Breite mit dem Canal, wenn diese Breite 6,5 Meter und die Druckhöhe $= 0{,}60$ Meter beträgt, wenn ferner die in § 86 erwähnten Bedingungen eintreffen?

Hier wird

$$M = 0{,}443\, L H \sqrt{2 g H} = 0{,}443 \times 6{,}5 \times 0{,}60 \sqrt{2 \times 9{,}81 \times 0{,}60} =$$
$$= 5{,}951 \text{ Cubikmeter per Secunde.}$$

3. Ein Ueberfall von 3,5 Meter Breite hat 0,18 Meter Druckhöhe und ist halb so breit als der Canal. Welches Wasserquantum fließt durch denselben ab, wenn er mit scharfer Kante versehen ist, welche sich in einer Höhe über 2 H über dem Canalboden befindet?

Nach D'Aubuisson (§ 86) ist für ein Verhältniß von Ueberfall und Canal = 0,50 der Coefficient k = 0,410 und somit

$$M = 0{,}410\,L\,H\sqrt{2\,g\,H} = 0{,}410 \times 3{,}5 \times 0{,}18\sqrt{2 \times 9{,}81 \times 0{,}18} =$$
$$= 0{,}285 \text{ Cubikmeter per Secunde.}$$

Nach Redtenbacher dagegen ist:

$$M = \left(0{,}381 + 0{,}062\frac{L}{b}\right) L\,H\sqrt{2\,g\,H} =$$
$$= (0{,}381 + 0{,}062 \times 0{,}5)\,3{,}5 \times 0{,}18\sqrt{2 \times 9{,}81 \times 0{,}18} =$$
$$= 0{,}2864 \text{ Cubikmeter per Secunde.}$$

Einfacher gestaltet sich die Rechnung, wenn man den Werth des Ausdruckes $\left(0{,}381 + 0{,}062\frac{L}{b}\right)$ aus der Tabelle § 87 entnimmt. Dasselbe ist für $\frac{L}{b} = 0{,}50$ 0,412 und daher

$$M = 0{,}412\,L\,H\sqrt{2\,g\,H} = 0{,}412 \times 3{,}5 \times 0{,}18\sqrt{2 \times 9{,}81 \times 0{,}8} =$$
$$= 0{,}2864 \text{ Cubikmeter.}$$

4. Welche Breite muß ein Ueberfall erhalten, wenn bei einer Druckhöhe von 0,32 Meter eine Wassermenge von 5 Cubikmeter per Secunde abfließen soll?

Diese Aufgabe wird nach der Tabelle § 88 gelöst, indem man die der Druckhöhe entsprechende Wassermenge per 1 Meter Breite aufsucht. Diese ist 355,2 Liter.

Es ist somit eine Breite von

$$\frac{5000}{355{,}2} = 1{,}4076 \text{ Meter}$$

erforderlich.

5. Ein Wehr mit stark abgerundeter Krone hat 2,8 Meter Breite und 0,26 Meter Druckhöhe. Welche Wassermenge fließt über dasselbe ab, wenn die Geschwindigkeit des Wassers im Canale vor dem Wehre = 0,6 Meter beträgt?

Nach § 89 ist für diesen Fall:

$$M = 0{,}57\,L\,H\sqrt{2\,g\,H}\sqrt{1 + 0{,}115\frac{u^2}{H}} =$$
$$= 0{,}57 \times 2{,}8 \times 0{,}26\sqrt{2 \times 9{,}81 \times 0{,}26}\sqrt{1 + 0{,}115\,\frac{0{,}6^2}{0{,}26}} =$$
$$= 0{,}998 \text{ Cubikmeter per Secunde.}$$

6. Aus einem Canale von 7 Meter Breite und 2 Meter Tiefe fließt das Wasser durch einen Ueberfall von 2 Meter Breite und

0,30 Meter Druckhöhe. Welches Wasserquantum fließt hier durch, wenn der Ueberfall mit scharfer Kante versehn ist und diese 1,7 Meter über dem Canalboden liegt?

a) Nach der Redtenbacher'schen Formel § 87 wird hier:

$$M = \left(0{,}381 + 0{,}062 \frac{L}{b}\right) L H \sqrt{2 g H} =$$

$$= 0{,}401 \times 2 \times 0{,}30 \sqrt{2 \times 9{,}81 \times 0{,}30} = 0{,}583 \text{ Cubikm. per Sec.}$$

b) Nach Weißbach (§ 90) ist dagegen:

$$k = 0{,}385; \quad x = 1 + 1{,}718 \left(\frac{0{,}6}{14}\right)^4 = 1{,}00$$

$$M = x k L H \sqrt{2 g H} = 0{,}385 \times 2 \times 0{,}30 \sqrt{2 \times 9{,}81 \times 0{,}30} =$$

$$= 0{,}562 \text{ Cubikmeter per Secunde.}$$

Es differiren also in diesem Falle die Ergebnisse der Redtenbacher'schen und Weißbach'schen Formeln, die doch mit aller Sorgfalt und Umsicht abgeleitet worden sind, um volle vier Prozente der ganzen Wassermenge und man kann daraus schließen, eine wie bedenklich solide Sache es ist, wenn Maschinenfabriken die Nutzleistung ihrer Motoren bis auf 1 % (z. B. auf 78 und 83 %) des theoretischen Effectes genau angeben wollen.

Jedenfalls thut man bei einer Wasservermessung sicherer, einen künstlichen Ueberfall genau so herzustellen, wie Poncelet und Lesbros solche bei ihren Versuchen angewendet haben (§ 82 und folgende), und wenn man den entsprechenden Contractions-Coefficienten für die vorhandene Druckhöhe aus den beigefügten Tabellen über die Versuchsresultate entnimmt.

Dagegen sind die Regeln und Formeln der §§ 86 bis 90 sehr gut brauchbar, wo es sich, wie z. B. bei der Anlage einer Wasserkraft, um ungefähre (allerdings auch wo möglich bis auf einige Procente annähernde) Bestimmung der vorhandenen Wassermenge handelt, ein Streitfall also nicht vorliegt.

Bei der Anlage eines regulirbaren Motors soll man denselben nie so knapp nach der vermeintlichen, wenn auch gemessenen, Wassermenge ausführen, sondern in allen Fällen etwa $1/5$ bis $1/6$ zugeben, resp. den Motor so ausführen, daß er unter Umständen eine um $1/5$ bis $1/6$ größere Wassermenge ausnützen kann.

Ebenso nützt es durchaus nichts, den Werth einer Wasserkraft, die erst gebaut werden soll, auf mehr als 5 % annähernd berechnen zu wollen, denn jede solche knappe Rechnung hat erfahrungsmäßig Mißlichkeiten im Gefolge, sowie man sich bei der Anlage positiv auf so knappe, ja so zu sagen einfältige Voraussetzungen stützt; denn es kann auch der wirkliche Kraftbedarf einer industriellen Anlage nie so genau zum Voraus festgestellt werden und sowie man daher, wo es anders sein könnte, die Unmöglichkeit eines Mißerfolges auf einige Procente einer nur so angenäherten Rechnung stützt, so begeht man eine Thorheit.

§ 222.

Theoretische Bestimmung der Wassermenge eines Ueberfalles.

Die Art des Wasserausflusses bei einem vollständigen Ueberfall, wie solcher in allen obigen Beispielen vorausgesetzt worden ist, entspricht ihrem Wesen nach derjenigen des § 76, nämlich dem Ausflusse durch eine ganz offene Gefäßwand.

Theilt man nämlich die Höhe des Ausflußquerschnittes in n gleiche Theile oder Querstreifen, so ist die Druckhöhe des obersten Streifens $\frac{1}{n}h$, des zweitobersten Streifens $\frac{2}{n}h$, des dritten Streifens $\frac{3}{n}h$ (die Streifen äußerst wenig hoch vorausgesetzt) und es sind also die verschiedenen Ausflußgeschwindigkeiten der nacheinander folgenden Abtheilungen

$$\sqrt{2g\frac{h}{n}};\quad \sqrt{2g\frac{2h}{n}};\quad \sqrt{2g\frac{3h}{n}} \text{ u. s. f.}$$

Da nun jede dieser Abtheilungen bei derselben Breite b den Querschnitt

$$b\frac{h}{n}$$

hat, so ist die Summe der durch sämmtliche Abtheilungen fließenden Wassermengen, oder die totale Ausflußmenge:

$$Q = \frac{bh}{n}\left(\sqrt{2g\frac{h}{n}} + \sqrt{2g\frac{2h}{n}} + \sqrt{2g\frac{3h}{n}} + \cdots\cdots\right) =$$

$$= \frac{bh\sqrt{2gh}}{n\sqrt{n}}(\sqrt{1} + \sqrt{2} + \sqrt{3} + \ldots.\sqrt{n}) = \frac{bh\sqrt{2gh}}{n\sqrt{n}} \times \frac{2}{3}n\sqrt{n}$$

$$= \frac{2}{3}bh\sqrt{2gh};$$

wie bereits in § 76 auf einfacherem Wege nachgewiesen ist.

§ 223.

Vergleichung der Formeln von Redtenbacher, Weißbach und Braschmann für vollständige Ueberfälle mit scharfen Kanten.

Diese Vergleichung läßt sich am besten durch die Bestimmung der Wassermenge für einen gegebenen Fall durchführen.

Beispiel 1: Ein Ueberfall von 3,8 Meter Breite und 0,20 Meter Druckhöhe leitet das Wasser aus einem Canale von 1,6 Meter Tiefe und 5,7 Meter Breite b ab.

Welche Wassermenge fließt in einer Secunde durch den Ueberfall?

a) Nach Redtenbacher ist § 87:

$$M = \left(0{,}381 + 0{,}062\,\frac{L}{b}\right) L H \sqrt{2gH} =$$

$$= \left(0{,}381 + 0{,}062\,\frac{3{,}8}{5{,}7}\right) 3{,}8 \times 0{,}20 \sqrt{2 \times 9{,}81 \times 0{,}20} =$$

$$= 0{,}637 \text{ Cubikmeter.}$$

b) Nach Weißbach ist (§ 90) zunächst

$$k = 0{,}390 \qquad \text{und} \qquad x = 1 + 1{,}718 \left(\frac{0{,}76}{9{,}1}\right)^4 = 1{,}000.$$

$$= (1 + 1{,}718) = 1,$$

und es wird nun die Wassermenge

$$M = xkLH\sqrt{2gH} = 0{,}390 \times 3{,}8 \times 0{,}20 \sqrt{2 \times 9{,}81 \times 0{,}20} =$$

$$= 0{,}590 \text{ Cubikmeter.}$$

c) Nach Braschmann (§ 218) ist:

$$M = \left(a + \beta\,\frac{B}{b} + d\,\frac{1}{h}\right) B h \sqrt{2gh} =$$

$$k_2 B \sqrt{h^3} = 1{,}8486 + 3{,}8 \sqrt{0{,}20^3} = 0{,}632 \text{ Cubikmeter.}$$

Es stimmt also für die erwähnten Verhältnisse die Braschmann'sche neue Formel ungeachtet ihrer ganz andern Ableitung vollständig mit der Redtenbacher'schen Formel überein, während dagegen die Weißbach'sche Formel etwas von diesen Formeln abweicht und ein um $^1/_{14}$ geringeres Resultat ergiebt.

Beispiel 2: Aus einem Canale von 5 Meter Breite und 0,50 Meter Tiefe wird durch einen Ueberfall von derselben Breite und 0,15 Meter Druckhöhe das Wasser abgeführt. Wieviel fließt in einer Secunde ab?

a) Nach § 86 ist für diesen Fall

$$M = 0{,}443\,L\,H\sqrt{2\,g\,H} = 0{,}443 \times 5 \times 0{,}15\sqrt{2 \times 9{,}81 \times 0{,}15} =$$
$$= 0{,}567 \text{ Cubikmeter.}$$

b) Nach Weißbach ist zunächst $k = 0{,}393$.

$$x = 1{,}041 + 0{,}369\left(\frac{5 \times 0{,}15}{5 \times 0{,}50}\right)^2 = 1{,}041 + 0{,}369 \times 0{,}09 = 1{,}074$$

$$M = x\,k\,L\,H\sqrt{2\,g\,H} = 1{,}074 \times 0{,}393 \times 5 \times 0{,}15\sqrt{2 \times 9{,}81 \times 0{,}15}$$
$$= 0{,}543 \text{ Cubikmeter.}$$

c) Nach Braschmann ist:

$$M = k_2\,B\sqrt{h^3} = 1{,}888 \times 5\sqrt{0{,}15^3} = 0{,}547 \text{ Cubikmeter.}$$

In diesem Falle stimmt die Braschmann'sche Formel besser mit derjenigen Weißbachs überein, doch ist die Differenz zwischen ihr und der Redtenbacher'schen Formel nicht bedeutend und beschränkt sich auf $3\frac{1}{2}$ Procente der totalen Wassermenge. Bei der Anlage eines neuen Motors kommt eine so geringe Differenz nicht in Betracht.

§ 224.

Unvollständige Ueberfälle.

1. Ein unvollständiger Ueberfall hat folgende Dimensionen: Abstand beider Wasserspiegel 0,20 Meter, Abstand des Oberwasserspiegels über der Krone = 0,30 Meter, Höhe der Krone über dem Boden = 0,60 Meter, Breite = 1,5 Meter. Welche Wassermenge fließt durch denselben ab?

Nach § 99 hängt der Ausfluß-Coefficient k von dem Verhältniß $\frac{H - h}{H}$ ab. Dieses Verhältniß ist hier $\frac{H - h}{H} = \frac{0{,}30 - 0{,}20}{0{,}30} = 0{,}333$, also nahe 0,350, welchem nach der Tabelle der Coefficient $k = 0{,}492$ entspricht; es wird also

$$Q = 0{,}492 \times 0{,}30 \times 1{,}5\sqrt{2 \times 9{,}81 \times (0{,}30 - 0{,}20)} =$$
$$= 0{,}3478 \text{ Cubikmeter per Secunde.}$$

2. Für alle speciellen Verhältnisse ist zur Berechnung der Wassermenge bei unvollständigen Ueberfällen der Ausfluß-Coefficient aus den §§ 92 und folgenden zu entnehmen und sind auch hier alle auf die Form der Krone und das Vorhandensein eines Gerinnes bezüglichen Umstände wohl zu berücksichtigen, wenn die Wasservermessung auf Genauigkeit Anspruch machen soll.

Jedenfalls wird man bei der Anlage eines provisorischen Ueberfalles behufs Wasservermessung niemals einen unvollständigen Ueberfall wählen, außer wenn man durch locale Verhältnisse an der Erstellung eines vollständigen Ueberfalles durchaus verhindert ist; denn die Versuche mit den unvollständigen Ueberfällen sind noch nicht für so mannigfaltige Verhältnisse durchgeführt worden, daß man die erforderlichen Coefficienten für alle Fälle mit genügender Sicherheit daraus entnehmen könnte.

§ 225.

Ueberfall in den Seitenwänden eines Canales.

1. Welche Wassermenge fließt durch einen 5 Meter langen Ueberfall ab, welcher in den Seitenwänden eines Canales angebracht ist, wenn die Druckhöhe am obern Ende des Ueberfalls 0,30 Meter beträgt?

Nach § 103 ist:

$$M = \frac{2}{5} k L H^{\frac{3}{2}} \sqrt{2g},$$

und da beim Vorhandensein eines 1 : 10 geneigten Gerinnes der Coefficient des Ausflusses circa 0,37 ist, so wird

$$M = \frac{2}{5} \cdot 0{,}37 \times 5 \times 0{,}30^{\frac{3}{2}} \sqrt{19{,}61} = 16{,}94 \text{ Cubikmeter per Secunde.}$$

2. Soll im obigen Falle aus der Wassermenge und der Druckhöhe die erforderliche Länge gesucht werden, so ist, wenn Q = 3,6 Cubikmeter werden soll:

$$L = \frac{5}{2} \frac{M}{k \sqrt{2g} \, . \, H^{\frac{3}{2}}} = \frac{5}{2} \cdot \frac{3{,}6}{0{,}37 \sqrt{19{,}61} \times 0{,}30^{\frac{3}{2}}} = 18{,}3 \text{ Meter};$$

speciell für den Coefficienten 0,37 wird

$$L = 1{,}525 \frac{M}{H} = 1{,}525 \frac{3{,}6}{0{,}30} = 18{,}3 \text{ Meter.}$$

§ 226.

Ueberfall vor einem Wasserrade.

In 2 Meter Entfernung von einem Wasserrade, d. h. als Einlauf zu einem Ueberfallrade ist ein Ueberfall von 4,5 Meter Breite und 0,20 Meter Druckhöhe angebracht. Welches Wasserquantum fließt hier ab, wenn der Coefficient bei nicht vorhandenem Motor, also ganz freiem Ablaufe = 0,430 beträgt?

Nach § 104 ist für diesen Fall der in Rechnung zu bringende Coefficient $k_1 = \frac{1}{2} k = \frac{1}{2} 0{,}430 = 0{,}220$ und es wird somit
$Q = 0{,}22 \times 4{,}5 \times 0{,}20 \sqrt{2 \times 9{,}81 \times 0{,}20} = 0{,}396$ Cubikm. per Sec.

§ 227.

Stauweite und Stauhöhe eines Wehres *).

a) Welches ist die ungefähre Stauweite eines Wehres, wenn das Wasser auf eine Höhe $h = 0{,}40$ Meter über dem natürlichen Wasserspiegel gestaut werden soll und der Winkel a der Wasserfläche vor der Anlage des Wehres mit der Horizontalen 5 Grad beträgt?

Nach § 105 wird die Stauweite $= h \operatorname{cotg} a = 0{,}40 \operatorname{cotg} 5^0 = 0{,}40 \times 11{,}4 = 4{,}56$ Meter; bei einer Neigung von 2^0 dagegen würde die Stauweite:

$$w = 0{,}40 \operatorname{cotg} 2^0 = 0{,}40 \times 28{,}6 = 11{,}44 \text{ Meter.}$$

b) **Genaue Bestimmung von Stauweite und Stauhöhe.** Nach § 105 verläuft die Staucurve genau genommen assymptotisch zum ursprünglichen Wasserspiegel, d. h. die Curve nähert sich dem letztern mehr und mehr, je weiter sie sich vom Wehre entfernt, ohne den Wasserspiegel aber jemals ganz zu erreichen.

Bei kleinen Geschwindigkeiten und großen Wassertiefen erstreckt sich aus diesem Grunde die Stauung eines Flusses oft auf außerordentlich große Distanzen und es handelt sich also eigentlich mathematisch genommen niemals darum, *wie weit* die Stauung sich erstreckt (diese Weite ist genau genommen unendlich groß, wenn auch in der Wirklichkeit nicht nachweisbar), sondern um die Beantwortung der Frage, wie groß die Stauung in einer gegebenen Entfernung vom Wehre überhaupt noch sei.

