ein endlicher Zeitwerth. Der Grund der Verschiedenheit beider Fälle ist folgender: Bei einer Bodenöffnung ist gegen das Ende des Ausflusses die Druckhöhe unendlich klein, die Öffnung endlich, die sekundl. Ausflussmenge unendlich klein; daher kann die unendlich kleine noch vorhandene Wassermenge in endlicher Zeit ausfliessen. Bei der Seitenöffnung aber wird mit der Druckhöhe auch der Querschnitt des ausfliessenden Strahles unendlich klein, die sekundliche Ausflussmenge daher unendlich klein zweiter Ordnung, so dass zum Ausfliessen der unendlich kleinen letzten Wassermenge eine unendlich grosse Zeit nöthig ist. Übrigens wird schon während einer endlichen Zeit die noch vorhandene Wasserschicht so dünn, dass sie thatsächlich nicht mehr fliesst.

Beispiel: Es sei die Grundfläche des Gefässes $F_0 = 3\,^{\mathrm{qm}}$, die Breite des Einschnittes $b = 0{,}1\,^{\mathrm{m}}$, die ursprüngliche Wasserhöhe $h = 1\,^{\mathrm{m}}$, $\mu = 0{,}6$. Dann wird

$$t = \frac{3 \cdot 3}{0{,}6 \cdot 0{,}1 \cdot 4{,}43}\left(\frac{1}{\sqrt{z}} - 1\right) = 33{,}9\left(\frac{1}{\sqrt{z}} - 1\right).$$

Für $z = \frac{1}{4}\,^{\mathrm{m}}$ ist $t = 33{,}9\,^{\mathrm{s.}}$;

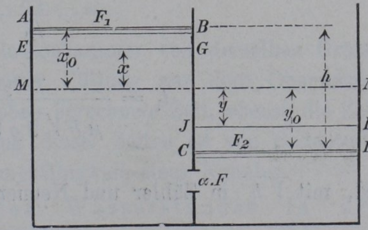
für $z = 0{,}01\,^{\mathrm{m}}$ ist $t = 9 \cdot 33{,}9 = 305{,}1\,^{\mathrm{s.}}$;

für $z = 0{,}0001\,^{\mathrm{m}}$ ist $t = 99 \cdot 33{,}9 = 3356\,^{\mathrm{s.}}$.

h) Ausgleichung des Wassers in Schleusenkammern.

Sind 2 Schleusenkammern (Fig. 283) mit den Grundflächen F_1 und F_2 durch eine beiderseits unter Wasser liegende Schützenöffnung F verbunden, so wird, wenn die Wasserstände AB und CD der Kammern zu Anfang einen Höhenunterschied h hatten, nach einer gewissen Zeit in beiden Kammern sich ein Ausgleichswasserspiegel MN bilden, der von den ursprünglichen Wasserspiegeln um x_0 bezw. y_0 absteht. Nach t Sekunden seien die beiden Wasserspiegel EG und JK um x bezw. y vom Ausgleich entfernt; dann ist im

Fig. 283.



Zeitpunkte t die wirksame Druckhöhe $x + y$, daher die Durchflussgeschwindigkeit der Schützenöffnung

$$w = \varphi \sqrt{2 g (x + y)}$$

und die Durchflussmenge während der Zeit dt:

$$dQ = \mu F dt \sqrt{2 g (x + y)}.$$

Nun ist offenbar

$$F_1 x = F_2 y \quad \text{und} \quad F_1 x_0 = F_2 y_0,$$

1) $$x + y = y\left(\frac{F_2}{F_1} + 1\right); \quad h = x_0 + y_0 = y_0\left(\frac{F_2}{F_1} + 1\right);$$

ferner, weil in der Zeit dt die Tiefe sich um $-dy$ ändert,

$$dQ = \mu F dt \sqrt{2 g y \left(\frac{F_2}{F_1} + 1\right)} = -F_2 dy; \quad \text{mithin}$$

2) $$dt = \frac{-F_2 dy}{\mu F \sqrt{2 g} \sqrt{\frac{F_2}{F_1} + 1} \sqrt{y}}.$$

