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

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

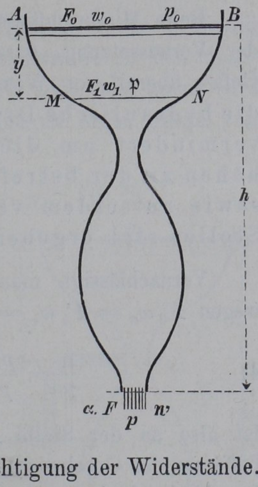
nicht viel mehr als auf S. 257.

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

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

Fig. 286.



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.

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.

Sind (wie in Fig. 286) keine plötzlichen Querschnittsänderungen vorhanden, so ist $z_h = z_0$ (Gl. 3, S. 244), anderenfalls wären noch entsprechende z_1 (Gl. 2, S. 246) hinzuzufügen.

Betrachtet man aber nur die Wassermenge zwischen AB und MN, so ist w_1 die Ausflussgeschwindigkeit, $\mathfrak{p}$ der Gegendruck; nennt man dann z_y die auf die Höhe y kommende Widerstandshöhe, so wird, entsprechend der Gl. 1:

$$2)\qquad y + \frac{p_0 - \mathfrak{p}}{\gamma} = \frac{w_1^2}{2g} - \frac{w_0^2}{2g} + z_y \quad \text{oder}$$

$$3)\qquad \frac{\mathfrak{p}}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} + y - \left(\frac{w_1^2}{2g} - \frac{w_0^2}{2g}\right) - z_y\,.$$

Mit $\mathfrak{p}$ als hydraulischem Druck ist $\mathfrak{p}:\gamma$ die hydraulische Druckhöhe bei MN, $\frac{p_0}{\gamma} + y$ die hydrostatische Druckhöhe daselbst, und man hat den Satz:

Beim Hindurchfliessen des Wassers durch ein Gefäss ist unter der Voraussetzung, dass der Beharrungszustand besteht und das Gefäss überall von Wasser erfüllt ist, in irgend einem Querschnitte die hydraulische Druckhöhe gleich der hydrostatischen, vermindert um die Differenz der Geschwindigkeitshöhen an der betreffenden Stelle und im Wasserspiegel, sowie ausserdem vermindert um die zwischen beiden Stellen sich ergebende Widerstandshöhe.

Vernachlässigt man die Widerstandshöhe z_y, so kann man wegen $F_0 w_0 = F_1 w_1 = \alpha F w$ auch schreiben

$$4)\qquad \frac{\mathfrak{p}}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} + y - \frac{w_0^2}{2g}\left(\frac{F_0^2}{F_1^2} - 1\right).$$

Ist also an der Stelle MN der Querschnitt $F_1 < F_0$, so ist die Differenz der Geschwindigkeitshöhen positiv, mithin die hydraulische Druckhöhe kleiner als die hydrostatische, u. zw. um so mehr, je kleiner der Querschnitt F_1 ist. Dadurch also, dass man die vorher geschlossene Öffnung frei macht, vermindert man den Druck auf die Gefässwände in allen den Querschnitten des Gefässes, die kleiner sind als der Wasserspiegel-Querschnitt, und umgekehrt. An einem Querschnitte, der mit dem Wasserspiegel-Querschnitte gleiche Grösse hat, entsteht durch Eintritt der Bewegung keine Änderung des Druckes. Sind die Querschnitte F und F_1 klein gegen F_0 und ist $p = p_0$, so kann man

$$\frac{w_1^2}{2g} - \frac{w_0^2}{2g} = \frac{w_1^2}{2g} = \frac{w^2}{2g} \cdot \frac{\alpha^2 F^2}{F_1^2} = h \frac{\alpha^2 F^2}{F_1^2}$$

setzen, und wenn man noch annimmt, dass an der Mündung keine Einschnürung vorkommt,

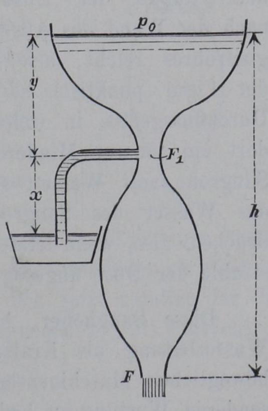
$$5) \qquad \frac{\mathfrak{p}}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} + y - h \frac{F^2}{F_1^2}.$$