Nennt man:

a die mittlere Tiefe des Flusses vor Anlage des Wehres,
y die Höhe der Stauung in der Entfernung x vom Wehre,
a_2 den Neigungswinkel der ursprünglichen Wasseroberfläche gegen den Horizont,
h die Stauhöhe unmittelbar neben dem Wehre,
Q den Querschnitt des ursprünglichen Wasserkörpers im Canale,
S den benetzten Theil des Umfanges des ursprünglichen Wasserkörpers im Canale,
n die mittlere Geschwindigkeit des Wassers im ursprünglichen Canale,

so hat man nach *Grashof* zunächst folgende Werthe zu bestimmen:

*) Ueber die eigenthümlichen Stauverhältnisse bei Brückenpfeilern oder bei Verengungen und Erweiterungen der Flußbetten siehe in der letzten Lieferung dieses Bandes.

$$k^2 = \frac{S}{Q}\,\frac{n^2}{a^2}; \qquad z = \frac{a+y}{a}; \qquad z_1 = \frac{a+h}{a};$$

$$f(z) = \frac{1}{6}\log\text{nat.}\,\frac{z^2+z+1}{(z-1)^2} - \frac{1}{\sqrt{3}}\,\text{arc cotg}\,\frac{2z+1}{\sqrt{3}};$$

$f(z_1)$ = dem obigen Ausdrucke, wenn man in demselben z_1 statt z einsetzt.

Es wird nun die gesuchte Distanz x, in welcher die Stauung nur noch $= y$ ist:

$$x = \frac{a}{a_2}\left\{z_1 - z + \left(1 - \frac{a_2\,k^2}{g}\right)[f(z) - f(z_1)]\right\}.$$

Diese Rechnung ist etwas umständlich und es wird daher folgende Tabelle (nach Bresse, mécanique appliquée) beigefügt, welche die Werthe von $f(z)$ oder $f(z_1)$ für verschiedene Werthe von $\frac{1}{z}$ oder $\frac{1}{z_1}$ enthält.

Beispiel. Es soll die Stauhöhe eines Wehres unter folgenden Verhältnissen möglichst genau bestimmt werden: Es ist die mittlere Tiefe a des Flusses vor Anlage des Wehres = 0,65 Meter, der Neigungswinkel a_2 der ursprünglichen Wasseroberfläche = 3°, der Querschnitt Q des ursprünglichen Wasserkörpers im Flusse bei einer Breite des Letztern von 3,5 Meter = 2,275 Quadratmeter. Der benetzte Theil S des Umfanges im Flußquerschnitte ist 4,8 Meter und die mittlere Geschwindigkeit n des Wassers im ursprünglichen Flusse ist 0,5 Meter per Secunde. Wie groß ist die Entfernung x vom Wehre, in welcher die Stauhöhe nur noch 0,30 Meter ist, wenn das Wasser am Wehre auf 0,60 Meter gestaut wird?

$$k^2 = \frac{S}{Q}\,\frac{n^2}{a_2} = \frac{4,8}{2,275}\,\frac{0,5 \times 0,5}{3} = 0,175.$$

$$z = \frac{a+y}{a} = \frac{0,65+0,30}{0,65} = 1,46; \quad z_1 = \frac{a+h}{a} = \frac{0,65+0,60}{0,65} = 1,92.$$

$$f(z) = \frac{1}{6}\log\text{nat.}\,\frac{z^2+z+1}{(z-1)^2} - \frac{1}{\sqrt{3}}\,\text{arc. cotg}\,\frac{2z+1}{\sqrt{3}} = 0,2677.$$

$$f(z_1) = 0,132;$$

und es wird nun die gesuchte Distanz x

$$x = \frac{a}{a_2}\left\{z_1 - z + \left(1 - \frac{a_2 k^2}{g}\right)[f(z) - f(z_1)]\right\} = \frac{0,65}{3}\left\{1,92 - 1,46 + \right.$$

$$\left. + \left(1 - \frac{3 \times 0,175}{9,81}\right)[0,2677 - 0,132]\right\} = 3,4 \text{ Meter}.$$

Werthe von f(z) zur Berechnung der Stauhöhe in beliebigen Distanzen vom Wehr.

Werth von $\frac{1}{z}$	Werth von f(z)	Werth von $\frac{1}{z}$	Werth von f(z)	Werth von $\frac{1}{z}$	Werth von f(z)	Werth von $\frac{1}{z}$	Werth von f(z)
0,000	∞	0,952	0,8931	0,835	0,4831	0,58	0,1832
0,999	2,1834	0,950	0,8795	0,830	0,4733	0,57	0,1761
0,998	1,9532	0,948	0,8665	0,825	0,4637	0,56	0,1692
0,997	1,8172	0,946	0,8539	0,820	0,4544	0,55	0,1625
0,996	1,7213	0,944	0,8418	0,815	0,4454	0,54	0,1560
0,995	1,6469	0,942	0,8301	0,810	0,4367	0,53	0,1497
0,994	1,5861	0,940	0,8188	0,805	0,4281	0,52	0,1435
0,993	1,5348	0,938	0,8079	0,800	0,4198	0,51	0,1376
0,992	1,4902	0,936	0,7973	0,795	0,4117	0,50	0,1318
0,991	1,4510	0,934	0,7871	0,790	0,4039	0,49	0,1262
0,990	1,4159	0,932	0,7772	0,785	0,3962	0,48	0,1207
0,989	1,3841	0,930	0,7675	0,780	0,3886	0,47	0,1154
0,988	1,3551	0,928	0,7581	0,775	0,3813	0,46	0,1102
0,987	1,3284	0,926	0,7490	0,770	0,3741	0,45	0,1052
0,986	1,3037	0,924	0,7401	0,765	0,3671	0,44	0,1003
0,985	1,2807	0,922	0,7315	0,760	0,3603	0,43	0,0955
0,984	1,2592	0,920	0,7231	0,755	0,3526	0,42	0,0909
0,983	1,2390	0,918	0,7149	0,750	0,3470	0,41	0,0865
0,982	1,2199	0,916	9,7069	0,745	0,3406	0,40	0,0821
0,981	1,2019	0,914	0,6990	0,740	0,3343	0,39	0,0779
0,980	1,1848	0,912	0,6914	0,735	0,3282	0,38	0,0738
0,979	1,1686	0,910	0,6839	0,730	0,3221	0,37	0,0699
0,978	1,1531	0,908	0,6766	0,725	0,3162	0,36	0,0660
0,977	1,1383	0,906	0,6695	0,720	0,3104	0,35	0,0623
0,976	1,1241	0,904	0,6625	0,715	0,3047	0,34	0,0587
0,975	1,1105	0,902	0,6556	0,710	0,2991	0,33	0,0553
0,974	1,0974	0,900	0,6489	0,705	0,2937	0,32	0,0519
0,973	1,0848	0,895	0,6327	0,70	0,2883	0,31	0,0486
0,972	1,0727	0,890	0,6173	0,69	0,2778	0,30	0,0455
0,971	1,0610	0,885	0,6025	0,68	0,2677	0,29	0,0425
0,970	1,0497	0,880	0,5884	0,67	0,2580	0,28	0,0395
0,968	1,0282	0,875	0,5449	0,66	0,2486	0,27	0,0367
0,966	1,0080	0,870	0,5619	0,65	0,2395	0,26	0,0340
0,964	0,9890	0,865	0,5494	0,64	0,2306	0,25	0,0314
0,962	0,9700	0,860	0,5374	0,63	0,2221	0,24	0,0290
0,960	0,9539	0,855	0,5258	0,62	0,2138	0,23	0,0266
0,958	0,9376	0,850	0,5146	0,61	0,2058	0,22	0,0243
0,956	0,9221	0,845	0,5037	0,60	0,1980	0,21	0,0221
0,954	0,9073	0,840	0,4932	0,59	0,1905	0,20	0,0201

§ 228.

Bestimmung der Höhe der Wehrkrone.

1. Durch ein 3 Meter breites Wehr, das neu erstellt werden muß, soll eine Wassermenge von 3 Cubikmeter per Secunde abfließen und der ursprüngliche Wasserspiegel auf eine Höhe $h = 0{,}50$ Meter gestaut werden. Wird das Wehr ein Grundwehr oder ein Ueberfallwehr und welches wird die Höhe der Wehrkrone?

Nach § 106 hat man zunächst nachzusehn, ob der Werth von $0{,}57\, b\, h \sqrt{2\, g\, h}$ gleich, größer oder kleiner ausfällt als die Wassermenge. Es wird nun

$$0{,}57\, b\, h \sqrt{2\, g\, h} = 0{,}57 \times 3 \times 0{,}50 \sqrt{2 \times 9{,}81 \times 0{,}50} =$$
$$= 2{,}684 \text{ Cubikmeter.}$$

Dieser Werth ist also kleiner als die Wassermenge, die über das Wehr fließen soll, und es wird somit das Wehr ein Grundwehr. Die Höhe der Wehrkrone unter dem ursprünglichen gestauten Wasserspiegel wird nach § 106:

$$x = \frac{M}{0{,}62\, b \sqrt{2\, g\, h}} - 0{,}92\, h =$$
$$= \frac{3}{0{,}62 \times 3 \sqrt{19{,}6 \times 0{,}50}} - 0{,}92 \times 0{,}50 = 0{,}06 \text{ Meter.}$$

2. Soll die durch ein Wehr von 5 Meter Breite abfließende Wassermenge 2,5 Cubikmeter per Secunde betragen und der Wasserspiegel auf 0,70 Meter gestaut werden, so ist

$$0{,}57\, b\, h \sqrt{2\, g\, h} = 0{,}57 \times 5 \times 0{,}70 \sqrt{19{,}6 \times 0{,}70} = 7{,}35 \text{ Cubikmeter.}$$

Es wird also in diesem Falle das Wehr ein vollkommenes Ueberfallwehr und die Höhe der Wehrkrone unter dem gestauten Wasserspiegel wird nach § 105:

$$x = \left(\frac{M}{0{,}57\, b\,.\sqrt{2\, g}}\right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{2{,}5}{0{,}57 \times 5 \sqrt{2 \times 9{,}81}}\right)^{\frac{2}{3}} = 0{,}16 \text{ Meter}^{*)}.$$

Obgleich mit Hülfe dieses Verfahrens die Höhe der Wehrkrone nicht ganz genau bestimmt wird, so ist die Annäherung doch eine solche, daß dieselbe für practische Zwecke vollständig genügt, da eine kleine Correction der Wehrkronenhöhe überall leicht vorzunehmen ist.

---

*) Siehe den folgenden Paragraphen.

Soll dennoch zu irgend einem Zwecke eine genauere Berechnung der Höhe einer Wehrkrone durchgeführt werden, so hat man sich der Formeln des § 106 b) zu bedienen, welche auch die Verminderung des Unterwasserspiegels durch die in einen Seitencanal abfließende Wassermenge berücksichtigen.

§ 229.

Genaue Bestimmung der Höhe der Wehrkrone.

1. In einem Flusse von 3,5 Meter Breite und 0,90 Meter Wassertiefe im Mittel gerechnet soll ein Wehr errichtet werden, welches den ursprünglichen Wasserspiegel auf 0,50 Meter Höhe staut. In einen Seitencanal vor dem Wehre soll eine Wassermenge von 2,5 Cubikmeter abfließen, während das ganze Wasserquantum des Flusses 7,5 Cubikmeter beträgt, da die mittlere Geschwindigkeit des Wassers im Flusse 2,5 Meter per Secunde beträgt.

Es ist zunächst die Erniedrigung des Unterwasserspiegels durch die seitwärts abfließende Wassermenge zu bestimmen. Diese Erniedrigung ist nach § 106 b:

$$\frac{e}{a} = 1 - \left(\frac{M_1}{M}\right)^{\frac{2}{3}} \left\{1 - \tfrac{2}{3}\,\frac{a}{b}\left[1 - \left(\frac{M_1}{M}\right)^{\frac{2}{3}}\right]\right\} = x + y\,\frac{a}{b}.$$

Nun ist das Verhältniß $\frac{M_1}{M} = \frac{2,5}{7,5} = 0,33$ und es sind somit die Werthe der Coefficienten $x = 0,52$ und $y = 0,165$ und es wird sonach der obige Ausdruck

$$\frac{e}{a} = 0,52 + 0,165\,\frac{0,90}{3,5} = 0,56,$$

und somit

$$e = 0,56\,.\,a = 0,56 \times 0,90 = 0,504 \text{ Meter}.$$

Es i9 ferner $i = \frac{n^2}{2\,g} = \frac{2,5^2}{19,6} = 0,32.$

Es wird nun die Höhe der Wehrkrone über dem ursprünglichen Wasserspiegel

$$z = k - \left(\frac{Q}{k\,b\,\sqrt{2\,g}} + i^{\frac{3}{2}}\right)^{\frac{2}{3}} + i =$$

$$= 0,50 - \left(\frac{7,5}{0,53 \times 3,5\,\sqrt{19,6}} + 0,32^{\frac{3}{2}}\right)^{\frac{2}{3}} + 0,32 = -\,0,18 \text{ Meter},$$

d. h. es soll die Wehrkrone 0,18 Meter unter dem ursprünglichen Wasserspiegel liegen, und da dieser $-\,z = -\,0,18$ Meter größer ist, als die Erniedrigung des Unterwasserspiegels negativ genommen, d. h. da $-0{,}18 > -0{,}50$ ist, so bleibt das Wehr ein vollkommenes Ueberfallwehr.

2. Wäre im obigen Beispiele der Werth von z kleiner als der negative Werth der Erniedrigung des Wasserspiegels durch die seitwärts in den Canal abfließende Wassermenge, so würde das Wehr ein Grundwehr werden und es wäre dann die Rechnung zur Bestimmung der eigentlichen Lage der Wehrkrone zu wiederholen und zwar nach § 106 b mittelst des Ausdruckes:

$$z = \frac{Q}{k_1 b \sqrt{2g(h+e+i)}} - \frac{k}{k_1} \frac{(h+e+i)^{\frac{3}{2}} - i^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{h+e+i}} + e,$$

wobei für ein Wehr ohne Seiten-Contraction und mit abgerundeter Krone $k = 0{,}53$, $k_1 = 0{,}80$, $\frac{k}{k_1} = \frac{2}{3}$. Setzt man in diesen Ausdruck die entsprechenden numerischen Werthe ein, so wird:

$$z = \frac{7{,}5}{0{,}80 \times 3{,}5 \sqrt{19{,}6\,(0{,}50+0{,}504+0{,}32}} -$$

$$-\frac{2}{3} \frac{(0{,}50+0{,}504+0{,}32)^{\frac{3}{2}} - 0{,}32^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{0{,}50+0{,}504+0{,}32}} + 0{,}504 = 0{,}174 \text{ Meter.}$$

Da sich nun aber der Werth von z kleiner ergeben hat als die Erniedrigung e des Unterwasserspiegels, so ist das Wehr ein vollkommenes Ueberfallwehr und es bleibt somit die Lage der Wehrkrone nach der unter 1. durchgeführten Rechnung die richtige.

3. Würde endlich der Werth von z negativ und gleich der Erniedrigung des Unterwasserspiegels, negativ genommen, ausfallen, so bleibt die durchgeführte Rechnung ebenfalls richtig und es wird die Höhe z gleich der Höhe des Wasserspiegels im Untergraben, d. h. es wird das Wehr ein halbes Grundwehr und ein halbes Ueberfallwehr, also ein sogenanntes Mittelwehr oder Grenzwehr.

§ 230.

Relation zwischen Gefälle, Querschnitt und mittlerer Geschwindigkeit eines Flusses oder Canales.

1. Ein kleiner Wassergraben hat folgende Dimensionen: Breite des Wasserspiegels 2 Meter; Tiefe = 0,50 Meter; benetzter Umfang = 3 Meter; Fläche des Wasserkörperquerschnittes = 1 Quadratmeter;

Gefälle des Wasserspiegels auf 1 Meter Länge = 0,001 Meter. Welches ist die mittlere Geschwindigkeit des ganzen Canalquerschnittes?

a) Rechnet man hier nach den amerikanischen Formeln, so ist zunächst nach § 138

$$r_1 = \frac{a}{p + W} = \frac{1}{3 + 2} = 0{,}2$$

und es wird somit die mittlere Geschwindigkeit v

$$v = \beta k \sqrt{r_1 \sqrt{s}} = \beta k \sqrt{0{,}2 \sqrt{0{,}001}},$$

wobei $k = 8{,}289$ und $\beta = 0{,}879$; es wird also

$$v = 0{,}879 \times 8{,}289 \sqrt{0{,}2 \sqrt{0{,}001}} = 0{,}5974 \text{ Meter per Secunde.}$$

2. Will man diese Rechnung nach der genauen Humphrey-Abbot'schen Formel durchführen, so ist zunächst nach § 131 der Werth

$$b = \frac{0{,}285}{\sqrt{D + 0{,}457}} = \frac{0{,}285}{\sqrt{0{,}50 + 0{,}457}} = 0{,}29,$$

und es wird sodann nach § 132:

$$v = \left\{\sqrt{0{,}0081\, b + \sqrt{69\, r_1 \sqrt{s}}} - 0{,}09 \sqrt{b}\right\}^2 =$$

$$= \left\{\sqrt{0{,}0081 \times 0{,}29 + \sqrt{69 \times 0{,}2 \sqrt{0{,}001}}} - 0{,}09 \sqrt{0{,}29}\right\}^2 =$$

$$= 0{,}584 \text{ Meter.}$$

b) Rechnet man dagegen nach der allgemeinen Kutter'schen Formel § 155, so ist zunächst $r = \frac{a}{b} = \frac{1}{2} = 0{,}5$ und es wird für einen gut ausnivellirten Canal aus Erde ohne Steine und Wasserpflanzen nach Tabelle § 157 der Werth von x (in der Formel $v = x \sqrt{r \cdot s}$) = 34,5 und daher

$$v = 34{,}5 \sqrt{r \cdot s} = 34{,}5 \sqrt{0{,}001 \times 0{,}5} = 0{,}793 \text{ Meter.}$$

c) Für einen unregelmäßigern Canal dagegen mit geringern Unebenheiten, Steinen u. s. w. ist nach der Tabelle § 158 der Werth von $x = 28{,}4$ und somit die Geschwindigkeit

$$v = 28{,}4 \sqrt{r \cdot s} = 28{,}4 \sqrt{0{,}001 \times 0{,}5} = 0{,}653 \text{ Meter.}$$

d) Rechnet man nach der Gaukler'schen Formel § 148e, so ist nach der Tabelle Seite 268 der Werth des Coefficienten x (bei dem Rauheitsgrade V.) = 28,9 und somit die Geschwindigkeit sehr nahe wie unter c) nach Kutter's Formel.

e) Wie man sieht, ist die Differenz zwischen dem Ergebniß der neuen Formeln und demjenigen nach Humphrey-Abbot (Grebenau) sehr bedeutend, was daher rührt, daß (nach § 148 c) die letztere Formel für den vorliegenden Fall nicht mehr anwendbar ist.

3. Wie groß muß das Gefälle s und die Dimensionen eines Fabrikcanales werden, wenn derselbe eine Wassermenge von 5 Cubikmeter per Secunde fassen und eine möglichst geringe Tiefe haben soll?