Für $t = 0$ ist $y = y_0$; für $t = t_1$ ist $y = 0$, wenn t_1 die Zeit bis zur Ausgleichung bedeutet. Also

$$t_1 = \frac{F_2}{\mu F \sqrt{2 g} \sqrt{\frac{F_2}{F_1} + 1}} \int_0^{y_0} y^{-1/2} dy = \frac{2 F_2 \sqrt{y_0}}{\mu F \sqrt{2 g} \sqrt{\frac{F_2}{F_1} + 1}}$$

oder wegen $$y_0 = \frac{h}{\frac{F_2}{F_1} + 1}:$$

4) $$t_1 = \frac{2 F_2 \sqrt{h}}{\mu F \sqrt{2 g}\left(\frac{F_2}{F_1} + 1\right)}$$

und, mit $\sqrt{h}$ in Zähler und Nenner multiplicirt:

5) $$t_1 = \frac{2 F_2 h}{\mu F \sqrt{2 g h}\left(\frac{F_2}{F_1} + 1\right)}.$$

Multiplicirt man in Zähler und Nenner mit $F_1 : F_2$, so kann man auch schreiben:

$$6)\qquad t_1 = \frac{2F_1 h}{\mu F\sqrt{2gh}\left(1+\frac{F_1}{F_2}\right)}.$$

Die ganze überströmende Wassermenge beträgt

$$V = F_2 y_0 = \frac{F_2 h}{\frac{F_2}{F_1}+1},$$

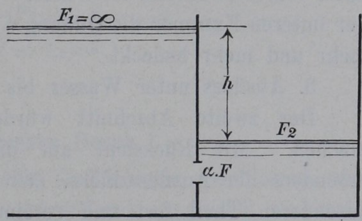
und da die sekundl. Durchflussmenge zu Anfang

$$Q_0 = \mu F\sqrt{2gh},$$

so ist, wie Gl. 7, S. 249:

$$7)\qquad t_1 = 2\frac{V}{Q_0}.$$

Fig. 284.



Füllt sich die Schleusenkammer aus einem ausgedehnten Oberwasser für welches $F_1 = \infty$ zu setzen ist (Fig. 284), so wird $V = F_2 h$ und

$$8)\qquad t_1 = \frac{2F_2 h}{\mu F\sqrt{2gh}}.$$

Ähnliches gilt bei der Entleerung einer Schleusenkammer in ein ausgedehntes Unterwasser.

Beispiel: Es sei (Fig. 283) $F_1 = F_2 = 400$ qm; $F = 0{,}5$ qm, $h = 2$ m; μ kann im Mittel $= 0{,}6$ gesetzt werden. Dann ist $y_0 = {}^1\!/_2 h = 1$ m, also $V = 400$ cbm; $Q_0 = 0{,}6 \cdot 0{,}5 \cdot 4{,}43\sqrt{2} = 1{,}88$, und nach Gl. 7:

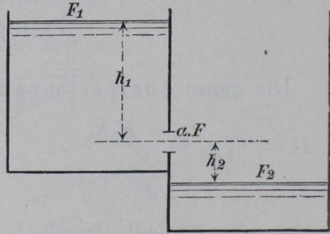
$$t_1 = 426^{\text{s.}} = 7{,}1^{\text{min.}}.$$

Ist nur eine einzelne Schleusenkammer von derselben Grösse vorhanden, so wird die Zeit einer Füllung aus dem Oberwasser doppelt so gross sein, wie die oben berechnete Zeit, ebenso die Zeit der Entleerung. Die Berechnung dieser Zeiten ist von Bedeutung für die Beurtheilung der Leistungsfähigkeit eines Kanales.

Ausgleichungszeit des Wasserstandes in den Kammern gekuppelter Schleusen, wenn die Öffnung zu Anfang nicht beiderseitig unter Wasser liegt (Fig. 285). Der Schwerpunkt der Öffnung F liege anfangs um h_1

unter dem Oberwasser, um h_2 über dem Unterwasser. Dann sind drei Abschnitte des Durchflusses zu unterscheiden:

Fig. 285.



1. Ausfluss ins Freie durch die niedrige Seitenöffnung, bis das Wasser der unteren Kammer die Unterkante der Öffnung erreicht.

2. Ausfluss, theils frei, theils unter Wasser, während das Wasser der unteren Kammer die Öffnung mehr und mehr bedeckt.

3. Ausfluss unter Wasser bis zur Ausgleichung.

Der zweite Abschnitt würde die Berechnung umständlich machen. Mit Rücksicht auf die Unsicherheit dieser Formeln, besonders der Ausflussziffern, lässt man daher diesen Abschnitt als besonderen Theil fort und vereinigt ihn mit den anderen beiden, indem man den ersten mit Ausfluss ins Freie bis zu dem Augenblicke rechnet, wo das Wasser der unteren Kammer den Schwerpunkt der Öffnung erreicht, den übrigen Theil des Durchflusses als Ausfluss unter Wasser behandelt.