Eine Verkleinerung des Querschnittes F_1 kann eine bemerkenswerthe Verminderung des hydraulischen Druckes hervorbringen. Es wird $\mathfrak{p} < p_0$, d. h. der innere Druck kleiner als der äussere Luftdruck, wenn

$$6) \qquad y < h \frac{F^2}{F_1^2} \quad \text{oder} \quad \frac{F_1}{F} < \sqrt{\frac{h}{y}}.$$

Durch eine in der Wand angebrachte Öffnung würde in diesem Falle nicht etwa Wasser herausfliessen, sondern durch den überwiegenden Druck der äusseren Atmosphäre Luft ins Innere des Gefässes hineingedrückt oder, wie man dann zu sagen pflegt, von dem strömenden Wasser angesogen werden. Der Überschuss des äusseren Druckes gegen den inneren kann durch einen etwa mit Wasser gefüllten Minderdruckmesser (s. Fig. 240, S. 217) kenntlich gemacht werden. Wenn der äussere Überdruck die Wassersäule x im Gleichgewichte hält, so ist

Fig. 287.



$$\frac{\mathfrak{p}}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} - x,$$

also nach Gl. 5:

$$-x = y - h \frac{F^2}{F_1^2} \quad \text{oder}$$

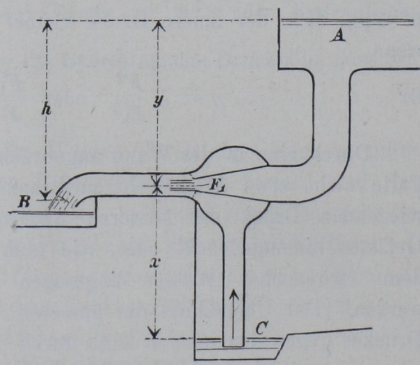
$$x + y = h \frac{F^2}{F_1^2}.$$

Ist aber $x + y < h \frac{F^2}{F_1{}^2}$ (Fig. 287), so wird der äussere Atmosphärendruck das Wasser in dem seitlichen Messrohr aufwärts und in das Gefäss drücken, oder der innere Minderdruck das Wasser aus dem kleinen Nebengefäss ansaugen und mit fortführen. Dieses Ansaugen findet statt, wenn

$$8) \qquad \frac{F_1}{F} < \sqrt{\frac{h}{x+y}} \text{ ist.}$$

Auf diesem Verhalten beruht die Wirkungsweise des **Saughebers** oder der Saugstrahlpumpe (Fig. 288). Das zum Betriebe dienende Wasser fliesst aus dem Gerinne A abwärts durch eine Röhre, welche sich zu einer engen Düse F_1 zusammenzieht. Diese wird von einem Gehäuse umschlossen, an welches sich nach unten das Saugrohr, nach links das Ausgussrohr anschliesst. Denkt man sich zunächst bei F_1 eine Wand, welche von dem Rande der Düse nach der Wand des Ausgussrohres reicht, also das Saugrohr von letzterem trennt (in der Figur punktirt), so hat man ein von A bis B reichendes Durchflussgefäss, in welchem F_1 eine enge Stelle bildet, so dass dort ein innerer Minderdruck entsteht. Denkt man sich nun das Saugrohr voll Wasser, so wird, wenn die Bedingung 8 erfüllt ist, das Wasser des Saugrohres gegen die gedachte Abschlusswand drücken, also, wenn letztere nun fortgedacht wird, von dem Wasserstrahle der Düse angesogen und nach B mitgenommen werden.

Fig. 288.



Diese Saugheber, bei denen nicht selten das Wasser einer Wasserleitung als Kraftquelle dient, haben den Vortheil, keine beweglichen Maschinentheile zu enthalten und deshalb keiner besonderen Wartung zu bedürfen.

Nach Gl. 5, S. 261 kann man durch fortgesetzte Verkleinerung des Querschnittes F_1 die hydraulische Druckhöhe selbst bis auf Null vermindern; es ist dazu erforderlich, dass