Da der Canal in sandigem Boden erstellt werden soll, so darf nach der Tabelle des folgenden Paragraphen die Geschwindigkeit des Wassers nicht über 0,3 Meter per Secunde betragen. Nimmt man nun das Verhältniß von Breite und Tiefe des Canales wie 6 : 1 an, so erhält der Canal folgende Querschnittsdimensionen: Es wird der Querschnitt zunächst $= \frac{5}{0,3} = 17$ Quadratmeter und die Breite $= 10$, die Tiefe aber 1,7 Meter.

Da der Canal ein rechtwinkliges Querprofil erhält (die Seiten allerdings mit Böschung versehn, die aber hier nicht in Betracht kommt), so wird nach § 132 zunächst

$$z = v + 0,167 \sqrt{b}\sqrt{v} = 0,30 + 0,167 \sqrt{\frac{0,285}{\sqrt{1,7 + 0,457}}} \sqrt{0,30} =$$
$$= 0,341$$

und es wird nun das Gefälle per 1 Meter Canallänge nach § 132

$$s = \left\{\frac{(p + W)\, z^2}{60\, a}\right\}^2 = \left\{\frac{(13,4 + 10)\; 0,341^2}{60 \times 17}\right\}^2 = 0,00000676 \text{ Meter.}$$

Will man diese Aufgabe nach der allgemeinen Kutter'schen Formel auflösen, so verfährt man am besten auf folgende Weise unter Benützung der Tabellen § 157 und folgende:

Man nimmt vorerst probeweise (dem Gefühle nach) ein Gefälle an und sucht sodann die Geschwindigkeit, welche demselben entspricht. Wählt man z. B. $s = \frac{0,05}{1000} = 0,00005$, so ist nach der Tabelle Seite 283 für einen sehr regelmäßigen Canal bei $r = 1,7$ der Werth des Coefficienten x mitten zwischen 45,2 und 46,6 oder gleich 45,9 und es wäre somit

$$v = 45,9 \sqrt{r \cdot s} = 45,9 \sqrt{1,7 \times 0,00005} = 0,415 \text{ Meter.}$$

Da die wirkliche Geschwindigkeit von 0,30 Meter noch wesentlich kleiner ist, als die so erhaltene, so ist das angenommene Gefälle zu groß. Da nun aber die Tabelle keine kleinern Werthe von s enthält, so ist der Werth von x nach der Formel des § 155 zu berechnen.

Nimmt man als zweiten Versuch das Gefälle zu $\frac{0{,}005}{1000} = 0{,}000005$ an, so wird der Werth von x für den Rauheitsgrad $\beta = 0{,}025 =$

$$x = \frac{23 + \frac{0{,}00155}{s} + \frac{1}{\beta}}{1 + \frac{\beta}{\sqrt{r}}\left(23 + \frac{0{,}00155}{s}\right)} = \frac{23 + \frac{0{,}00155}{0{,}000005} + \frac{1}{0{,}025}}{1 + \frac{0{,}025}{\sqrt{1{,}7}}\left(23 + \frac{0{,}00155}{0{,}000005}\right)} = 49{,}5$$

und somit der Werth von v:

$$v = 49{,}5\sqrt{r\,.\,s} = 49{,}5\sqrt{1{,}7 \times 0{,}000001} = 0{,}1435 \text{ Meter.}$$

Dieser zweite Versuch giebt die Geschwindigkeit zu klein an und es ist also auch das angenommene Gefälle zu klein.

Nimmt man als dritten Versuch das Gefälle zu 0,00002 an, so wird $x = 47$ und $v = 0{,}30$ Meter, was also der wirklichen Geschwindigkeit entspricht.

Dieses Ergebniß ist dreimal so groß als dasjenige nach der amerikanischen Formel und es ist daher der Sicherheit halber das größere Ergebniß für die Ausführung zu wählen.

Das obige Beispiel wird als ziemlich weitläufige Rechnung erscheinen; doch gehören numerische Werthe dieser Art zu den Seltenheiten. In den meisten Fällen der Praxis sind die Dimensionen-Verhältnisse der Art, daß der Werth von x ohne Weiteres aus der Tabelle entnommen werden kann und dann stellt sich das probeweise Verfahren nicht so umständlich heraus.

Ebenso wird man sich beim Rechnen nach der amerikanischen Formel weniger der letztern selbst, als der in der Tabelle Seite 270 aufgeführten Coefficientenwerthe bedienen.

4. Wenn das Querprofil, das Gefälle und die mittlere Geschwindigkeit gegeben ist, sollen die Dimensionen des Querprofiles bestimmt werden, die nicht willkürlich sind.

Es muß unter Zugrundlegung des obigen Beispieles sein

$$p + W = \frac{60\,.\,a\sqrt{s}}{z^2} = \frac{60 \times 17\sqrt{0{,}0000067}}{0{,}205^2} = 23{,}4.$$

Leistet man dieser Bedingung Genüge, so erhält man für die Dimensionen des Querschnittes leicht $p = 13{,}4$ Meter und $W = 10$ Meter $D = \frac{3{,}4}{2} = 1{,}7$ Meter.

5. Es sei das vorhandene Gefälle eines Fabrikcanales, der angelegt werden soll, $= 0{,}002$ Meter per 1 Meter Canallänge $= I$; der

Querschnitt Q_1 des Wasserkörpers von 2,5 Meter Breite und 0,40 Meter Tiefe = 1 Quadratmeter. Die Länge des benetzten Umfanges S ist gleich $2{,}5 + 2 \times 0{,}40 = 3{,}3$ Meter und es wird also der Werth von

$$R = \frac{Q_1}{S} = \frac{1}{3{,}3} = 0{,}3.$$

Welches ist die mittlere Geschwindigkeit, welche das Wasser in diesem Canale annimmt, und welche Wassermenge fließt durch denselben?

Laut § 148 wird nach Darcy-Bazin:

$$U = \sqrt{\frac{RI}{a + \frac{\beta}{R}}}.$$

Nach demselben Paragraphen sind die Werthe der Coefficienten a und β, wenn der Canal mit glatten Wänden aus Holz oder Stein hergestellt wird:

$$a = 0{,}00019 \quad \text{und} \quad \beta = 0{,}0000124.$$

Es wird demnach die mittlere Geschwindigkeit

$$U = \sqrt{\frac{0{,}3 \times 0{,}002}{0{,}00019 + \frac{0{,}0000124}{0{,}30}}} = 1{,}58 \text{ Meter per Secunde}$$

und es wird die durch den Canal fließende Wassermenge per Secunde $= 1{,}58 \times 1 = 1{,}58$ Cubikmeter.

6. Welche Geschwindigkeit nimmt das Wasser in einem in die Erde gegrabenen Canale von 5 Meter Breite und 1 Meter Tiefe an, wenn die Länge des Canales 700 Meter und das totale Gefälle auf dieser Länge = 1 Meter beträgt?

Es ist zunächst das Gefälle I per 1 Meter Canallänge $= \frac{1}{700}$ $= 0{,}0014$ Meter.

Die Länge S des benetzten Umfanges ist $= 5 + 2 \times 1 = 7$ Meter, also das Verhältniß R des Querschnittes Q_1 des Wasserkörpers zum benetzten Umfang $\frac{Q_1}{S} = \frac{5}{7} = 0{,}71.$

Nach § 150 ist ferner nach Darcy-Bazin:

$$a = 0{,}00028 \quad \text{und} \quad \beta = 0{,}00035$$

und es wird somit die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in diesem Canale

$$U = \sqrt{\frac{0{,}71 \times 0{,}0014}{0{,}00028 + \frac{0{,}00035}{0{,}71}}} = 1{,}120 \text{ Meter per Secunde.}$$

Nach Humphrey-Abbot wird dagegen diese mittlere Geschwindigkeit

$$v = \beta k = \sqrt{r_1}\sqrt{s} = 0{,}88 \times 8{,}28 \sqrt{\frac{5}{7+5}}\sqrt{0{,}0014} =$$

$$= 0{,}95 \text{ Meter per Secunde.}$$

Rechnet man nach der allgemeinen Kutter'schen Formel (§ 155), so ist zunächst $r = \frac{a}{b} = \frac{5}{5} = 1$ und das Gefälle gleich 1,4 Tausendstel.

Diesen Werthen entspricht laut Tabelle § 157 für den Rauheitsgrad $\beta = 0{,}025$ der Werth $x = 40$ und es ist somit die mittlere Geschwindigkeit

$$v = 40\sqrt{r \,.\, s} = 40\sqrt{1 \times 0{,}0014} = 1{,}52 \text{ Meter.}$$

Nimmt man dagegen den Rauheitsgrad $\beta = 0{,}030$ an, so wird der Werth von x nach Tabelle § 158 gleich 33,3 und daher

$$v = 33{,}3\sqrt{r \,.\, s} = 33{,}3\sqrt{1 \times 0{,}0014} = 1{,}265 \text{ Meter.}$$

Dieses letztere Ergebniß stimmt nahe mit demjenigen nach Darcy-Bazin überein, während das nach der amerikanischen Formel (die hier nicht mehr anwendbar ist nach § 148 c) wesentlich kleiner, dasjenige nach Kutter mit Rauheitsgrad $\beta = 0{,}025$ aber wesentlich größer ausfällt.

Man wird leicht bemerken, daß hier Alles darauf ankommt, den Rauheitsgrad richtig zu wählen, und daß natürlicherweise hierin die Schwierigkeit liegt, die wirkliche mittlere Geschwindigkeit eines vorhandenen nicht äußerst regelmäßigen Canales durch Rechnung zu bestimmen.

Hier kann man sich lediglich dadurch helfen, daß man unter Benützung der Tabellen Seite 272 und 281 einen bereits vorhandenen Canal mit genau bekannter Beschaffenheit mit dem zu berechnenden Canale vergleicht, um darnach den wirklichen Rauheitsgrad oder den Werth des Coefficienten x zu bestimmen.

§ 231.

Maximum der Geschwindigkeit des Wassers in Flüssen und Canälen.

Wenn das Grundbett eines Flusses oder Canales von dem fließenden Gewässer nicht angegriffen werden soll, so darf die Geschwindigkeit desselben die nachstehend aufgeführten Werthe bei der angegebenen Beschaffenheit des Canales oder Bettes nicht übersteigen.

Es ist für ein Fluß- oder Canalbett

von	aufgelöster Erde . .	$v = 0{,}076$	Meter per Secunde,
aus	fettem Thon . . .	$v = 0{,}152$	„ „ „
„	sandigem Boden . .	$v = 0{,}300$	„ „ „
„	kiesigem Boden . .	$v = 0{,}609$	„ „ „
„	abgerundeten Kieseln .	$v = 0{,}914$	„ „ „
„	eckigen Kieseln . . .	$v = 1{,}220$	„ „ „
„	Conglomerat . . .	$v = 1{,}520$	„ „ „
„	geschichteten Felsen .	$v = 1{,}830$	„ „ „
„	ungeschichteten Felsen .	$v = 3{,}00$	„ „ „

§ 232.

Vermessung der Wassermenge in Flüssen und Canälen.

Die Vermessung der gewöhnlichen Wasserläufe geschieht, sobald man es mit einem regelmäßigen Canale mit constantem Querschnitte zu thun hat, nach den in den §§ 110 bis 120 angegebenen Regeln mit Hülfe der mittlern Geschwindigkeit v des Wassers im Canalquerschnitte. Hat man keines der in jenen Paragraphen angegebenen Hülfsmittel zur Bestimmung der mittlern Geschwindigkeit zur Verfügung, so muß man sich mit Hülfe eines Schwimmers helfen (§ 115), welchen man am passendsten aus einem cubischen Holzstück von circa 5 Zoll = 15 Centimeter Seite anfertigt, der mit Blei beliebig beschwert und in jeder Tiefe schwimmen gelassen werden kann.

Nimmt man die Vermessung bei ruhigem Wetter vor, so ist bei künstlichen Fabrikcanälen die größte Geschwindigkeit immer sehr nahe an der Oberfläche und es ist dann nach § 140 die mittlere Geschwindigkeit in jeder Verticalebene in 0,5773 der Wassertiefe vom Wasserspiegel aus gerechnet und es ist somit die mittlere Geschwindigkeit in jeder Verticalebene um $^1/_{10}$ Fuß engl. oder um 30 Millimeter kleiner als die Geschwindigkeit in der halben Canaltiefe.

Man hat also bei einer Vermessung einer Wassermenge eines Canales die Breite desselben in mehrere Theile einzutheilen, in der Mitte dieser verticalen Stromstriche die Geschwindigkeit in der halben Tiefe zu messen, von dieser erhaltenen Geschwindigkeit per Secunde 30 Millimeter abzuziehen, die so erhaltenen mittlern Geschwindigkeiten aller Stromstriche zu addiren und die Summe durch die Anzahl der Stromstriche zu dividiren, um die wirkliche mittlere Geschwindigkeit des ganzen Canalquerschnittes zu erhalten. Diese mit dem mittlern Querschnitt des Wasserkörpers in der gemessenen Canalstrecke multiplicirt, giebt die durch den Canal fließende Wassermenge per Secunde.

Dieses Verfahren zur Bestimmung der mittlern Geschwindigkeit mit Hülfe des Schwimmers, den man bei kleinen Canälen auch aus einer theilweise mit Wasser gefüllten kurzen Flasche bestehn lassen kann, ist natürlich nur in solchen Fällen anwendbar, wo der Canal einen regelmäßigen Querschnitt und auch ein regelmäßiges Gefälle hat, so daß die Geschwindigkeit des Wassers in demselben einigermaßen constant ist. Je größer die abgemessene Strecke ist, um so leichter läßt sich ein verläßliches Resultat erwarten. Jede Messung muß öfter wiederholt und schließlich das Mittel aus allen Versuchen genommen werden.

Ist ein regelmäßiger Querschnitt (bei einem Flusse fast niemals) nicht vorhanden, so muß ein künstliches Ueberfallwehr erstellt werden und man hat in diesem Falle die abfließende Wassermenge nach den Regeln und Formeln der §§ 81 und folgenden zu bestimmen, deren Wiederholung hier unnütz sein würde.

Ist dagegen eine Schütze vorhanden, durch welche alles Wasser des fraglichen Flusses abfließt, so ist die Wassermenge leicht nach den dießbezüglichen Regeln der §§ 53 und folgenden zu bestimmen.

Handelt es sich schließlich um ganz kleine Wasserkräfte resp. Wassermengen, so ist ein künstlicher Ueberfall immer leicht zu erstellen; hat man Werkzeuge zur Verfügung, kann die Vermessung auch leicht durch den sogenannten Wasserzoll nach § 51g gemessen werden, welche ganz verläßliche Resultate liefert.

Größte Sorgfalt und Gewissenhaftigkeit ist bei jeder der angewendeten Methoden erforderlich, wenn es sich um ein verläßliches Resultat handelt, und es ist die Bestimmung der Wassermenge eines Wasserlaufes die schwierigste Aufgabe des Hydraulikers.

Mittelst der Anwendung eines gut gearbeiteten und sorgfältig rectificirten Woltmann'schen Flügels (§ 111) oder Darcy'schen Geschwindigkeitsmessers (§ 117) wird die Bestimmung der mittlern Geschwindigkeit sehr erleichtert.

Als lehrreiches Beispiel der Vermessung eines größern Wasserlaufes und der dabei angewendeten Methoden soll im Nachfolgenden die Wasservermessung des Mississippi durch die Mississippi-Commission in kurzem Auszuge beschrieben werden (§ 234).

Die Wasservermessung mittelst künstlich angelegter Ueberfälle gewährt einen ziemlichen Grad der Genauigkeit. Man wählt für die Herstellung eine Anordnung mit scharfer Kante in dünner Wand, da diese am leichtesten und schnellsten zu erstellen ist, und berechnet die Wassermenge nach den in den erwähnten Paragraphen angegebenen Regeln, indem man nach Möglichkeit alle Nebenumstände berücksichtigt.

Die genaueste Wasservermessung bleibt indessen in allen Fällen diejenige mittelst Auffangen der zu messenden Wassermenge in einem Gefäße unter Beobachtung der zum Füllen des Gefäßes oder Reservoirs erforderlichen Zeit. Wird der Inhalt des Gefäßes gemessen, so kann dadurch die Wassermenge mit absoluter Genauigkeit gemessen werden, wenn man dabei einige Vorsichtsmaßregeln beobachtet:

Es muß zur Erzielung eines verläßlichen Resultates die Vermessung während eines constanten und gleichmäßigen Abflusses erfolgen, so daß die aufgefangene Wassermenge wirklich diejenige ist, welche das Gewässer in derselben Zeit regelmäßig abführt. Wenn man daher z. B. (und es gilt diese Bemerkung namentlich auch für die Wasservermessung mittelst künstlicher Ueberfälle) einen Bach abdämmt, so muß man nicht nur warten, bis der Wasserspiegel die Krone des Dammes oder Ueberfalles erreicht hat, sondern man hat zuerst abzuwarten, bis in dem Zu- und Abfluß des über den Damm strömenden Wassers der Beharrungszustand eingetreten ist, was oft eine ganz geraume Zeit andauert.

Mißt man dagegen die gleich am Anfange über einen solchen Damm herunterfließende Wassermenge, so erhält man ein ganz unrichtiges (und zwar zu geringes) Resultat. Umgekehrt würde man bei einer Vermessung mittelst eines Schützenzuges, der vorher eine Zeit lang geschlossen war, eine viel zu große Wassermenge bestimmen, wenn man nicht vorerst den definitiven Beharrungszustand (Gleichgewicht zwischen Zu- und Abfluß) in der in Bewegung befindlichen Wassermenge abwarten würde.

Der Beharrungszustand ist aber dann eingetreten, wenn der Wasserspiegel im Ober- und Unterwasser sich nicht weiter verändert.

§ 233.

Wasservermessung durch Beobachtung des sinkenden Wasserspiegels in einem Gefäße.

Eine interessante, bis jetzt noch wenig bekannte, aber in vielen Fällen vortheilhaft verwendbare Methode der Wasservermessung hat

Prony in seinem Mémoire sur le jaugeage des eaux courantes (Paris 1802) angegeben, die im Nachfolgenden besteht.

Man läßt den zu vermessenden Wasserlauf nach Fig. 203 so durch einen Kasten C oder eine gegrabene Vertiefung fließen, daß das Wasser durch eine große Oeffnung a (die durch einen Schützen oder ein Brett plötzlich abgeschlossen werden kann) in den Kasten oder die Vertiefung C einfließt, während der Austritt durch eine tiefer gelegene Oeffnung b von kleinerem Querschnitte abfließt. Die Vertiefung C muß einen constanten Querschnitt haben. Sobald der Beharrungszustand eingetreten ist, wird die Höhe des Wasserstandes in der Vertiefung C genau gemessen und sodann die Oeffnung a plötzlich geschlossen. Es ist nun einleuchtend, daß im ersten Momente oder Zeittheilchen nach Schluß der Oeffnung a durch b noch die volle, dem normalen Stand des Gewässers entsprechende Wassermenge abfließt, daß aber die abfließende Wassermenge in den darauffolgenden Zeittheilchen in dem Maße kleiner wird, als der Wasserstand in C abnimmt.