Während das Wasser der unteren Kammer um h_2 steigt, muss dasjenige der oberen Kammer um $h_2 F_2 : F_1$ sinken. Es erfolgt also während des freien Ausflusses aus der als niedrig vorausgesetzen Öffnung eine Verminderung der Druckhöhe von h_1 auf $h_1 - h_2 \frac{F_2}{F_1}$, wozu nach Gl. 5, S. 249 eine Zeit

$$t_1 = \frac{2 F_1}{\mu F \sqrt{2 g}} \left(\sqrt{h_1} - \sqrt{h_1 - h_2 \frac{F_2}{F_1}} \right)$$

erforderlich ist. Für die nun beginnende Ausgleichung durch eine Öffnung unter Wasser gilt Gl. 6, S. 257, wenn darin h durch den jetzt bestehenden Höhenunterschied $h_1 - h_2 \frac{F_2}{F_1}$ ersetzt wird. Die entsprechende Zeit ist also

$$t_2 = \frac{2 F_1 \sqrt{h_1 - h_2 \frac{F_2}{F_1}}}{\mu F \sqrt{2 g} \left(\frac{F_1}{F_2} + 1 \right)}.$$

Die Gesammtzeit $t_1 + t_2$ wird also

$$t = \frac{2\,F_1}{\mu\,F\sqrt{2\,g}}\left\{\sqrt{h_1} - \left(1 - \frac{1}{\frac{F_1}{F_2} + 1}\right)\sqrt{h_1 - h_2\frac{F_2}{F_1}}\right\} \quad \text{oder}$$

9) $$t = \frac{2\,F_1}{\mu\,F\sqrt{2\,g}}\left\{\sqrt{h_1} - \frac{F_1}{F_1 + F_2}\sqrt{h_1 - h_2\frac{F_2}{F_1}}\right\}.$$

Beispiel: Es sei wiederum $F_1 = F_2 = 400$ qm; $h_1 = 1{,}5$ m; $h_2 = 0{,}5$ m; $F = 0{,}5$ qm, $\mu = 0{,}6$, dann wird $\mu F\sqrt{2\,g} = 1{,}329$ und

$$t = 433^{\text{s.}} = 7{,}2^{\text{min.}},$$

nicht viel mehr als auf S. 257.

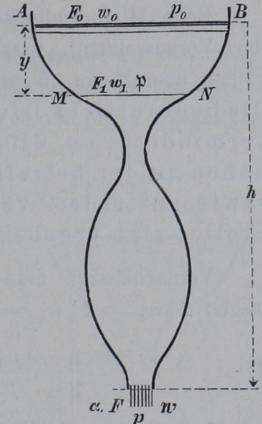
i) Hydraulischer Druck.

Ist das in Fig. 286 dargestellte Gefäss unten geschlossen, oben dem Drucke p_0, etwa dem Atmosphärendruck ausgesetzt, so beträgt in einem Querschnitte MN, der um y unter dem Wasserspiegel liegt, der hydrostatische Druck nach S. 168

$$p_1 = p_0 + \gamma y,$$

wenn γ das Gewicht der Körpereinheit (eines Kubikmeters) Wasser ist. Findet aber eine Ausflussbewegung statt, so tritt eine bedeutende Änderung in den Druckverhältnissen ein. Der im Bewegungszustande herrschende Druck wird der hydrodynamische oder hydraulische Druck genannt und möge mit $\mathfrak{p}$ bezeichnet werden. Wir berechnen denselben unter der Annahme, dass der Beharrungszustand eingetreten sei, dass also für die Geschwindigkeiten und die Druckhöhe Gl. I, S. 231 gelte, aber mit Berücksichtigung der Widerstände.

Fig. 286.



Für das ganze Gefäss besteht daher die Beziehung

1) $$h + \frac{p_0 - p}{\gamma} = \frac{w^2}{2\,g} - \frac{w_0{}^2}{2\,g} + z_h\,;$$

darin soll z_h die gesammte Widerstandshöhe oder den gesammten Druckhöhenverlust zwischen Wasserspiegel und Mündung bedeuten.