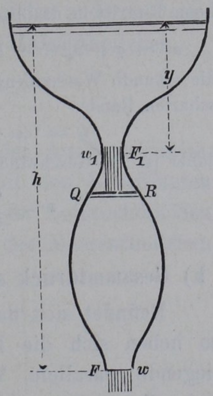
$$9)\qquad \frac{F_1}{F} = \sqrt{\frac{h}{y + \frac{p_0}{\gamma}}}$$

sei. Macht man aber F_1 noch kleiner als Gl. 9 entspricht, so würde der hydraulische Druck rechnungsmässig negativ werden. Weil aber negative Drücke in vollkommen flüssigen Körpern unmöglich sind, so hört für

$$10)\qquad \frac{F_1}{F} < \sqrt{\frac{h}{y + \frac{p_0}{\gamma}}}$$

die Gültigkeit der Gl. 5, S. 261 und damit auch die Gültigkeit der Hauptgleichung I, S. 231 für die Ausflussgeschwindigkeit, aus welcher die Gleichung für den hydraulischen Druck entstand, auf. Innerhalb desjenigen Gefässtheiles, der der Bedingung 10 entspricht, herrscht ein Druck Null; die Wassertheilchen pressen sich nicht gegen die Wandung, füllen daher das Gefäss nicht vollkommen aus, sondern fallen in dem drucklosen Raume frei herunter. An derjenigen Stelle des Gefässes, wo der Druck $\mathfrak{p}$ wieder positiv zu werden beginnt, bildet sich ein neuer Wasserspiegel QR (Fig. 289). Man sagt in solchem Falle „die Wassersäule reisst ab“. Denkt man sich das Gefäss aus einem biegsamen Stoffe, etwa Blei, so kann man durch Zusammendrücken leicht einen so kleinen Querschnitt F_1 hervorbringen, dass die Trennung stattfindet. Dadurch wird aber zugleich die Ausflussmenge vermindert. An dem engen Querschnitt F_1 ergiebt sich jetzt nämlich für die Geschwindigkeit w_1, weil bei F_1 der Gegendruck Null herrscht,

Fig. 289.



$$w_1 = \sqrt{2\,g\left(y + \frac{p_0}{\gamma}\right)};$$

sonach wird an der unteren Öffnung

$$w = w_1 \frac{F_1}{F} = \frac{F_1}{F}\sqrt{2g\left(y + \frac{p_0}{\gamma}\right)}.$$

Dieser Werth ist $\leqq \sqrt{2gh}$, wenn die Bedingung 10 erfüllt ist.

Die Hauptgleichung für die ideelle Ausflussgeschwindigkeit auf S. 231 gilt demnach nur, wenn der nach S. 260, Gl. 3 berechnete Druck $\mathfrak{p}$ an allen Stellen des Gefässes sich positiv ergiebt.

Beispiel: Schliesst sich an ein weites Gefäss von 1 m Wassertiefe scharfkantig ein lothrechtes Rohr von 12 m Länge (Fig. 290), so gilt in einer Tiefe $y > 1$ m für den hydraulischen Druck $\mathfrak{p}$ (Gl. 5) wegen $F_1 = F$:

$$\frac{\mathfrak{p}}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} + y - h,$$

$$\text{also } \mathfrak{p} \lesseqqgtr 0 \quad \text{für } y \lesseqqgtr h - \frac{p_0}{\gamma},$$

d. h. in diesem Falle ($h = 13$ m) für $y \lesseqqgtr 3$ m. Die Röhre wird daher nur auf die untere Länge $h_0 = 10$ m ausgefüllt; oben, wo das Rohr sich dem Gefäss anschliesst, reisst die Wassersäule ab; die Geschwindigkeit beim Eintritt in das Rohr wird

$$w_1 = \varphi\sqrt{2g(1 + h_0)} = 0{,}96\sqrt{2g \cdot 11} = 14{,}1;$$

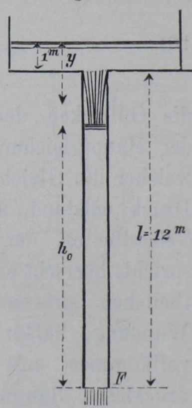
die sekundl. Wassermenge wegen der Einschnürung am scharfen Rande

$$Q = 0{,}64 \cdot 14{,}1 \cdot F = 9{,}02\,F;$$

daher ist die Geschwindigkeit am unteren Ende

$$w = \frac{Q}{F} = 9{,}02 \text{ m/s}.$$

Fig. 290.



k) Gesammtdruck ausströmenden Wassers auf die Gefässwände.

Befindet sich das Wasser in einem Gefäss in Ruhe (Fig. 291), so heben sich die Druckkräfte $\gamma F h$ auf zwei einander gegenüber liegende parallele Wandflächenstücke auf. Entfernt man plötzlich das linksseitige Flächenstück F, so wird nun die nach rechts gerichtete Kraft $\gamma F h$ nicht mehr aufgehoben, so dass das Gefäss jetzt einen überschüssigen Seitendruck nach rechts erfährt, während links das Wasser auszuströmen beginnt. Mit der Ausbildung des

Fig. 291.