Man beobachtet nun zwei oder mehrere Senkungshöhen, die in ebenso vielen Zeittheilchen eintreten, und bezeichnet die erstern mit z, z_I, z_{II}, die letztern mit l, l_I, l_{II}, wobei die Zeiten vom Schlusse der Oeffnung a und die Senkungshöhen von der dem Beharrungszustande entsprechenden constanten Wasserhöhe an abwärts gerechnet werden müssen, so ist

$$z = \frac{1}{t'' - t}\left(\frac{t'' - t}{t'} z' - \frac{t' - t}{t''} z''\right).$$

In dem unendlich kleinen ersten Zeittheilchen nach Schluß der Oeffnung a, wo also $t = 0$, wird die Geschwindigkeit der Senkung

$$z = \frac{1}{t'' - t'}\left(\frac{t'' z'}{t'} - \frac{t' z''}{t''}\right)$$

und wenn man den Querschnitt der Vertiefung C mit A bezeichnet, so wird die durch diese Vertiefung im Beharrungszustande fließende Wassermenge Q

$$Q = \frac{(t'')^2 z' - (t')^2 z''}{t' t'' (t'' - t')} A.$$

Auf diesem Wege läßt sich die Wassermenge eines Baches mit geringer Mühe und auf ziemlich verläßliche Weise bestimmen, wenn man durch zwei Messungen die Verminderung des Wasserstandes genau beobachtet. Am einfachsten fällt die Vermessung aus, wenn man eine gleich große Abnahme des Wasserstandes wählt, also $z'' = 2z'$ setzt und die zu beobachtenden Senkungen durch Merkzeichen absteckt, wonach man nur noch die Zeiten scharf zu beobachten hat, binnen welchen die ab=

gesteckten Wasserstände eintreten. Am genauesten läßt sich diese Zeitdauer bestimmen, wenn das Merkzeichen in einer abwärts gerichteten Spitze besteht, da es sich sehr leicht beobachten läßt, wenn diese Spitze aufhört, in den Wasserspiegel einzutauchen.

Beispiele: 1. Bei einer Wasservermessung nach der obigen Prony'schen Methode hat das Reservoir oder die Vertiefung C eine Breite von 1,5 Meter und eine Länge von 1 Meter. Der Querschnitt ist sonach = 1,5 Quadratmeter. Nach plötzlichem Abschlusse der Oeffnung a findet in 25 Secunden vom Momente des Abschlusses an eine Senkung des Wasserspiegels von 0,20 Meter und in 80 Secunden von demselben Momente an gerechnet eine Senkung von 0,50 Meter statt. Welches ist die vor dem Abschluß der Oeffnung a in 1 Secunde ausgeflossene Wassermenge?

Es ist hier $t_{,}=25$; $t_{,,}=80$; $z_{,}=0{,}20$ und $z_{,,}=0{,}50$ Meter und es ist demnach die gesuchte Wassermenge

$$Q=\frac{(t')^2 z'-(t'')^2 z''}{t' t''(t''-t')} A=\frac{80^2\times 0{,}20-25^2\times 0{,}50}{25\times 80\,(80-25)}\,1{,}5=$$
$$=0{,}13 \text{ Cubikmeter per Secunde.}$$

2. Bei einer zweiten Vermessung hatte das Reservoir C eine Breite von 1,2 Meter und eine Länge von 0,5 Meter, der Querschnitt also $1{,}2\times 0{,}5=0{,}6$ Quadratmeter.

Nach einer Minute betrug die Senkung des Wasserspiegels 0,50 Meter und nach 80 Secunden vom Ende der ersten Senkung an weitere 0,50 Meter.

Es war also hier $t'=60$ und $t''=140$; $z'=0{,}50$ und $z''=1{,}0$.

Die ausgeflossene Wassermenge per Secunde wäre somit:

$$\frac{140\times 140\times 0{,}50-60\times 60\times 1{,}0}{60\times 140\,(140-60)}\,0{,}6=0{,}0055 \text{ Cubikmeter per Sec.}$$

Anmerkung. Auch bei dieser Wasservermeß-Methode, die bei gehöriger aufmerksamer Durchführung durchaus verläßliche Resultate liefert, ist ganz besonders darauf aufmerksam zu machen, daß die Vermessung, resp. der Abschluß der Oeffnung a und die Beobachtung der Senkungszeiten, nicht früher vorgenommen werden darf, als bis der Beharrungszustand im Reservoir C vollständig eingetreten ist, der Wasserspiegel in demselben also keine weitere Veränderung erleidet und die durchfließende Wassermenge constant derjenigen gleich ist, welche in derselben Zeit durch den Wasserlauf abfließt.

Auch hier ist es rathsam, alle Vermessungen unter Veränderung der abgemessenen Wasserstandshöhen mehrmals zu wiederholen und aus den erhaltenen Resultaten das Mittel zu ziehn, wobei indessen von den übrigen stark abweichende Messungsresultate nicht mitbenützt werden dürfen.

§ 234.

Die practische Durchführung der Wasservermessung des Mississippi.

Als lehrreiches Beispiel einer Wasservermessung in größerem Maßstabe sollen im Nachfolgenden die Vermessungsoperationen bei der Bestimmung der Wassermenge des Mississippi und seiner Nebenflüsse etwas ausführlicher dargelegt werden.

A. **Messung des Querprofiles.** Die Vermessungen der Querprofile des Mississippi sind in Folge der heftigen Strömung, der Breite und Tiefe des Flusses, sowie wegen des Treibholzes eine nicht so leichte Sache. Nach verschiedenen Versuchen wurde die nächfolgende Messungsmethode angenommen, welche auch beim höchsten Wasserstande noch eine genaue Arbeit ermöglichte.

In der Regel wurden die Messungen bei mittlerem Wasserstande ausgeführt, da einestheils während des Niederwasserstandes eine drückende Hitze vorhanden, beim Hochwasserstand aber die Schwierigkeiten überhaupt größer waren.

Man begann die Arbeiten zunächst mit dem Abstecken einer Basis von 400 und von 1000 Fuß längs des Ufers. An jedem Ende stellte sich ein Beobachter mit einem Theodolithen auf, von denen der eine das Fernrohr seines Instrumentes in die Richtung des zu messenden Querprofiles brachte, während der andere mit seinem Fernrohr das Boot verfolgte und nachdem die Sondirung stattgefunden, den Winkel ablas, den die von ihm nach dem Boote gezogene Linie mit der abgesteckten Basis machte.

In dem leichten sechsrudrigen Boote befand sich ein Mann mit der Sondirkette, ein Beobachter und drei Ruderer. Die leicht bewegliche, aber starke Sondirkette war durch Tuchstreifen in Abtheilungen von je 5 Fuß Länge eingetheilt und es wurden die kleinern, zwischen diese Abtheilungen fallenden Längenmaße mit dem Maßstabe gemessen. Das Senkblei, das je nach der Stärke des Stromes 10 bis 20 Pfund schwer war, bestand aus einem Bleistücke mit ausgehöhltem Boden, welcher mit Fett bestrichen wurde, um Bestandtheile des Fußbodens daran haften zu lassen.

Nachdem das Boot in einige Entfernung oberhalb der Querprofillinie gebracht worden war, ließ man es abwärts treiben, wobei das Senkblei nahe dem Flußgrunde gehalten wurde, wodurch die Einbiegung der Senkbleikette verhindert werden konnte.

Sowie sich nun das Boot der Querprofillinie näherte, schwenkte der eine Beobachter an der Basis am Ufer eine Flagge als Zeichen, daß eine Sonde genommen werden soll, wobei er gleichzeitig sein Instrument so richtete, daß der Verticalfaden des Fernrohres den Punkt schnitt, wo die Sondirkette das Deck des Bootes kreuzte. Sobald der Beobachter im Boot das Signal bemerkte, schwang er eine Flagge, was für den zweiten Beobachter an der Standlinie am Ufer das Zeichen war, das Boot mit seinem Fernrohr zu begleiten.

Der Mann mit der Sondirkette ließ nun diese rasch durch seine Hand gleiten, bis das Blei am Flußboden aufstieß, worauf er die Kette über der Wasseroberfläche erfaßte und in verticale Stellung brachte, was für die beiden Beobachter am Ufer das Zeichen zur Bestimmung der Winkel war. Der Aufschreiber im Boote notirte nun die Wassertiefe nebst der Beschaffenheit der am Senkblei haftenden Bestandtheile des Flußbodens. Durch die gemessenen Winkel konnte die Lage des Bootes, welche immer nur um wenige Fuß von der Querprofillinie bald nach oberhalb, bald nach unterhalb abwich, genau festgestellt werden.

Dieses Verfahren wurde so oft wiederholt, bis die genügende Anzahl von Beobachtungspunkten auf der ganzen Querprofillinie genommen war.

Schließlich wurden an jedem Ufer sorgfältige Nivellements des Wasserspiegels aufgenommen, da der Wasserspiegel eines Flusses niemals eine horizontale Ebene bildet, das Wasser im Stromstrich an schnellfließenden Stellen vielmehr immer wesentlich höher steht, als an den langsamer fließenden, so daß der Unterschied am Mississippi oft mehr als $1\frac{1}{2}$ Fuß beträgt.

In der Regel wurden die beobachteten Dreiecke sogleich an Ort und Stelle berechnet, und ehe der Operationsplatz verlassen wurde, die Sondirungen aufgerissen, um etwaige Lücken im Profile durch sogleich vorgenommene nachträgliche Sondirungen ausfüllen zu können.

Ueberall, wo eine Reihe täglicher Bestimmungen der Durchflußmengen zu machen war, wurden zwei Querprofile in 200 Fuß Entfernung von einander mit großer Sorgfalt abgemessen, und um zu erfahren, ob nicht merkliche Veränderungen in der Form des Flußbettes entstanden seien, wurden die Sondirungen an diesen Stellen dann und wann wiederholt.

Wo eine solche Veränderung während der Beobachtungen stattgefunden hatte, wurde das Mittel aus allen erhaltenen Profilformen als das wirkliche Flußquerprofil angenommen.

Die Veränderung der Querprofilfläche durch Zu- oder Abnahme des Wasserstandes konnte leicht aus dem aufgerissenen Querprofil ermittelt werden.

Um eine genaue Vermessung des Querprofiles für jeden einzelnen Tag zu erleichtern, wurde zur leichten Bestimmung des täglichen Wasserstandes ein genau eingetheilter Pegel aufgestellt, dessen Stand gegen bestimmte Anhaltspunkte dann und wann untersucht worden ist.

B. **Messung der Geschwindigkeit.** Für die zur täglichen Geschwindigkeitsmessung geeigneten Flußstrecken wurden nur diejenigen Stellen des Flusses gewählt, welche möglichst schmal und gerade waren, ein ziemlich gleichmäßiges Flußbett ähnlich einem Canale darboten, frei von Wirbeln waren und deren Wasserspiegel auch beim höchsten Wasserstande noch zwischen den seitlichen Dämmen eingegrenzt war.

Die Messung der Geschwindigkeit war in Folge der großen Tiefe des Flusses, welche stellenweise auf 80 und 120 und selbst bis auf 140 Fuß steigt, sowie ferner in Folge der bedeutenden Strömung eine äußerst schwierige. Von allen Methoden der Geschwindigkeitsmessung hat sich diejenige mit Doppelschwimmern am besten bewährt. Nur an den Nebenflüssen, wo die beiden Ufer unter Wasser waren, wurden einige Messungen mit dem Schiffs-Log vorgenommen, an allen Stellen, wo dieses nicht der Fall war, wurde der Doppel-Schwimmer und zwar in verschiedener Gestalt angewendet. Zunächst wurden feste Holzwürfel von 1 Fuß Seite in Anwendung gebracht, welche bis zum Untersinken mit Blei belastet und mittelst Schnüren an Schwimmer von Kork aufgehängt wurden. Diese Würfel wurden aber wegen ihres großen Gewichtes als unzweckmäßig befunden und zunächst durch theilweise mit Wasser gefüllte und gleicherweise aufgehängte Flaschen ersetzt. Diese boten indessen dem Wasser zu wenig Fläche dar, um schnell die Geschwindigkeit des dieselben umgebenden Wassers annehmen zu können, und man brachte nachdem hölzerne Tönnchen ohne Deckel oder Boden zur Anwendung, welche mit Blei belastet wurden, bis sie vertical unter dem Wasser schwimmen konnten. An ihr oberes Ende wurde eine Handhabe, aus einem Seile bestehend, angebracht und mittelst einer Schnur ein zweiter Schwimmer von weichem Holz oder Kork oder von Weißblech zusammengelöthet an denselben befestigt, an welchem auf dem Wasserspiegel schwimmenden Gegenstande ein kleines Fähnchen an einem 1 Fuß langen Drahte befestigt war. Die Dimensionen dieser Schwimmer waren im Jahre 1851 folgende: Die Höhe der Tönnchen betrug 15 Zoll engl.; der Durchmesser 10 Zoll; der Strick, welcher die beiden Schwimmer (das Tönnchen und den Korkschwimmer an der Oberfläche) mit einander verband, 0,2 Zoll stark. Der Schwimmer an der Oberfläche von Kork war circa 8 Zoll im Quadrat und 3 Zoll dick, $1^1/_2$ Zoll ins Wasser getaucht. Bei den Vermessungen im Jahre 1858 waren die Dimensionen folgende: Die Höhe der angestrichenen Tönnchen = circa 9 Zoll engl.; Durchmesser derselben 6 Zoll; Strick zwischen den beiden Schwimmern = 0,1 Zoll dick; Schwimmer an der Oberfläche von weichem Holz, 5,5 Zoll im Quadrat, 0,5 Zoll hoch; Schwimmer aus Weißblech in ellyptischer Form, die Achsen 5,5 und 1,5 Zoll. Für Geschwindigkeiten über 5 Fuß hatte man 1851 dieselbe Einrichtung; im Jahre 1858 nahm man aber größere Tonnen von 12 Zoll Höhe, 8 Zoll Durchmesser und eine Verbindungsschnur von 0,2 Zoll Dicke. Durch Veränderung dieser Schnur konnte man den Schwimmer in beliebiger Tiefe unter der Oberfläche schwimmen lassen. Die geringe Größe des obern auf der Wasserfläche liegenden Schwimmers verhinderte einen wesentlichen Einfluß desselben auf den eigentlichen untern Hauptschwimmer.

Dieser geringe Einfluß wurde auch direct durch Versuche bestätigt, indem man den Doppelschwimmer bei starkem Winde in stehendes Wasser brachte, und auch dadurch, daß man die Richtung des Doppelschwimmers beobachtete, wenn ein starker Wind quer auf die Stromrichtung wehte. In beiden Fällen konnte ein Einfluß des Windes nicht bemerkt werden.

Natürlich mußte man, um die Stromgeschwindigkeit an den verschiedenen Theilen des Querprofiles zu messen, die Schwimmer an allen diesen Theilen passiren lassen, wobei das nachfolgende Verfahren angewendet wurde:

Nachdem die bereits erwähnten Querprofile in einer Distanz von 200 Fuß abgemessen worden waren, wurde senkrecht darauf die Basislinie am Ufer ausgesteckt, deren Länge gleich der Entfernung der Querprofile war.

Bei dieser nicht sehr großen Länge der zu beobachtenden Strecken konnten täglich mehrere Beobachtungen auf dem ganzen Querprofile gemacht werden, ohne daß während dieser kurzen Zeit eine bemerkenswerthe Aenderung der Geschwindigkeit eintreten mußte. An jedem Ende der Basislinie stand ein Beobachter mit dem Theodolith, deren Fernrohre so gerichtet waren, daß die verticalen Fäden der Kreuze die Richtung der Querprofile genau angaben.

Oberhalb und unterhalb der Querprofillinien wurde nun ein Boot im Flusse befestigt; vom obern Boote ziemlich weit oberhalb der ersten

Querprofillinie ein Schwimmer losgelassen, welcher sogleich in die ihm zugemessene Tiefe sank und dem Querprofile zutreiben mußte.

Der Beobachter am obern Ende der Basislinie richtete sein Kreuz genau in die Querprofillinie, derjenige am untern Ende aber auf das Fähnchen des Schwimmers. Sowie der Schwimmer im obern Querprofile anlangte, rief der obere Beobachter dem untern ein kräftiges „Hopp" zu, bei welchem Zeichen derselbe den Winkel des Schwimmers mit der Basislinie im Momente der Kreuzung notirte, das Fernrohr aber sogleich darauf in die untere Querprofillinie richtete und die Ankunft des Schwimmers in derselben erwartete.

Im Momente, wo der Schwimmer die obere Querprofillinie passirte, notirte der obere Beobachter die Zeit einer aufgehängten Secundenuhr und richtete hierauf sein Fernrohr auf das Fähnchen des Schwimmers. Sowie dieser letztere nun die untere Querprofillinie passirte, rief der untere Beobachter dem obern ein „Hopp" zu, bei welchem Zeichen nun der obere Beobachter den Winkel des Schwimmers mit der Standlinie notirte und die Zeit beobachtete, welche der Schwimmer gebrauchte, um von dem obern zum untern Querprofile zu gelangen. Oefter wurde die Zeit auch von beiden Beobachtern notirt. Mittelst der beobachteten Winkel konnte die Stelle des Schwimmers im Querprofile aufs genaueste bestimmt und die Geschwindigkeit an dieser Stelle festgesetzt werden.

Dieses sehr genaue Verfahren, die mittlere Geschwindigkeit des ganzen Flußquerschnittes zu bestimmen, kann indessen nicht immer zur Durchführung gelangen, weil man nicht jeden Tag die Geschwindigkeiten an allen Punkten eines so bedeutenden Stromes beobachten kann. Es wurden daher im Jahre 1858 eine Anzahl Schwimmer über die ganze Breite des Flusses vertheilt und in einer und derselben Tiefe den Fluß hinabtreiben gelassen. Wäre nun der Querschnitt des Flusses rechteckig gewesen und hätte man das Gesetz der Geschwindigkeitsänderung unter dem Wasserspiegel bereits gekannt, so hätte man die mittlere Geschwindigkeit des ganzen Flußquerschnittes leicht finden können, ohne eine so bedeutende Anzahl von Beobachtungen zu machen, wie dieses thatsächlich nothwendig war, um dieses Gesetz erst auffinden zu können.

Zu diesem letztern Zwecke wurden verschiedene Methoden in Anwendung gebracht. Doch wurden für einen Fluß von dieser Größe nur die Doppelschwimmer als brauchbar gefunden. An jeder Station wurden mehrere Partien Schwimmer beobachtet, wobei dieselben in den verschiedensten Tiefen unter der Oberfläche des Wassers bis nahe auf den Flußgrund sich bewegten. Wenn sich an irgend einer Stelle Unregelmäßigkeiten oder Widersprüche zeigten, wurden die Versuche wiederholt, die Tiefe gewechselt, an einer Stelle und Tiefe oft längere Zeit beobachtet, von der Oberfläche plötzlich bis nahe an den Grund gegangen und die erhaltenen Resultate folgendermaßen aufgetragen.

Nachdem die beiden Querprofillinien, die Basislinie und die Uferränder auf dem Papiere aufgetragen waren, wurden mit Hülfe einer Tafel der natürlichen Tangenten die Entfernungen der beiden Punkte berechnet und aufgerissen, wo die Schwimmer die Querprofillinien schnitten. Die gerade Verbindungslinie beider Punkte, die auf den Querprofillinien nahe senkrecht stehen mußten, stellte den vom Schwimmer zurückgelegten Weg dar. Auf dieser Linie wurde die beobachtete Zeit und die Tiefe des Schwimmers unter dem Wasserspiegel beigesetzt und dadurch eine vergleichende Uebersicht über die Geschwindigkeit an allen Stellen des Querprofiles geschaffen.

