

Wichtig: Dieses Dokument ist geistiges Eigentum von Florian Jacob. Die Weitergabe ist ohne seine Einwilligung streng verboten und wird als Diebstahl gewertet. Insbesondere das Ausgeben der Lösungen als die Eigenen ist Plagiat und als solches verboten.¹

Allgemeine Hinweise:

- Gegeben (Geg.) und Gesucht (Ges.) aufzuschreiben, hilft den Überblick zu bewahren
- Ansätze und Lösungen (Lsg.) geben Punkte und sollten verständlich formuliert sein
- Ansätze und Rechenwege müssen ersichtlich sein
- Lösungen sind immer auf 4 gültige Stellen zu runden und möglichst mit entsprechenden Vorsätzen (Milli-, Mikro- ...) zu schreiben, d.h.:

4,62564	→ 4,626
36,22434	→ 36,22
345,342	→ 345,3
3857,365 63 m	→ 3,857 km
$234,3 \cdot 10^{-7} \text{ m}$	→ 23,43 μm

- Antwortsätze sind nicht notwendig, wenn die Aufgabenstellung „Berechne...“ lautet. Wird gefragt mit „Welche ...“, „Wie groß ...“ oder ähnlichem, sollte ein Antwortsatz formuliert werden.
- Zu berechnende Größen, die in der Aufgabenstellung nicht eindeutig vorgegeben sind, sind in der Lösung klar zu definieren. Zum Beispiel beim Wurf der Aufschlagwinkel:

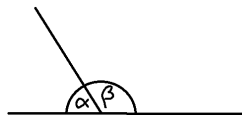


Abbildung 1: Welcher Winkel ist der angegeben?

- Hinweise auf Fehler jeder Art werden dankend entgegengenommen.

¹Die mit 2 markierten Aufgaben und Grafiken sind entnommen aus: H. STROPPE u. a.: PHYSIK – Beispiele und Aufgaben, Fachbuchverlag Leipzig, 2017.

247. U-Rohr

Ein beiderseits offenes U-Rohr mit der inneren Querschnittsfläche $A = 1 \text{ cm}^2$ wird zuerst mit Wasser (Dichte $\rho = 1,00 \text{ g/cm}^3$) und danach auf der einen Seite mit 50 cm^3 und auf der anderen mit 10 cm^3 Öl ($\rho = 0,78 \text{ g/cm}^3$) gefüllt. Welche Niveaudifferenz h stellt sich ein?^[2]

Geg.:

$$\rho_{\text{W}} = 1,00 \text{ g/cm}^3$$

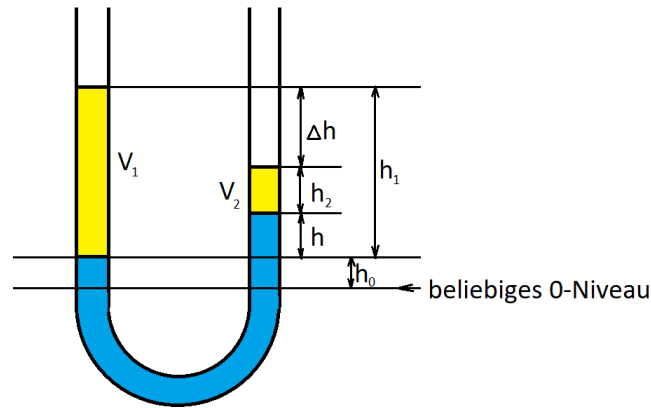


Abbildung 2: Skizze des U-Rohrs

$$\rho_{\text{Öl}} = 0,78 \text{ g/cm}^3$$

$$V_1 = 50 \text{ cm}^3$$

$$V_2 = 10 \text{ cm}^3$$

$$A = 1 \text{ cm}^2$$

Ges.: Δh

Lsg.:

Zu Beginn kann man den Druck auf beiden Seiten bezüglich eines beliebigen 0-Niveaus vergleichen. Da die beiden Seiten verbunden sind, müssen die Drücke gleich sein:

$$p_{\text{Säule1}} = p_{\text{Säule2}}. \quad (1)$$

Die einzelnen Drücke setzen sich aus den Schweredrüken der darüberliegenden Flüssigkeitssäulen zusammen sowie dem auf die Flüssigkeitssäulen wirkenden Luftdruck:

$$p_{h_0} + p_{h_1} + p_{\text{Luft}} = p_{h_0} + p_h + p_{h_2} + p_{\Delta h} + p_{\text{Luft}}. \quad (2)$$

Nun können viele Drücke entfallen und es fällt auf, dass die Druckdifferenz nicht von der Wahl des 0-Niveaus abhängig ist, solange man es unter der hohen Ölsäule V_2 wählt. Man sollte sich merken, dass das bei den meisten Aufgaben zum statischen Druck so möglich ist. Zudem lässt sich der Luftdruck p_{Luft} auf beiden Seiten subtrahieren. Damit ergibt sich:

$$p_{h_1} = p_h + p_{h_2} + p_{\Delta h}. \quad (3)$$

Der Schweredruck lässt sich darstellen als:

$$p_s = \rho g h. \quad (4)$$

Setzt man nun ein ergibt sich:

$$\rho_{\text{Öl}} g h_1 = \rho_{\text{W}} g h + \rho_{\text{Öl}} g h_2 + \rho_{\text{Luft}} g \Delta h. \quad (5)$$