Ohne vorläufig auf das mathematische Gesetz in dem Verhältniß dieser Geschwindigkeiten Rücksicht zu nehmen, bemerkte man doch sofort, daß die Geschwindigkeiten allmälig und ganz gleichförmig mit der Entfernung vom Ufer und gegen den Stromstrich zunehmen, und wenn man das ganze Querprofil durch Verticallinien in Unterabtheilungen von 200 Fuß Breite eintheilte, so konnte man sogleich bemerken, daß die innerhalb einer jeden dieser Abtheilungen (ausgenommen die beiden an den Ufern liegenden) die Geschwindigkeit sich ganz unbedeutend ändert.

Man theilte daher das ganze Flußprofil von der Basislinie aus durch Parallele in gleiche Theile von 200 Fuß Breite und schrieb in diese Unterabtheilungen das Mittel der von den Schwimmern gebrauchten Anzahl Secunden als Geschwindigkeit ein.

Für die dem Ufer zunächstliegende Abtheilung aber nahm man nach eigens hierzu angestellten Versuchen eine mittlere Geschwindigkeit = 0,8 derjenigen am äußern (vom Ufer abgekehrten) Raude dieser Abtheilung an.

Um Fehler zu vermeiden und die Unregelmäßigkeiten der Beobachtung verbessern zu können, wurden die täglichen Resultate in Gestalt einer Curve aufgetragen, deren Ordinaten die mittlern Geschwindigkeiten und deren Abscissen die Abstände der Mittelpunkte der einzelnen Abtheilungen (von 200 Fuß Breite) waren. Wo die Beobachtungen eines Tages für eine Unterabtheilung fehlten, konnte man diese leicht nach der Curve ergänzen. Fehlten dagegen Beobachtungen in verschiedenen Abtheilungen, so wendete man folgendes Interpolationsverfahren an. Ohne das mathematische Gesetz der täglichen Geschwindigkeitscurven zu berücksichtigen, konnte aus der einfachen Betrachtung dieser Curven die Veränderung erkannt werden, welche einer Veränderung der mittlern

Geschwindigkeit entsprach, und es zeigte sich, daß die Gestalt der Curve bei einer Veränderung der mittlern Geschwindigkeit von einem Fuß nahe dieselbe blieb.

Die täglichen Geschwindigkeitscurven wurden sodann gruppirt und die mittlern Curven für jeden Fuß dieser mittlern Geschwindigkeiten aufgetragen, wonach man die fehlenden Geschwindigkeiten der einzelnen Abtheilungen durch Vergleichung der Gestalt der mittlern Geschwindigkeitscurve des gleichen Wasserstandes interpolirte.

Mit Hülfe dieser mittlern Geschwindigkeitscurven konnten auch die aus der ungleichen Vertheilung oder durch ungenaue Beobachtung entstandenen Unregelmäßigkeiten aus den erhaltenen Resultaten eliminirt werden.

Um nun die Wassermenge zu berechnen, hatte man folgendes zu beachten.

Wäre der Flächeninhalt der einzelnen verticalen Abtheilungen einander gleich, so hätte man offenbar nur das ganze Querprofil mit dem arithmetischen Mittel aller Abtheilungsgeschwindigkeiten zu multipliciren. Allein dieses ist bei Flüssen nicht der Fall und es ist auch das Verhältniß der Flächeninhalte der einzelnen Abtheilungen bei verschiedenen Wasserständen nicht constant. Die einzig richtige Methode zur Bestimmung der Durchflußmenge unter den obwaltenden Umständen war daher die folgende:

Die Fläche einer jeden Abtheilung mußte mit der mittlern Geschwindigkeit dieser Abtheilung multiplicirt werden und die Summe der Producte sämmtlicher Abtheilungen ergab die Durchflußmenge. Die Durchflußmenge mit dem ganzen Flußprofil dividirt ergab die wirkliche (approximative) mittlere Geschwindigkeit des Flusses. Diese allerdings sehr mühsame Methode wurde bei der Berechnung der Durchflußmenge des Mississippi in Anwendung gebracht. Als die wirkliche Niederwasserquerprofil-Fläche wurde das arithmetische Mittel aller Querprofil-Flächen bei Niederwasser genommen und ähnlich bei allen Flächen.

Wo die Schwimmer in allen Tiefen beobachtet worden sind, wie bei Carrollton im Jahre 1851, konnte nach der oben angegebenen Weise die Durchflußmenge des Mississippi so genau festgesetzt werden, als dieß überhaupt möglich ist.

Waren dagegen, wie in den Jahren 1857 und 1858, die Schwimmer alle in einer und derselben Tiefe beobachtet worden, so konnte die erhaltene Durchflußmenge nur eine annähernde sein und mußte noch mit dem Verhältniß zwischen der dieser Tiefe entsprechenden Geschwindigkeit und dem Mittel aus der ganzen Verticalcurve multiplicirt werden.

Beim Aufsuchen des Gesetzes über die Abnahme der Geschwindigkeit vom Wasserspiegel gegen den Flußgrund sind, wie schon erwähnt, alle möglichen Vorsichtsmaßregeln zur Vermeidung von Irrthümern getroffen worden, indem man alle erdenkliche Variation in die Versuche brachte, um den einen durch den andern controliren zu können. So wurden die Schwimmer so tief ins Wasser gelassen oder diese Tiefe so abgewechselt, daß man sowohl von oben nach unten, von unten nach oben, von oben und unten gegen die Mitte zu und umgekehrt von der Mitte aus nach oben und unten zu experimentirte.

Da die von einem festen Punkte aus abgelassenen Schwimmer immer genau dieselbe Richtung einschlagen, so wurden sämmtliche Schwimmer nur von verankerten Booten aus losgelassen. Aus der bereits bekannten Querprofilfläche und der Lage des vom Schwimmer zurückgelegten Weges konnte die Wassertiefe an der Stelle des Schwimmers immer leicht und sicher festgesetzt werden.

§ 235.

Relationen zwischen Gefälle, Wassermenge, Durchmesser und Länge einer Rohrleitung.

Anmerkung. In § 162 sind bereits die Regeln nebst Beispielen zur Berechnung der Rohrleitungen nach den Prony'schen Formeln gegeben, welche bis auf die neueste Zeit in allgemeinem Gebrauche waren. Im Nachfolgenden sollen dagegen die Ergebnisse der neuesten Versuche Darcy's (§ 171) benützt und zur Anwendung gebracht werden, wobei einige Vergleichungen zwischen den Ergebnissen der neuen Formeln nach Darcy und Levi gegenüber den ältern von Prony folgen werden.

Nach Darcy's Versuchen ist der Coefficient b_1 zur Bestimmung der Reibungswiderstände für Rohrleitungen aus jedem Materiale constant, sobald sie einige Zeit im Gebrauche gewesen und daher mit einem Niederschlage aus dem durchfließenden Wasser überzogen sind.

Der Werth dieses Coefficienten, der also für jedes Material gilt, ist aus der Tabelle des § 168 zu entnehmen, aber immer doppelt so groß, als dort angegeben, in Rechnung zu bringen, da jene Werthe sich auf neue gußeiserne Rohrleitungen beziehn, bei welchen die Widerstände weniger bedeutend sind. Die Werthe von $\frac{b_1}{R}$ und $\sqrt{\frac{R}{b_1}}$ sind dagegen immer besonders zu berechnen.

1. Welches Gefälle per 1 lfd. Meter muß eine Rohrleitung von 0,50 Meter Halbmesser R oder 1,0 Meter Durchmesser D erhalten, wenn die Geschwindigkeit des durch die Röhre fließenden Wassers 1 Meter betragen soll?

Nach § 171 ist nach Darcy

$$I = \frac{b_1}{R} U^2.$$

Der Werth von $\frac{b_1}{R}$ ist nach § 168 $= 2 \times 0{,}001039 = 0{,}002078$ und somit

$$I = 0{,}002078 \times 1^2 = 0{,}002078 \text{ Meter per 1 lfd. Meter.}$$

Nach Prony's Formel dagegen würde nach § 162:

$$z = \frac{4L}{D}(au + bu^2),$$

wobei der Werth von $(au + bu^2)$ nach Tabelle Seite 292 für 1 Meter Geschwindigkeit $= 0{,}0003656$ und daher das Gefälle per 1 Meter Länge

$$z = \frac{4}{1}(0{,}0003656) = 0{,}0014624 \text{ Meter.}$$

Es giebt also in diesem Falle die Formel nach Darcy ein bedeutend größeres Gefälle an.

Nach Levi dagegen ist laut § 172 die mittlere Geschwindigkeit

$$v = k\sqrt{I} \quad \text{und somit} \quad \sqrt{I} = \frac{v}{k}, \quad \text{also} \quad I = \frac{v^2}{k^2}.$$

Für den Halbmesser $= 0{,}50$ wird laut Tabelle Seite 312 der Werth des Coefficienten $k = 25{,}6$ und somit das erforderliche Gefälle

$$I = \frac{1^2}{25{,}6^2} = \frac{1}{655} = 0{,}0015 \text{ Meter per lfd. Meter,}$$

welches Ergebniß sehr nahe mit dem obigen nach Darcy übereinstimmt.

2. Welche Geschwindigkeit nimmt das Wasser in einer Rohrleitung an, deren Durchmesser $D = 0{,}80$ Meter und deren Gefälle per 1 lfd. Meter 0,005 Meter beträgt?

Es ist laut § 171 nach Darcy's neuen Formeln

$$U = \sqrt{I\frac{R}{b_1}}.$$

Der Werth von b_1 ist nach der Tabelle § 168 $= 0{,}000523$.

Dieser Coefficient, doppelt genommen, ist also $b_1 = 0{,}001046$ und es wird $\frac{R}{b_1} = \frac{0{,}40}{0{,}001046} = 384$. Es wird somit

$$U = \sqrt{0{,}005 \times 384} = 1{,}4 \text{ Meter per Secunde.}$$

Nach Levi ist laut Tabelle Seite 312

$k = 21{,}97$ und $v = 21{,}97 \sqrt{I} = 21{,}97 \sqrt{0{,}005} = 1{,}55$ Meter,

was mit dem Ergebnisse nach Darcy nahe übereinstimmt.

Nach Prony dagegen entspricht diese Geschwindigkeit von 1,4 Meter dem Werthe des Coefficienten $a u + b u^2 = 0{,}0007069$ und da

$$z = \frac{4L}{D} \times (a u + b u^2) = \frac{4L}{D} \times 0{,}0007069$$

ist, so würde das erforderliche Gefälle z per 1 lfd. Meter Länge der Rohrleitung $= \frac{4}{0{,}80}$ (0,0007069) $= 0{,}0045345$ Meter also wiederum kleiner als nach Darcy und Levi.

3. Welchen Durchmesser D erhält eine Rohrleitung, welche bei einem vorhandenen Gefälle von 0,004 Meter per lfd. Meter eine Wassermenge per Secunde von 0,80 Cubikmeter liefern soll?

Nimmt man an, daß die Geschwindigkeit des Wassers bei dem vorhandenen Gefälle circa 1 Meter per Secunde und somit der Durchmesser ungefähr 1,1 Meter werden dürfte, so entspricht dieser Annahme nach Tabelle § 168 der Coefficient $b_1 = 2 \times 0{,}000519 = 0{,}001038$ und es wird dann nach § 171 der Durchmesser der Rohrleitung

$$D = \sqrt[5]{\frac{3{,}241\, b_1\, Q^2}{I}} = \sqrt[5]{\frac{3{,}241 \times 0{,}001038 \times 0{,}80 \times 0{,}80}{0{,}004}} =$$

$$= \sqrt[5]{0{,}54} = 0{,}89 \text{ Meter.}$$

Da nun nach der Tabelle diesem Durchmesser der Coefficient $b_1 = 0{,}000521$ entspricht, der Unterschied zwischen diesem und dem der obigen Rechnung zu Grunde gelegten Coefficienten nicht wesentlich ist, so bleibt die durchgeführte Rechnung richtig, während sie im andern Falle mit dem Coefficienten wiederholt werden müßte, welcher dem durch die Formel erhaltenen Durchmesser im Gegensatze zu dem probeweise angenommenen entspricht.

4. Welches Gefälle per 1 lfd. Meter muß eine Rohrleitung erhalten, welche bei einem Durchmesser von 0,90 Meter eine Wassermenge von 1,4 Cubikmeter Wasser durchfließen lassen soll?

Nach Tabelle § 168 entspricht dem Durchmesser von 0,90 Meter der Coefficient b_1

$$b_1 = 2 \times 0{,}000521 = 0{,}001042$$

und es wird somit nach Formel 4) § 171

$$I = \frac{3{,}241\, b_1}{D^5}\, Q^2 = \frac{3{,}241 \times 0{,}001042}{0{,}90^5} \times 1{,}4^2 = 0{,}0109 \text{ Meter.}$$

5. Eine Rohrleitung von 580 Meter Länge und 0,50 Meter lichter Weite hat ein Gefälle von 1,3 Meter. Welches Wasserquantum fließt durch dieselbe ab?

Es ist hier zunächst das Gefälle I per lfd. Meter $= \frac{1,3}{580} =$ $= 0,0023$ Meter.

Der Coefficient b_1 ist $2 \times = 0,000532 = 0,001064$ und es ist somit

$$\frac{R}{b_1} = \frac{0,25}{0,001064} = 235.$$

Es wird daher nach Formel 2) § 171 die mittlere Geschwindigkeit U des Wassers in der Rohrleitung

$$U = \sqrt{I \frac{R}{b_1}} = \sqrt{0,0023 \times 235} = 0,734 \text{ Meter per Secunde.}$$

Das in einer Secunde abfließende Wasserquantum Q wird daher

$$Q = 0,7854\, D^2 U = 0,7854 \times 0,50^2 \times 0,734 =$$
$$= 0,1432 \text{ Cubikmeter per Secunde.}$$

6. Durch eine Rohrleitung soll eine Turbine gespeist werden. Die ganze Länge der Leitung beträgt 1000 Meter und das vorhandene Gefälle 7,5 Meter. Davon soll möglichst wenig verloren gehn. Welchen Durchmesser und welches Gefälle muß die Leitung erhalten, wenn dieselbe 2 Cubikmeter Wasser per Secunde der Turbine zuführen soll?

Die gewöhnliche mittlere Geschwindigkeit des Wassers in Rohrleitungen für hydraulische Motoren ist = 1 Meter per Secunde. Da nun in unserm Falle der Gefällverlust möglichst klein ausfallen soll, kann man diese Geschwindigkeit nicht so groß und zwar nur = 0,6 Meter per Secunde annehmen.

Für diese Geschwindigkeit wird aber der Durchmesser der Rohrleitung:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi U}} = \sqrt{\frac{4 \times 2}{3,14 \times 0,6}} = 2,11 \text{ Meter.}$$

Dieß ist eine nicht realisirbare Forderung und man nehme daher zwei Leitungen vom halben Querschnitte oder zwei Leitungen für je eine Wassermenge von 1 Cubikmeter an. Es wird dann der erforderliche Durchmesser

$$D = \sqrt{\frac{4}{3,14 \times 0,6}} = \sqrt{2,12} = 1,42 \text{ Meter.}$$

Da für diesen großen Durchmesser der Coefficient b_1 nicht in der Tabelle § 168 enthalten ist, muß derselbe nach Formel 5) § 171 berechnet werden. Dieser Coefficient wird sonach:

$$b_1 = 2 \times 0{,}000507 + \frac{0{,}00000647}{0{,}71} = 2 \times 0{,}000516 = 0{,}001032.$$

Das erforderliche Gefälle per 1 lfd. Meter wird alsdann:

$$I = \frac{b_1}{R} U^2 = \frac{0{,}001032}{0{,}71} \times 0{,}6^2 = 0{,}0005 \text{ Meter}.$$

Der Gefällsverlust auf die ganze Länge der Rohrleitung von 1000 Meter ist daher = 0,5 Meter und es bleibt als nutzbares, auf die Turbine wirkendes Gefälle 7,5 — 0,5 = 7,00 Meter.

Eine gute Turbinen-Anlage entwickelt daher hier eine Nutzleistung von $\frac{0{,}75 \times 2000 \times 7}{75} = 140$ Pferdekräften.

§ 236.

Gefälle, Wassermenge, Geschwindigkeit und Gefällverlust bei Rohrleitungen verschiedener Dimensionen.

Zur ungefähren Schätzung nach den Prony'schen Formeln berechnet. Für die genauere Bestimmung muß die Geschwindigkeit für jeden einzelnen Fall nach Levi § 172 berechnet werden.

Wassermenge in Litern per Secunde	Diameter = 0,05 Meter.		Diameter = 0,06 Meter.		Diameter = 0,08 Meter.	
	Mittl. Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Mittl. Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Mittl. Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter
	Meter	Meter	Meter	Meter	Meter	Meter
0,01	0,0051	0,000008	0,0035	0,000004	—	—
0,02	0,0102	0,000017	0,0071	0,000009	—	—
0,03	0,0153	0,000028	0,0106	0,000015	—	—
0,04	0,0204	0,000040	0,0141	0,000021	—	—
0,05	0,0255	0,000053	0,0177	0,000028	—	—
0,06	0,0300	0,000068	0,0212	0,000035	—	—
0,07	0,0356	0,000085	0,0248	0,000043	—	—
0,08	0,0407	0,000103	0,0283	0,000051	—	—
0,09	0,0458	0,000122	0,0318	0,000060	—	—
0,10	0,0509	0,000143	0,0354	0,000070	0,0199	0,000024
0,20	0,1019	0,000430	0,0707	0,000198	0,0398	0,000062
0,30	0,1528	0,000862	0,1061	0,000384	0,0597	0,000114

Wassermenge in Litern per Secunde	Diameter = 0,05 Meter.		Diameter = 0,06 Meter.		Diameter = 0,08 Meter.	
	Mittl. Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Mittl. Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Mittl. Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter
	Meter	Meter	Meter	Meter	Meter	Meter
0,40	0,2037	0,001439	0,1415	0,000628	0,0796	0,000179
0,50	0,2546	0,002160	0,1768	0,000930	0,0995	0,000258
0,60	0,3056	0,003025	0,2122	0,001290	0,1194	0,000352
0,70	0,3565	0,004035	0,2475	0,001709	0,1393	0,000458
0,80	0,4074	0,005190	0,2829	0,002186	0,1592	0,000579
0,90	0,4584	0,006489	0,3183	0,002720	0,1790	0,000713
1,00	0,5093	0,007933	0,3537	0,003313	0,1989	0,000862
1,10	0,5602	0,009521	0,3890	0,003964	0,2188	0,001024
1,20	0,6112	0,011254	0,4244	0,004672	0,2387	0,001199
1,30	0,6621	0,013134	0,4598	0,005439	0,2586	0,001389
1,40	0,7130	0,015153	0,4951	0,006264	0,2785	0,001592
1,50	0,7639	0,017319	0,5305	0,007147	0,2984	0,001809
1,60	0,8149	0,019630	0,5659	0,008088	0,3183	0,002040
1,70	0,8658	0,022085	0,6012	0,009088	0,3382	0,002285
1,80	0,9167	0,024685	0,6367	0,010145	0,3581	0,002543
1,90	0,9677	0,027430	0,6720	0,011260	0,3780	0,002815
2,00	1,0186	0,030318	0,7073	0,012434	0,3979	0,003101
2,10	1,0695	0,033352	0,7427	0,013666	0,4178	0,003401
2,20	1,1204	0,036530	0,7781	0,014955	0,4377	0,003715
2,30	1,1714	0,039853	0,8135	0,016303	0,4576	0,004042
2,40	1,2223	0,043320	0,8488	0,017709	0,4775	0,004383
2,50	1,2732	0,046931	0,8842	0,019173	0,4974	0,004738
2,60	1,3242	0,050687	0,9196	0,020695	0,5173	0,005107
2,70	1,3751	0,054588	0,9549	0,022275	0,5371	0,005490
2,80	1,4260	0,058633	0,9903	0,023913	0,5570	0,005886
2,90	1,4770	0,062823	1,0257	0,025609	0,5769	0,006296
3,00	1,5279	0,067158	1,0610	0,027364	0,5968	0,006720
3,10	1,5788	0,071637	1,0964	0,029176	0,6167	0,007157
3,20	1,6297	0,076260	1,1318	0,031047	0,6366	0,007609
3,30	1,6807	0,081028	1,1671	0,032975	0,6565	0,008074
3,40	1,7316	0,085940	1,2025	0,034962	0,6764	0,008553

Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter
Durchmesser der Rohrleitung = 0,08 Meter.					
	Meter	Meter		Meter	Meter
3,5	0,6963	0,009046	6,8	1,3528	0,033040
3,6	0,7162	0,009552	7,0	1,3926	0,034976
3,7	0,7361	0,010073	7,2	1,4324	0,036968
3,8	0,7560	0,010607	7,4	1,4722	0,039015
3,9	0,7759	0,011155	7,6	1,5120	0,041117
4,0	0,7958	0,011716	7,8	1,5518	0,043274
4,1	0,8157	0,012292	8,0	1,5916	0,045486
4,2	0,8356	0,012881	8,2	1,6313	0,047753
4,3	0,8555	0,013484	8,4	1,6711	0,050076
4,4	0,8754	0,014101	8,6	1,7109	0,052454
4,5	0,8952	0,014732	8,8	1,7507	0,054887
4,6	0,9151	0,015376	9,0	1,7905	0,057375
4,7	0,9350	0,016034	9,2	1,8303	0,059918
4,8	0,9549	0,016706	9,4	1,8701	0,062516
4,9	0,9748	0,017392	9,6	1,9099	0,065169
5,0	0,9947	0,018091	9,8	1,9497	0,067887
5,2	1,0345	0,019532	10,0	1,9894	0,070642
5,4	1,0743	0,021027	11,0	2,1884	0,085287
5,6	1,1141	0,022578	12,0	2,3873	0,101310
5,8	1,1539	0,024184	13,0	2,5863	0,118712
6,0	1,1937	0,025845	14,0	2,7852	0,137492
6,2	1,2334	0,027561	15,0	2,9842	0,157650
6,4	1,2732	0,029332	16,0	2,9842	0,157650
6,6	1,3130	0,031158	17,0	2,9842	0,157650
Durchmesser der Rohrleitung = 0,10 Meter.					
0,1	0,0127	0,000011	1,4	0,1783	0,000566
0,2	0,0255	0,000027	1,5	0,1910	0,000641
0,3	0,0382	0,000047	1,6	0,2037	0,000719
0,4	0,0509	0,000071	1,7	0,2164	0,000803
0,5	0,0637	0,000101	1,8	0,2292	0,000891
0,6	0,0764	0,000134	1,9	0,2419	0,000983
0,7	0,0891	0,000172	2,0	0,2546	0,001080
0,8	0,1019	0,000215	2,1	0,2674	0,001181
0,9	0,1146	0,000262	2,2	0,2801	0,001287
1,0	0,1273	0,000314	2,3	0,2928	0,001398
1,1	0,1401	0,000370	2,4	0,3056	0,001513
1,2	0,1528	0,000431	2,5	0,3183	0,001632
1,3	0,1655	0,000496	2,6	0,3310	0,001756

Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter
	Meter	Meter		Meter	Meter
2,7	0,3438	0,001885	6,6	0,8403	0,010420
2,8	0,3565	0,002018	6,8	0,8658	0,011043
2,9	0,3692	0,002155	7,0	0,8913	0,011684
3,0	0,3820	0,002297	7,2	0,9167	0,012343
3,1	0,3947	0,002444	7,4	0,9422	0,013020
3,2	0,4074	0,002595	7,6	0,9677	0,013715
3,3	0,4202	0,002750	7,8	0,9931	0,014428
3,4	0,4329	0,002911	8,0	1,0186	0,015160
3,5	0,4456	0,003075	8,2	1,0440	0,015909
3,6	0,4584	0,003244	8,4	1,0695	0,016676
3,7	0,4711	0,003418	8,6	1,0950	0,017462
3,8	0,4838	0,003596	8,8	1,1204	0,018265
3,9	0,4966	0,003779	9,0	1,1459	0,019087
4,0	0,5093	0,003966	9,2	1,1714	0,019926
4,1	0,5220	0,004158	9,4	1,1968	0,020784
4,2	0,5348	0,004354	9,6	1,2223	0,021660
4,3	0,5475	0,004555	9,8	1,2478	0,022554
4,4	0,5602	0,004760	10,0	1,2732	0,023466
4,5	0,5730	0,004970	11,0	1,4006	0,028296
4,6	0,5857	0,005184	12,0	1,5279	0,033579
4,7	0,5984	0,005403	13,0	1,6552	0,039313
4,8	0,6112	0,005627	14,0	1,7825	0,045499
4,9	0,6239	0,005855	15,0	1,9098	0,052136
5,0	0,6366	0,006087	16,0	2,0372	0,059225
5,2	0,6621	0,006565	17,0	2,1645	0,066766
5,4	0,6875	0,007062	18,0	2,2918	0,074758
5,6	0,7130	0,007576	19,0	2,4192	0,083202
5,8	0,7385	0,008109	20,0	2,5465	0,092098
6,0	0,7639	0,008660	21,0	2,6738	0,101445
6,2	0,7894	0,009228	22,0	2,8011	0,111244
6,4	0,8149	0,009815	23,0	2,9284	0,121495
Durchmesser der Rohrleitung = 0,15 Meter.					
1,8	0,1019	0,000143	2,6	0,1471	0,000269
1,9	0,1075	0,000157	2,7	0,1528	0,000287
2,0	0,1132	0,000171	2,8	0,1584	0,000306
2,1	0,1188	0,000186	2,9	0,1641	0,000326
2,2	0,1245	0,000201	3,0	0,1698	0,000346
2,3	0,1302	0,000217	3,1	0,1754	0,000367
2,4	0,1358	0,000234	3,2	0,1811	0,000388
2,5	0,1414	0,000251	3,3	0,1867	0,000410

Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter.
	Meter	Meter		Meter	Meter
3,4	0,1924	0,000433	11	0,6225	0,003886
3,5	0,1981	0,000456	12	0,6791	0,004596
3,6	0,2037	0,000480	13	0,7356	0,005366
3,7	0,2094	0,000504	14	0,7922	0,006195
3,8	0,2150	0,000529	15	0,8488	0,007084
3,9	0,2207	0,000554	16	0,9054	0,008032
4,0	0,2264	0,000580	17	0.9620	0,009039
4,1	0,2320	0,000607	18	1,0186	0,01016
4,2	0,2377	0,000634	19	1,0752	0,012233
4,3	0,2433	0,000662	20	1,1318	0,012419
4,4	0,2490	0,000691	21	1,1884	0,013664
4,5	0,2546	0,000720	22	1,2449	0,014969
4,6	0,2603	0,000750	23	1,3015	0,016333
4,7	0,2660	0,000780	24	1,3581	0,017757
4,8	0,2716	0,000811	25	1,4147	0,019241
4,9	0,2773	0,000842	26	1,4713	0,020783
5,0	0,2829	0,000874	27	1,5279	0,022386
5,2	0,2943	0,000940	28	1,5845	0,024047
5,4	0,3056	0,001008	29	1,6411	0,025769
5,6	0,3169	0,001079	30	1,6977	0,027549
5,8	0,3282	0,001152	31	1,7542	0,029390
6,0	0,3395	0,001228	32	1,8108	0,031289
6,2	0,3508	0,001305	33	1,8674	0,033249
6,4	0,3622	0,001385	34	1,9240	0,035267
6,6	0,3735	0,001468	35	1,9806	0,037345
6,8	0,3848	0,001553	36	2,0372	0,039483
7,0	0,3961	0,001640	37	2,0938	0,041680
7,2	0,4074	0,001730	38	2,1504	0,043937
7,4	0,4188	0,001822	39	2,2070	0,046253
7,6	0,4301	0,001916	40	2,2635	0,048628
7,8	0,4414	0,002013	41	2,3201	0,051063
8,0	0,4527	0,002113	42	2,3767	0,053558
8,2	0,4640	0,002214	43	2,4333	0,056112
8,4	0,4753	0,002318	44	2,4899	0,058725
8,6	0,4867	0,002424	45	2,5465	0,061398
8,8	0,4980	0,002533	46	2,6031	0,064130
9,0	0,5093	0,002644	47	2,6597	0,066922
9,2	0,5206	0,002758	48	2,7162	0,069774
9,4	0,5319	0,002874	49	2,7728	0,072684
9,6	0,5432	0,002992	50	2,8294	0,075755
9,8	0,5546	0,003112	51	2,8860	0,078684
10,0	0,5659	0,003235			

Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter
Durchmesser der Rohrleitung = 0,20 Meter.					
	Meter	Meter		Meter	Meter
3,2	0,1019	0,000108	9,4	0,2992	0,000727
3,3	0,1050	0,000113	9,6	0,3056	0,000756
3,4	0,1082	0,000119	9,8	0,3119	0,000786
3,5	0,1114	0,000125	10	0,3183	0,000816
3,6	0,1146	0,000131	11	0,3501	0,000975
3,7	0,1178	0,000137	12	0,3820	0,001149
3,8	0,1210	0,000144	13	0,4138	0,001336
3,9	0,1241	0,000150	14	0,4456	0,001538
4,0	0,1273	0,000157	15	0,4775	0,001753
4,1	0,1305	0,000164	16	0,5093	0,001983
4,2	0,1337	0,000171	17	0,5411	0,002227
4,3	0,1369	0,000178	18	0,5730	0,002485
4,4	0,1401	0,000185	19	0,6048	0,002757
4,5	0,1432	0,000193	20	0,6366	0,003044
4,6	0,1464	0,000200	21	0,6684	0,003344
4,7	0,1496	0,000208	22	0,7003	0,003658
4,8	0,1528	0,000216	23	0,7321	0,003987
4,9	0,1560	0,000224	24	0,7639	0,004330
5,0	0,1592	0,000232	25	0,7958	0,004687
5,2	0,1655	0,000248	26	0,8276	0,005058
5,4	0,1719	0,000265	27	0,8594	0,005443
5,6	0,1783	0,000283	28	0,8913	0,005852
5,8	0,1846	0,000301	29	0,9231	0,006255
6,0	0,1910	0,000320	30	0,9549	0,006682
6,2	0,1974	0,000340	31	0,9868	0,007124
6,4	0,2037	0,000360	32	1,0186	0,007580
6,6	0,2100	0,000380	33	1,0504	0,008049
6,8	0,2165	0,000401	34	1,0822	0,008533
7,0	0,2228	0,000423	35	1,1141	0,009031
7,2	0,2291	0,000445	36	1,1459	0,009543
7,4	0,2355	0,000468	37	1,1777	0,010069
7,6	0,2419	0,000491	38	1,2096	0,010610
7,8	0,2483	0,000515	39	1,2414	0,011164
8,0	0,2546	0,000540	40	1,2732	0,011733
8,2	0,2610	0,000565	41	1,3051	0,012315
8,4	0,2674	0,000591	42	1,3369	0,012912
8,6	0,2737	0,000617	43	1,3687	0,013523
8,8	0,2801	0,000644	44	1,4006	0,014148
9,0	0,2865	0,000671	45	1,4324	0,014787
9,2	0,2928	0,000699	46	1,4642	0,015440

Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter
	Meter	Meter		Meter	Meter
47	1,4961	0,016108	73	2,3237	0,038413
48	1,5279	0,016789	74	2,3555	0,039462
49	1,5597	0,017485	75	2,3873	0,040524
50	1,5916	0,018195	76	2,4192	0,041601
51	1,6234	0,018918	77	2,4510	0,042692
52	1,6552	0,019656	78	2,4828	0,043796
53	1,6870	0,020408	79	2,5146	0,044915
54	1,7189	0,021175	80	2,5465	0,046049
55	1,7507	0,021955	81	2,5783	0,047196
56	1,8825	0,022749	82	2,6101	0,048357
57	1,8144	0,023558	83	2,6420	0,049533
58	1,8462	0,024380	84	2,6738	0,050722
59	1,8780	0,025217	85	2,7056	0,051926
60	1,9099	0,026068	86	2,7375	0,053144
61	1,9417	0,026933	87	2,7693	0,054376
62	1,9735	0,027812	88	2,8011	0,055622
63	2,0054	0,028705	89	2,8330	0,056882
64	2,0372	0,029612	90	2,8648	0,058156
65	2,0690	0,030534	91	2,8966	0,059444
66	2,1008	0,031469	92	2,9284	0,060747
67	2,1327	0,032419	93	2,9603	0,062064
68	2,1645	0,033383	94	2,9921	0,063394
69	2,1963	0,034360	95	2,9921	0,063394
70	2,2282	0,035352	96	2,9921	0,063394
71	2,2600	0,036359	97	2,9921	0,063394
72	2,2918	0,037379	98	2,9921	0,063394

Durchmesser der Rohrleitung = 0,25 Meter.

5,0	0,1086	0,000086	7,6	0,1548	0,000176
5,2	0,1059	0,000092	7,8	0,1589	0,000185
5,4	0,1100	0,000098	8,0	0,1630	0,000193
5,6	0,1141	0,000104	8,2	0,1671	0,000202
5,8	0,1182	0,000111	8,4	0,1711	0,000210
6,0	0,1222	0,000117	8,6	0,1752	0,000219
6,2	0,1263	0,000124	8,8	0,1793	0,000229
6,4	0,1304	0,000131	9,0	0,1833	0,000238
6,6	0,1345	0,000138	9,2	0,1874	0,000247
6,8	0,1385	0,000145	9,4	0,1915	0,000257
7,0	0,1426	0,000153	9,6	0,1956	0,000267
7,2	0,1467	0,000160	9,8	0,1996	0,000277
7,4	0,1508	0,000168	10,0	0,2037	0,000288

Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter
	Meter	Meter		Meter	Meter
11	0,2241	0,000342	52	1,0593	0,006547
12	0,2445	0,000401	53	1,0797	0,006795
13	0,2648	0,000464	54	1,1001	0,007048
14	0,2852	0,000532	55	1,1204	0,007306
15	0,3056	0,000605	56	1,1612	0,007568
16	0,3259	0,000682	57	1,1816	0,007835
17	0,3463	0,000764	58	1,2019	0,008107
18	0,3667	0,000851	59	1,2191	0,008383
19	0,3871	0,000942	60	1,2223	0,008664
20	0,4074	0,001038	61	1,2427	0,008949
21	0,4278	0,001138	62	1,2631	0,009239
22	0,4482	0,001243	63	1,2834	0,009534
23	0,4686	0,001353	64	1,3038	0,009834
24	0,4889	0,001468	65	1,3242	0,010137
25	0,5093	0,001587	66	1,3445	0,010446
26	0,5297	0,001710	67	1,3649	0,010759
27	0,5500	0,001838	68	1,3653	0,011077
28	0,5704	0,001971	69	1,4056	0,011400
29	0,5908	0,002109	70	1,4262	0,011727
30	0,6112	0,002251	71	1,4464	0,012058
31	0,6315	0,002397	72	1,4668	0,012395
32	0,6519	0,002549	73	1,4871	0,012736
33	0,6723	0,002705	74	1,5075	0,013081
34	0,6926	0,002865	75	1,5279	0,013431
35	0,7130	0,003031	76	1,5483	0,013786
36	0,7334	0,003200	77	1,5686	0,014146
37	0,7538	0,003375	78	1,5890	0,014410
38	0,7741	0,003554	79	1,6094	0,014879
39	0,7945	0,003738	80	1,6297	0,015252
40	0,8149	0,003926	81	1,6501	0,015630
41	0,8352	0,004119	82	1,6705	0,016012
42	0,8556	0,004317	83	1,6909	0,016400
43	0,8760	0,004519	84	1,7112	0,016791
44	0,8963	0,004726	85	1,7316	0,017188
45	0,9167	0,004937	86	1,7520	0,017589
46	0,9371	0,005153	87	1,7723	0,017995
47	0,9575	0,005374	88	1,7927	0,018305
48	0,9778	0,005599	89	1,8131	0,018820
49	0,9982	0,005829	90	1,8335	0,019240
50	1,0186	0,006064	91	1,8538	0,019664
51	1,0390	0,006303	92	1,8742	0,020093

Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter
	Meter	Meter		Meter	Meter
93	1,8946	0,020526	110	2,2409	0,028603
94	1,9150	0,020964	115	2,3428	0,031232
95	1,9353	0,021407	120	2,4446	0,033978
96	1,9597	0,021854	125	2,5461	0,036839
97	1,9761	0,022306	130	2,6483	0,039816
98	1,9964	0,022763	135	2,7502	0,042908
99	2,0168	0,023224	140	2,8520	0,046116
100	2,0372	0,023690	145	2,9539	0,049439
105	2,1390	0,026088	150	3,0558	0,052879
Durchmesser der Rohrleitung = 0,30 Meter.					
7,0	0,0990	0,000068	25	0,3537	0,000663
7,2	0,1019	0,000072	26	0,3678	0,000713
7,4	0,1047	0,000075	27	0,3820	0,000766
7,6	0,1075	0,000079	28	0,3961	0,000820
7,8	0,1103	0,000082	29	0,4003	0,000876
8,0	0,1132	0,000086	30	0,4244	0,000934
8,2	0,1160	0,000089	31	0,4386	0,000994
8,4	0,1188	0,000093	32	0,4527	0,001056
8,6	0,1217	0,000097	33	0,4669	0,001120
8,8	0,1245	0,000101	34	0,4810	0,001185
9,0	0,1273	0,000105	35	0,4951	0,001253
9,2	0,1302	0,000109	36	0,5093	0,001322
9,4	0,1330	0,000113	37	0,5234	0,001393
9,6	0,1358	0,000117	38	0,5376	0,001466
9,8	0,1386	0,000121	39	0,5517	0,001541
10	0,1415	0,000126	40	0,5569	0,001618
11	0,1556	0,000148	41	0,5800	0,001696
12	0,1698	0,000173	42	0,5942	0,001777
13	0,1839	0,000200	43	0,6083	0,001859
14	0,1981	0,000228	44	0,6225	0,001943
15	0,2122	0,000258	45	0,6366	0,002029
16	0,2264	0,000290	46	0,6508	0,002117
17	0,2405	0,000324	47	0,6649	0,002207
18	0,2546	0,000360	48	0,6791	0,002298
19	0,2688	0,000398	49	0,6932	0,002392
20	0,2829	0,000437	50	0,7074	0,002487
21	0,2971	0,000478	51	0,7215	0,002584
22	0,3112	0,000522	52	0,7356	0,002683
23	0,3254	0,000567	53	0,7498	0,002784
24	0,3395	0,000614	54	0,7639	0,002887

Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter
	Meter	Meter		Meter	Meter
55	0,7781	0,002991	90	1,2732	0,007822
56	0,7922	0,003098	91	1,2874	0,007993
57	0,8064	0,00320	92	1,3015	0,008167
58	0,8205	0,003316	93	1,3157	0,008342
59	0,8347	0,003428	94	1,3298	0,008519
60	0,8488	0,003542	95	1,3440	0,008698
61	0,8630	0,003658	96	1,3581	0,008879
62	0,8771	0,003775	97	1,3723	0,009061
63	0,8913	0,003895	98	1,3864	0,009246
64	0,9054	0,004016	99	1,4006	0,009432
65	0,9196	0,004139	100	1,4147	0,009620
66	0,9337	0,004264	105	1,4854	0,010589
67	0,9478	0,004391	110	1,5562	0,011605
68	0,9620	0,004520	115	1,6269	0,012666
69	0,9761	0,004650	120	1,6977	0,013775
70	0,9903	0,004783	125	1,7684	0,014930
71	1,0044	0,004917	130	1,8391	0,016131
72	1,0186	0,005053	135	1,9091	0,017379
73	1,0327	0,005191	140	1,9806	0,018673
74	1,0469	0,005331	145	2,0513	0,020013
75	1,0610	0,005473	150	2,1221	0,021401
76	1,0752	0,005616	155	2,1928	0,022834
77	1,0893	0,005762	160	2,2635	0,024314
78	1,1035	0,005909	165	2,3343	0,025841
79	1,1176	0,006058	170	2,4050	0,027414
80	1,1318	0,006209	175	2,4757	0,029033
81	1,1459	0,006362	180	2,5465	0,030699
82	1,1601	0,006517	185	2,6172	0,032412
83	1,1742	0,006674	190	2,6879	0,034170
84	1,1884	0,006832	195	2,7587	0,035976
85	1,2025	0,006992	200	2,8294	0,037827
86	1,2167	0,007155	205	2,9002	0,039726
87	1,2308	0,007319	210	2,9709	0,041670
88	1,2449	0,007485	215	3,0416	0,043662
89	1,2591	0,007652			

Durchmesser der Rohrleitung = 0,35 Meter.

9,8	0,1019	0,000061	13	1,1351	0,000099
10	0,1039	0,000064	14	1,1455	0,000113
11	0,1143	0,000075	15	1,1559	0,000128
12	0,1247	0,000087	16	1,1663	0,000143

Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter
	Meter	Meter		Meter	Meter
17	0,1767	0,000159	58	0,6028	0,001566
18	0,1871	0,000176	59	0,6132	0,001618
19	0,1975	0,000194	60	0,6236	0,001671
20	0,2079	0,000213	61	0,6340	0,001725
21	0,2183	0,000233	62	0,6444	0,001780
22	0,2287	0,000253	63	0,6548	0,001836
23	0,2391	0,000275	64	0,6652	0,001893
24	0,2495	0,000297	65	0,6756	0,001950
25	0,2598	0,000320	66	0,6860	0,002009
26	0,2702	0,000344	67	0,6964	0,002068
27	0,2806	0,000369	68	0,7068	0,002128
28	0,2910	0,000395	69	0,7172	0,002189
29	0,3014	0,000421	70	0,7276	0,002251
30	0,3118	0,000449	71	0,7380	0,002314
31	0,3222	0,000477	72	0,7484	0,002377
32	0,3326	0,000506	73	0,7587	0,002442
33	0,3430	0,000536	74	0,7691	0,002507
34	0,3534	0,000567	75	0,7795	0,002573
35	0,3637	0,000599	76	0,7899	0,002640
36	0,3742	0,000631	77	0,8003	0,002708
37	0,3846	0,000665	78	0,8107	0,002776
38	0,3950	0,000699	79	0,8211	0,002846
39	0,4054	0,000734	80	0,8315	0,002917
40	0,4158	0,000770	81	0,8419	0,002988
41	0,4261	0,000807	82	0,8523	0,003060
42	0,4365	0,000845	83	0,8626	0,003133
43	0,4469	0,000884	84	0,8731	0,003207
44	0,4573	0,000923	85	0,8835	0,003282
45	0,4677	0,000963	86	0,8939	0,003357
46	0,4781	0,001005	87	0,9043	0,003434
47	0,4885	0,001047	88	0,9147	0,003511
48	0,4989	0,001089	89	0,9250	0,003589
49	0,5093	0,001133	90	0,9354	0,003668
50	0,5197	0,001178	91	0,9458	0,003748
51	0,5301	0,001223	92	0,9562	0,003829
52	0,5405	0,001270	93	0,9666	0,003910
53	0,5509	0,001317	94	0,9770	0,003993
54	0,5613	0,001365	95	0,9874	0,004076
55	0,5717	0,001414	96	0,9978	0,004160
56	0,5821	0,001464	97	1,0082	0,004245
57	0,5924	0,001514	98	1,0186	0,004331

Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter
	Meter	Meter		Meter	Meter
99	1,0200	0,004418	195	2,0268	0,016751
100	1,0394	0,004506	200	2,0788	0,017611
105	1,0913	0,004957	205	2,1307	0,018492
110	1,1433	0,005429	210	2,1827	0,019394
115	1,1953	0,005923	215	2,2347	0,020318
120	1,2473	0,006439	220	2,2866	0,021264
125	1,2992	0,006976	225	2,3386	0,022231
130	1,3512	0,007534	230	2,3906	0,023219
135	1,4032	0,008114	235	2,4425	0,024229
140	1,4551	0,008716	240	2,4945	0,025200
145	1,5071	0,009339	245	2,5465	0,026313
150	1,5591	0,009983	250	2,5984	0,027388
155	1,6110	0,010649	255	2,6504	0,028484
160	1,6630	0,011337	260	2,7024	0,029601
165	1,7150	0,012046	265	2,7544	0,030740
170	1,7669	0,012776	270	2,8063	0,031901
175	1,8189	0,013528	275	2,8583	0,033083
180	1,8709	0,014302	280	2,9103	0,034286
185	1,9229	0,015097	285	2,9622	0,035511
190	1,9748	0,015913			

Durchmesser der Rohrleitung = 0,40 Meter.

12	0,0955	0,000048	31	0,2467	0,000255
13	0,1035	0,000055	32	0,2546	0,000270
14	0,1114	0,000063	33	0,2626	0,000286
15	0,1194	0,000070	34	0,2706	0,000302
16	0,1273	0,000079	35	0,2785	0,000318
17	0,1353	0,000087	36	0,2865	0,000336
18	0,1432	0,000096	37	0,2944	0,000353
19	0,1512	0,000106	38	0,3024	0,000371
20	0,1592	0,000115	39	0,3104	0,000389
21	0,1671	0,000126	40	0,3183	0,000408
22	0,1751	0,000137	41	0,3263	0,000427
23	0,1830	0,000148	42	0,3342	0,000447
24	0,1910	0,000160	43	0,3422	0,000467
25	0,1959	0,000172	44	0,3501	0,000488
26	0,2069	0,000185	45	0,3581	0,000509
27	0,2149	0,000198	46	0,3661	0,000530
28	0,2228	0,000212	47	0,3740	0,000552
29	0,2308	0,000225	48	0,3820	0,000574
30	0,2387	0,000240	49	0,3899	0,000597

Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter
	Meter	Meter		Meter	Meter
50	0,3979	0,000620	91	0,7242	0,001952
51	0,4058	0,000644	92	0,7321	0,001993
52	0,4138	0,000668	93	0,7401	0,002036
53	0,4218	0,000693	94	0,7480	0,002078
54	0,4297	0,000718	95	0,7560	0,002121
55	0,4377	0,000743	96	0,7639	0,002165
56	0,4456	0,000769	97	0,7719	0,002209
57	0,4536	0,000795	98	0,7799	0,002253
58	0,4615	0,000822	99	0,7878	0,002298
59	0,4695	0,000849	100	0,7958	0,002343
60	0,4775	0,000877	105	0,8356	0,002576
61	0,4854	0,000905	110	0,8754	0,002820
62	0,4934	0,000933	115	0,9151	0,003075
63	0,5013	0,000962	120	0,9549	0,003341
64	0,5093	0,000992	125	0,9947	0,003618
65	0,5173	0,001021	130	1,0345	0,003906
66	0,5252	0,001052	135	1,0743	0,004205
67	0,5332	0,001082	140	1,1141	0,004516
68	0,5411	0,001113	145	1,1539	0,004837
69	0,5491	0,001145	150	1,1937	0,005169
70	0,5570	0,001177	155	1,2335	0,005512
71	0,5650	0,001210	160	1,2732	0,005866
72	0,5730	0,001242	165	1,3130	0,006232
73	0,5809	0,001276	170	1,3528	0,006608
74	0,5889	0,001310	175	1,3926	0,006995
75	0,5968	0,001344	180	1,4324	0,007394
76	0,6048	0,001379	185	1,4722	0,007803
77	0,6127	0,001414	190	1,5120	0,008223
78	0,6207	0,001449	195	1,5518	0,008655
79	0,6287	0,001485	200	1,5916	0,009097
80	0,6366	0,001522	205	1,6313	0,009551
81	0,6445	0,001559	210	1,6711	0,010015
82	0,6525	0,001596	215	1,7109	0,010491
83	0,6605	0,001634	220	1,7507	0,010977
84	0,6684	0,001672	225	1,7905	0,011475
85	0,6764	0,001711	230	1,8303	0,011984
86	0,6844	0,001750	235	1,8701	0,012503
87	0,6923	0,001789	240	1,9099	0,013034
88	0,7003	0,001829	245	1,9496	0,013576
89	0,7082	0,001870	250	1,9894	0,014128
90	0,7162	0,001910	255	2,0292	0,014692

Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter
	Meter	Meter		Meter	Meter
260	2,0690	0,015267	320	2,5465	0,023024
265	2,1088	0,015853	325	2,5863	0,023743
270	2,1486	0,016450	330	2,6261	0,024472
275	2,1884	0,017057	335	2,6658	0,025212
280	2,2284	0,017676	340	2,7056	0,02563
285	2,2680	0,018306	345	2,7454	0,026275
290	2,3077	0,018947	350	2,7852	0,027499
295	2,3475	0,019599	355	2,8250	0,028283
300	2,3873	0,020262	360	2,8648	0,029078
305	2,4271	0,020936	365	2,9046	0,029885
310	2,4669	0,021621	370	2,9444	0,030702
315	2,5067	0,022317	375	2,9842	0,031530

Durchmesser der Rohrleitung = 0,45 Meter.

16	0,1066	0,000047	43	0,2704	0,000268
17	0,1069	0,000052	44	0,2767	0,000280
18	0,1132	0,000057	45	0,2829	0,000291
19	0,1195	0,000063	46	0,2892	0,000304
20	0,1257	0,000068	47	0,2955	0,000316
21	0,1320	0,000074	48	0,3018	0,000329
22	0,1383	0,000080	49	0,3081	0,000341
23	0,1446	0,000087	50	0,3144	0,000354
24	0,1509	0,000094	51	0,3207	0,000368
25	0,1572	0,000101	52	0,3270	0,000381
26	0,1635	0,000108	53	0,3332	0,000395
27	0,1698	0,000115	54	0,3395	0,000409
28	0,1761	0,000123	55	0,3458	0,000424
29	0,1823	0,000131	56	0,3521	0,000438
30	0,1886	0,000139	57	0,3584	0,000453
31	0,1949	0,000148	58	0,3647	0,000468
32	0,2012	0,000156	59	0,3710	0,000483
33	0,2075	0,000165	60	0,3773	0,000499
34	0,2138	0,000174	61	0,3835	0,000515
35	0,2201	0,000184	62	0,3898	0,000531
36	0,2264	0,000194	63	0,3961	0,000547
37	0,2326	0,000203	64	0,4024	0,000563
38	0,2389	0,000214	65	0,4087	0,000580
39	0,2452	0,000224	66	0,4150	0,000597
40	0,2515	0,000235	67	0,4213	0,000614
41	0,2578	0,000245	68	0,4276	0,000632
42	0,2641	0,000257	69	0,4338	0,000650

Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter
	Meter	Meter		Meter	Meter
70	0,4401	0,000668	155	0,9746	0,003091
71	0,4464	0,000686	160	1,0060	0,003289
72	0,4527	0,000704	165	1,0374	0,003492
73	0,4590	0,000723	170	1,0689	0,003702
74	0,4653	0,000742	175	1,1003	0,003918
75	0,4716	0,000761	180	1,1318	0,004140
76	0,4778	0,000781	185	1,1632	0,004369
77	0,4841	0,000800	190	1,1947	0,004603
78	0,4904	0,000820	195	1,2261	0,004844
79	0,4967	0,000840	200	1,2575	0,005090
80	0,5030	0,000861	205	1,2890	0,005343
81	0,5093	0,000882	210	1,3204	0,005602
82	0,5156	0,000903	215	1,3518	0,005867
83	0,5219	0,000924	220	1,3833	0,006138
84	0,5282	0,000945	225	1,4147	0,006415
85	0,5344	0,000967	230	1,4462	0,006698
86	0,5407	0,000989	235	1,4776	0,006988
87	0,5470	0,001011	240	1,5090	0,007283
88	0,5533	0,001033	245	1,5405	0,007585
89	0,5596	0,001056	250	1,5718	0,007893
90	0,5659	0,001079	255	1,6033	0,008207
91	0,5722	0,001102	260	1,6348	0,008527
92	0,5785	0,001125	265	1,6662	0,008853
93	0,5847	0,001149	270	1,6977	0,009145
94	0,5940	0,001173	275	1,7291	0,009524
95	0,5973	0,001197	280	1,7605	0,009868
96	0,6036	0,001221	285	1,7920	0,010219
97	0,6099	0,001246	290	1,8234	0,010576
98	0,6162	0,001271	295	1,8549	0,010939
99	0,6225	0,001296	300	1,8863	0,011308
100	0,6288	0,001321	305	1,9177	0,011683
105	0,6602	0,001451	310	1,9492	0,012064
110	0,6916	0,001588	315	1,9806	0,012451
115	0,7231	0,001730	320	2,0120	0,012845
120	0,7545	0,001879	325	2,0435	0,013244
125	0,7860	0,002034	330	2,0749	0,013650
130	0,8174	0,002195	335	2,1064	0,014062
135	0,8488	0,002362	340	2,1378	0,014480
140	0,8803	0,002533	345	2,1692	0,014904
145	0,9117	0,002714	350	2,2007	0,015334
150	0,9431	0,002900	355	2,2321	0,015771

Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter
	Meter	Meter		Meter	Meter
360	2,2635	0,016213	425	2,6722	0,022522
365	2,2950	0,016662	430	2,7037	0,023050
370	2,3264	0,017116	435	2,7351	0,023584
375	2,3579	0,017577	440	2,7666	0,024125
380	2,3893	0,018044	445	2,7980	0,024671
385	2,4207	0,018517	450	2,8294	0,025224
390	2,4522	0,018996	455	2,8609	0,025783
395	2,4836	0,019482	460	2,8923	0,026348
400	2,5150	0,019973	465	2,9237	0,026919
405	2,5465	0,020471	470	2,9552	0,027496
410	2,5779	0,020974	475	2,9866	0,028079
415	2,6094	0,021484	480	3,0181	0,028668
420	2,6408	0,022000	485		

Durchmesser der Rohrleitung = 0,50 Meter.

19	0,0968	0,000039	45	0,2292	0,000178
20	0,1019	0,000043	46	0,2343	0,000185
21	0,1070	0,000047	47	0,2394	0,000193
22	0,1120	0,000051	48	0,2445	0,000200
23	0,1171	0,000054	49	0,2496	0,000208
24	0,1222	0,000059	50	0,2546	0,000216
25	0,1273	0,000063	51	0,2597	0,000224
26	0,1324	0,000067	52	0,2648	0,000232
27	0,1375	0,000072	53	0,2699	0,000240
28	0,1426	0,000076	54	0,2750	0,000249
29	0,1477	0,000081	55	0,2801	0,000257
30	0,1528	0,000086	56	0,2852	0,000266
31	0,1579	0,000091	57	0,2903	0,000275
32	0,1630	0,000097	58	0,2954	0,000284
33	0,1681	0,000102	59	0,3005	0,000293
34	0,1732	0,000108	60	0,3056	0,000303
35	0,1783	0,000113	61	0,3107	0,000312
36	0,1833	0,000119	62	0,3158	0,000322
37	0,1884	0,000125	63	0,3209	0,000331
38	0,1935	0,000131	64	0,3259	0,000341
39	0,1986	0,000137	65	0,3310	0,000351
40	0,2037	0,000144	66	0,3361	0,000361
41	0,2088	0,000150	67	0,3412	0,000372
42	0,2139	0,000157	68	0,3463	0,000382
43	0,2190	0,000164	69	0,3514	0,000393
44	0,2241	0,000171	70	0,3565	0,000404

Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter
	Meter	Meter		Meter	Meter
71	0,3616	0,000414	160	0,8149	0,001963
72	0,3667	0,000425	165	0,8403	0,002084
73	0,3718	0,000437	170	0,8658	0,002208
74	0,3769	0,000448	175	0,8913	0,002337
75	0,3820	0,000459	180	0,9167	0,002468
76	0,3871	0,000471	185	0,9422	0,002604
77	0,3922	0,000483	190	0,9677	0,002743
78	0,3973	0,000495	195	0,9931	0,002886
79	0,4023	0,000507	200	1,0186	0,003032
80	0,4074	0,000519	205	1,0441	0,003282
81	0,4125	0,000531	210	1,0695	0,003335
82	0,4176	0,000544	215	1,0950	0,003492
83	0,4227	0,000556	220	1,1204	0,003653
84	0,4278	0,000569	225	1,1459	0,003817
85	0,4329	0,000582	230	1,1714	0,003985
86	0,4380	0,000595	235	1,1969	0,004157
87	0,4431	0,000608	240	1,2223	0,004332
88	0,4482	0,000622	245	1,2478	0,004511
89	0,4533	0,000635	250	1,2732	0,004693
90	0,4584	0,000649	255	1,2987	0,004879
91	0,4635	0,000663	260	1,3242	0,005069
92	0,4686	0,000677	265	1,3496	0,005262
93	0,4736	0,000691	270	1,3751	0,005459
94	0,4787	0,000705	275	1,4056	0,005659
95	0,4838	0,000719	280	1,4260	0,005863
96	0,4889	0,000734	285	1,4515	0,006071
97	0,4940	0,000748	290	1,4470	0,006282
98	0,4991	0,000763	295	1,5024	0,006497
99	0,5042	0,000778	300	1,5279	0,006716
100	0,5093	0,000793	305	1,5534	0,006938
105	0,5348	0,000871	310	1,5788	0,007163
110	0,5602	0,000952	315	1,6043	0,007393
115	0,5857	0,001037	320	1,6298	0,007626
120	0,6112	0,001125	325	1,6552	0,007862
125	0,6366	0,001217	330	1,6807	0,008102
130	0,6621	0,001313	335	1,7061	0,008346
135	0,6875	0,001412	340	1,7316	0,008594
140	0,7130	0,001515	345	1,7511	0,008845
145	0,7385	0,001622	350	1,7825	0,009099
150	0,7639	0,001732	355	1,8080	0,009358
155	0,7894	0,001846	360	1,8335	0,009619

Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter
	Meter	Meter		Meter	Meter
365	1,8589	0,009885	480	2,4446	0,016988
370	1,8844	0,010154	485	2,4701	0,017341
375	1,9099	0,010427	490	2,4955	0,017696
380	1,9353	0,010703	495	2,5210	0,018056
385	1,9608	0,010983	500	2,5465	0,018419
390	1,9863	0,011266	505	2,5719	0,018785
395	2,0117	0,011554	510	2,5974	0,019156
400	2,0372	0,011844	515	2,6229	0,019530
405	2,0626	0,012139	520	2,6483	0,019907
410	2,0881	0,012437	525	2,6738	0,020288
415	2,1136	0,012738	530	2,6993	0,020673
420	2,1390	0,013044	535	2,7247	0,021061
425	2,1645	0,013353	540	2,7502	0,021453
430	2,1900	0,013665	545	2,7757	0,021849
435	2,2154	0,013981	550	2,8011	0,022248
440	2,2409	0,014301	555	2,8266	0,022650
445	2,2664	0,014624	560	2,8521	0,023057
450	2,2918	0,014951	565	2,8775	0,023467
455	2,3173	0,015282	570	2,9030	0,023880
460	2,3428	0,015616	575	2,9284	0,024298
465	2,3682	0,015954	580	2,9539	0,024718
470	2,3937	0,016295	585	2,9794	0,025143
475	2,4192	0,016640	590	3,0048	0,025571
		Durchmesser der Rohrleitung = 0,60 Meter.			
29	0,1026	0,000036	45	0,1592	0,000077
30	0,1061	0,000038	46	0,1627	0,000080
31	0,1096	0,000041	47	0,1662	0,000083
32	0,1132	0,000043	48	0,1698	0,000087
33	0,1167	0,000045	49	0,1733	0,000090
34	0,1203	0,000047	50	0,1768	0,000093
35	0,1238	0,000050	51	0,1804	0,000096
36	0,1273	0,000052	52	0,1839	0,000100
37	0,1309	0,000055	53	0,1874	0,000103
38	0,1344	0,000057	54	0,1910	0,000107
39	0,1379	0,000060	55	0,1945	0,000110
40	0,1415	0,000063	56	0,1981	0,000114
41	0,1450	0,000066	57	0,2016	0,000118
42	0,1485	0,000068	58	0,2051	0,000121
43	0,1521	0,000071	59	0,2087	0,000125
44	0,1556	0,000074	60	0,2122	0,000129

Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter.
	Meter	Meter		Meter	Meter
61	0,2157	0,000133	110	0,3890	0,000396
62	0,2193	0,000137	115	0,4067	0,000431
63	0,2228	0,000141	120	0,4244	0,000467
64	0,2264	0,000145	125	0,4421	0,000505
65	0,2299	0,000149	130	0,4598	0,000544
66	0,2334	0,000153	135	0,4775	0,000584
67	0,2370	0,000158	140	0,4951	0,000626
68	0,2405	0,000162	145	0,5128	0,000670
69	0,2440	0,000166	150	0,5305	0,000715
70	0,2476	0,000171	155	0,5482	0,000761
71	0,2511	0,000175	160	0,5659	0,000809
72	0,2546	0,000180	165	0,5836	0,000858
73	0,2582	0,000185	170	0,6013	0,000900
74	0,2617	0,000189	175	0,6189	0,000961
75	0,2653	0,000194	180	0,6366	0,001014
76	0,2688	0,000199	185	0,6543	0,001070
77	0,2723	0,000204	190	0,6720	0,001126
78	0,2759	0,000209	195	0,6897	0,001184
79	0,2794	0,000213	200	0,7074	0,001243
80	0,2829	0,000219	205	0,7250	0,001304
81	0,2865	0,000224	210	0,7427	0,001367
82	0,2900	0,000229	215	0,7604	0,001430
83	0,2936	0,000234	220	0,7781	0,001496
84	0,2971	0,000239	225	0,7958	0,001562
85	0,3006	0,000244	230	0,8135	0,001630
86	0,3042	0,000250	235	0,8311	0,001700
87	0,3077	0,000255	240	0,8488	0,001771
88	0,3112	0,000261	245	0,8665	0,001843
89	0,3148	0,000266	250	0,8842	0,001917
90	0,3183	0,000272	255	0,9019	0,001993
91	0,3218	0,000278	260	0,9196	0,002069
92	0,3254	0,000283	265	0,9372	0,002148
93	0,3289	0,000289	270	0,9549	0,002227
94	0,3325	0,000295	275	0,9726	0,002309
95	0,3360	0,000301	280	0,9905	0,002391
96	0,3395	0,000307	285	1,0080	0,002475
97	0,3431	0,000313	290	1,0257	0,002561
98	0,3466	0,000319	295	1,0433	0,002648
99	0,3501	0,000325	300	1,0610	0,002736
100	0,3537	0,000331	305	1,0787	0,002826
105	0,3714	0,000363	310	1,0964	0,002918

Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter
	Meter	Meter		Meter	Meter
315	1,1141	0,003010	520	1,8391	0,008065
320	1,1318	0,003105	525	1,8568	0,008219
325	1,1494	0,003200	530	1,8745	0,008374
330	1,1671	0,003298	535	1,8922	0,008531
335	1,1848	0,003396	540	1,9099	0,008689
340	1,2025	0,003496	545	1,9275	0,008849
345	1,2202	0,003597	550	1,9452	0,009010
350	1,2379	0,003701	555	1,9629	0,009172
355	1,2556	0,003805	560	1,9806	0,009336
360	1,2732	0,003911	565	1,9983	0,009502
365	1,2909	0,004018	570	2,0160	0,009669
370	1,3086	0,004127	575	2,0336	0,009837
375	1,3263	0,004237	580	2,0513	0,010007
380	1,3440	0,004349	585	2,0690	0,010178
385	1,3617	0,004462	590	2,0867	0,010351
390	1,3793	0,004577	595	2,1044	0,010525
395	1,3970	0,004693	600	2,1221	0,010700
400	1,4147	0,004810	605	2,1397	0,010877
405	1,4324	0,004929	610	2,1574	0,011056
410	1,4501	0,005049	615	2,1751	0,011236
415	1,4678	0,005171	620	2,1928	0,011417
420	1,4854	0,005295	625	2,2105	0,011600
425	1,5031	0,005419	630	2,2232	0,011784
430	1,5208	0,005545	635	2,2459	0,011970
435	1,5385	0,005673	640	2,2635	0,012157
440	1,5562	0,005802	645	2,2812	0,012346
445	1,5739	0,005933	650	2,2989	0,012536
450	1,5916	0,006065	655	2,3166	0,012727
455	1,6092	0,006198	660	2,3343	0,012920
460	1,6269	0,006333	665	2,3520	0,013115
465	1,6446	0,006470	670	2,3696	0,013311
470	1,6623	0,006607	675	2,3873	0,013508
475	1,6800	0,006747	680	2,4050	0,013707
480	1,6977	0,006887	685	2,4227	0,013907
485	1,7153	0,007030	690	2,4404	0,014109
490	1,7330	0,007173	695	2,4581	0,014312
495	1,7507	0,007318	700	2,4757	0,014517
500	1,7684	0,007465	705	2,4934	0,014723
505	1,7861	0,007613	710	2,5111	0,014930
510	1,8038	0,007762	715	2,5288	0,015139
515	1,8214	0,007913	720	2,5465	0,015350

Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter	Wassermenge in Litern per Sec.	Mittlere Geschwindigkeit	Gefällverlust per lfd. Meter
	Meter	Meter		Meter	Meter
725	2,5642	0,015561	790	2,7941	0,018448
730	2,5818	0,015775	795	2,8117	0,018680
735	2,5995	0,015989	800	2,8294	0,018914
740	2,6172	0,016206	805	2,8471	0,019149
745	2,6349	0,016423	810	2,8648	0,019385
750	2,6526	0,016643	815	2,8825	0,019623
755	2,6703	0,016863	820	2,9002	0,019863
760	2,6779	0,017085	825	2,9178	0,020104
765	2,7056	0,017309	830	2,9355	0,020346
770	2,7233	0,017534	835	2,9532	0,020590
775	2,7410	0,017760	840	2,9709	0,020835
780	2,7587	0,017988	845	2,9886	0,021082
785	2,7764	0,018217	850	3,0036	0,021330

§ 237.

Gefällverlust durch Krümmungen, Erweiterungen und Verengungen.

1. Welches ist der Gefällverlust des Wassers in einer Rohrkrümmung, in welcher dasselbe um einen Winkel von 90 Graden abgelenkt wird, wenn der Durchmesser der Leitung 0,40 Meter, der Halbmesser der Krümmung 1 Meter und die Geschwindigkeit des Wassers in der Leitung = 1 Meter ist?

Es ist zunächst bei einer Ablenkung von 90° die Bogenlänge s der Krümmung =

$$\frac{90}{360} = \frac{1}{4}\, 2\, r\, \pi = \frac{1}{4}\, 2 \times 1 \times 3{,}14 = 1{,}57 \text{ Meter}$$

und es wird daher der Gefällverlust nach Formel 1) § 174:

$$z = \frac{u^2}{2\,g}\,(0{,}0039 + 0{,}0186\, r)\,\frac{s}{r^2} =$$

$$= \frac{1^2}{2 \times 9{,}81}\,(0{,}0039 + 0{,}0186 \times 1)\,\frac{1{,}57}{1^2} = 0{,}0017 \text{ Meter.}$$

2. In einer Rohrleitung, in welcher das Wasser plötzlich um einen Winkel a von 40° von seiner Richtung abgelenkt wird, ist der Gefällverlust für eine Geschwindigkeit von 2 Meter per Secunde zu bestimmen.

Man hat nach 2) § 174:

$$z = y \frac{u^2}{2g};$$

wobei y bei 40° Ablenkung = 0,740 und also

$$z = 0{,}740 \frac{u^2}{2g} = 0{,}740 \frac{2 \times 2}{19{,}6} = 0{,}15 \text{ Meter.}$$

3. Nach Formel 2) des § 174 würde der Gefällverlust bei einer Ablenkung von 90° für die Verhältnisse des Beispiels 1:

$$z = y \frac{u^2}{2g};$$

wobei der Werth von

$$y = 0{,}131 + 1{,}847 \left(\frac{i}{r}\right)^{\frac{7}{2}} = 0{,}131 + 1{,}847 \left(\frac{0{,}20}{1}\right)^{\frac{7}{2}} =$$

$$= 0{,}131 + 1{,}847 \sqrt{(0{,}20)^7} = 0{,}1374.$$

Es wird sonach

$$z = \frac{1^2}{2 \times 9{,}81} \times 0{,}1374 = 0{,}007 \text{ Meter.}$$

4. Ist dagegen im obigen Beispiele der Krümmungshalbmesser des Ablenkungsbogens gleich dem Halbmesser der Rohrleitung, also = 0,20 Meter, so wird

$$y = 0{,}131 + 1{,}847 \sqrt{\left(\frac{0{,}20}{0{,}20}\right)^7} = 1{,}978$$

und es wird somit der Werth von

$$z = \frac{1^2}{2 \times 9{,}81} \times 1{,}978 = 0{,}10 \text{ Meter.}$$

Anmerkung. Wie aus Beispiel 1 und 3 ersichtlich ist, stimmen die Ergebnisse der zur Bestimmung des Gefällverlustes durch Rohrkrümmungen aufgestellten Formeln nicht mit einander überein und es kann eine Entscheidung über die Verläßlichkeit der einen oder andern Formel nur durch weitere umfassende Versuche getroffen werden. Leider ist zur Zeit noch wenig Aussicht vorhanden, daß eine solche Versuchsreihe mit den entsprechenden Mitteln zur Ausführung gelangen könne, da die höhern technischen Lehr-Anstalten solchen practischen Gegenständen keine eingehendere Aufmerksamkeit schenken und leider Gottes lieber die gewagtesten Theorien aufstellen, als durch Verwendung für die Herbeischaffung von Mitteln derartige Fundamentalfragen practisch zu erledigen trachten.

5. In einer Rohrleitung von 0,80 Meter lichter Weite fließt das Wasser mit einer Geschwindigkeit von 1,4 Meter per Secunde. Welchen

Gefällverlust verursacht eine Verengung in der Leitung nach Fig. 180 Tafel 20, wenn der Durchmesser der Oeffnung A_2 0,45 Meter beträgt?

Es sind zunächst die beiden Querschnitte

$$A = 0{,}7854 \times 0{,}80^2 = 0{,}5026 \text{ Quadratmeter,}$$
$$A_1 = 0{,}7854 \times 0{,}45^2 = 0{,}1590 \quad \text{„} \quad \text{„}$$

Das Verhältniß dieser Querschnitte ist somit $\frac{A_1}{A} = \frac{0{,}1590}{0{,}5026} = 0{,}31$, welchem nach § 175 der Werth des Contractions-Coefficienten $k_1 = 0{,}644$ entspricht. Nach demselben Paragraphen wird nun der gesuchte Gefällverlust:

$$z = \frac{u^2}{2g}\left\{\frac{A}{A_1 k_1} - 1\right\}^2 = \frac{1{,}4^2}{2 \times 9{,}81}\left\{\frac{0{,}5026}{0{,}1590 \times 0{,}644} - 1\right\}^2 =$$
$$= 1{,}60 \text{ Meter.}$$

6. In einer Rohrleitung nach Fig. 181 Tafel 20 soll das Wasser im Querschnitte A mit 1,4 Meter Geschwindigkeit zufließen. Der Querschnitt bei A ist 0,850 Quadratmeter, im Querschnitte A_2 = 0,950 Quadratmeter. Welcher Gefällverlust entsteht durch eine Verengung nach der Figur, wenn deren Querschnitt $A_1 = 0{,}50$ Quadratmeter beträgt?

Es ist hier nach § 175 das Verhältniß der Querschnitte $\frac{A_1}{A} = \frac{0{,}50}{0{,}850}$ $= 0{,}58$ und der Werth des Contractions-Coefficienten $k_1 = 0{,}71$. Es wird demnach der Gefällverlust nach § 175:

$$z = \frac{u^2}{2g}\left\{\left(\frac{A}{A_1}\right)^2\left(\frac{1}{k_1} - 1\right)^2 + \left(\frac{A}{A_1} - \frac{A}{A_2}\right)\right\}^2 =$$
$$= \frac{1{,}4^2}{2 \times 9{,}81}\left\{\left(\frac{0{,}850}{0{,}50}\right)^2\left(\frac{1}{0{,}71} - 1\right)^2 + \left(\frac{0{,}850}{0{,}50} - \frac{0{,}850}{0{,}950}\right)^2\right\} =$$
$$= 0{,}11 \text{ Meter.}$$

7. Bei einer Rohrleitung ist der Einfluß einer nach Fig. 182 Tafel 20 angebrachten Erweiterung zu berechnen. Die verschiedenen aufeinanderfolgenden Querschnitte der Leitung sind:

$A = 0{,}60$ Quadratm.; $O = 2{,}2$ Quadratm. und $A_2 = 0{,}40$ Quadratm.

Das Wasser fließt in A mit einer Geschwindigkeit von 2,4 Meter per Secunde ein. Welches ist der durch die Erweiterung entstehende Gefällverlust?

Es ist zunächst der Werth von $\frac{O}{A} = \frac{2{,}2}{0{,}60} = 3{,}66$, derjenige $\frac{A}{O} =$ $= \frac{0{,}60}{2{,}2} = 0{,}27$ und es ist nach dem erstern Verhältnisse der Werth des Contractions-Coefficienten k_1 für den Uebertritt des Wassers von A nach O nicht kleiner als 1. Dagegen ist $\frac{A_2}{O} = \frac{0{,}40}{2{,}2} = 0{,}18$ und daher der Contractions-Coefficient k_2 für den Uebergang aus O nach A_2 $= 0{,}62$. Es wird sonach der gesuchte Gefällverlust nach § 175:

$$z = \frac{u^2}{2g}\left\{\left(1 - \frac{A}{O}\right)^2 + \left(\frac{A}{A_2}\right)^2 \left(\frac{1}{k_2} - 1\right)^2\right\} =$$

$$= \frac{2{,}4^2}{2 \times 9{,}81}\left\{\left(1 - \frac{0{,}60}{2{,}20}\right)^2 + \left(\frac{0{,}60}{0{,}40}\right)^2 \left(\frac{1}{0{,}62} - 1\right)^2\right\} = 0{,}399 \text{ Meter.}$$

§ 238.

Beobachtungen über den Einfluß von Rohrverengungen.

Wie aus den Beispielen des vorigen Paragraphen hervorgeht, haben schwächere Krümmungen in einer Rohrleitung nur einen geringen Gefällverlust im Gefolge, was auch durch die in dieser Hinsicht angestellten Versuche in neuerer Zeit bestätigt worden ist. Man kann eine Röhre vollständig im Kreise herumbiegen, ohne daß die durchfließende Wassermenge oder das Druckgefälle dadurch wesentlich vermindert wird, sobald der Radius der Rohrkrümmung nicht kleiner als das $2\frac{1}{2}$- bis 3fache des Rohrdurchmessers ist. Anders verhält es sich indessen mit den Verengungen, die in einer Rohrleitung angebracht werden.

Diese Verengungen haben aber den dießbezüglichen Beobachtungen zu Folge nur dann einen wesentlichen Einfluß auf die durchfließende Wassermenge, wenn sie am Ende der Rohrleitung oder doch nahe demselben angebracht sind. Eine mitten in einer längern Rohrleitung angebrachte nicht gar zu starke Verengung hat dagegen nur einen sehr geringen Gefällverlust zur Folge, beeinträchtigt also die unter einem vorhandenen Drucke durchfließende Wassermenge nur in höchst unbedeutendem Maße, weil die lebendige Kraft, welche das Wasser bei seinem beschleunigten Durchgang durch die verengte Stelle aufnimmt, unterhalb derselben wieder an das Wasser der ganzen Rohrleitung abgegeben wird, indem das schnell aus der verengten Stelle fließende Wasser gegen die ganze sich langsamer bewegende Wassermasse des normalen Rohrtheiles drückt und somit dessen Bewegung beschleunigt. Immerhin geht bei diesem Vorgange auch ein gewisser Theil an lebendiger Kraft durch Stoß und Reibung verloren, wenn die Verengung sich nicht am Ende einer Leitung befindet.