Da $\rho_{\text{Luft}} \ll \rho_{\text{W}}$ ist, kann die Luftsäule annähernd vernachlässigt werden.

$$\rho_{\text{Öl}}gh_1 = \rho_{\text{W}}gh + \rho_{\text{Öl}}gh_2 \quad (6)$$

Nun ist alles bis auf die Größe h gegeben, nach der nun umgestellt werden kann.

$$\rho_{\text{Öl}}gh_1 - \rho_{\text{Öl}}gh_2 = \rho_{\text{W}}gh \quad (7)$$

$$\rho_{\text{Öl}}(h_1 - h_2) = \rho_{\text{W}}h \quad (8)$$

$$h = \frac{\rho_{\text{Öl}}}{\rho_{\text{W}}}(h_1 - h_2) \quad (9)$$

Das Volumen eines prismatischen Körpers, z.B. eines Zylinders beträgt:

$$V = Ah \quad (10)$$

$$h = \frac{V}{A}. \quad (11)$$

Nun kann man die Höhen ersetzen:

$$h = \frac{\rho_{\text{Öl}}(V_1 - V_2)}{\rho_{\text{W}}A} \quad (12)$$

$$h = \frac{0,78 \text{ g/cm}^3 \cdot (50 \text{ cm} - 10 \text{ cm})}{1 \text{ g/cm}^3 \cdot 1 \text{ cm}^3} = 31,2 \text{ cm}. \quad (13)$$

Betrachtet man wieder die Anfangsskizze, kann man erkennen, wie sich nun Δh ergibt:

$$\Delta h + h_2 + h = h_1 \quad (14)$$

$$\Delta h = h_1 - h_2 - h \quad (15)$$

$$\Delta h = 50 \text{ cm} - 10 \text{ cm} - 31,2 \text{ cm} \quad (16)$$

$$\underline{\Delta h = 8,8 \text{ cm}.} \quad (17)$$

Damit ist die Aufgabe gelöst. Die Höhendifferenz beträgt 8,8 cm.

286. Durchströmtes Rohr

Durch ein Rohr, bestehend aus zwei Teilstücken mit unterschiedlichem Querschnitt, die sich in verschiedenen Höhenlagen befinden, fließt Wasser (Dichte $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$). Teilstück 1 hat den Durchmesser $D_1 = 9 \text{ cm}$, und der (statische) Druck in ihm beträgt $p_1 = 250 \text{ kPa}$. Im Teilstück 2 mit dem Durchmesser $D_2 = 20 \text{ cm}$, welches $\Delta h = 15 \text{ m}$ höher liegt, soll der Druck $p_2 = 110 \text{ kPa}$ betragen. a) Wie groß sind die Strömungsgeschwindigkeiten v_1 und v_2 in den beiden Teilstücken? b) Wie groß sind Volumenstrom $\dot{V} (= I_V)$ und Gesamtdruck p_{ges} im Rohr? [2]

Geg.:

$$\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$$

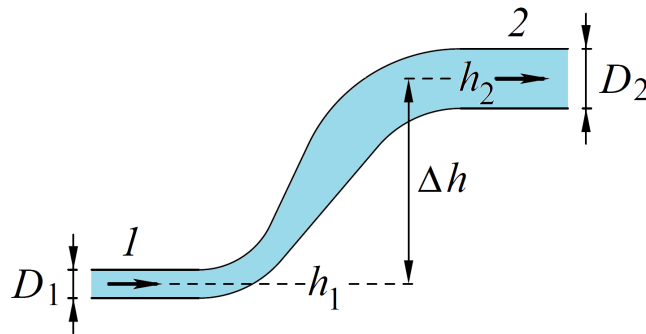


Abbildung 3: Skizze des durchströmten Rohrs^[2]

$$D_1 = 9 \text{ cm}$$

$$p_1 = 250 \text{ kPa}$$

$$D_2 = 20 \text{ cm}$$

$$p_2 = 110 \text{ kPa}$$

$$\Delta h = 15 \text{ m}$$

Ges.: v_1 , v_2 , $\dot{V}$, p_{ges}

Lsg.: Da es keine weiteren Angaben zur Länge des Rohrs gibt, kann man mit einem idealen Fluid rechnen. Dafür gilt die Gleichung des **Totaldrucks** oder auch **Bernoulli-Gleichung** genannt:

$$p_t = p_{\text{stat}} + p_{\text{dyn}} + p_{\text{schwer}} = \text{const.} \quad (18)$$

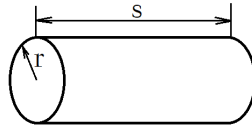
$$p_t = p_{\text{stat}} + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{const.} \quad (19)$$

Da der Totaldruck im ganzen Rohr konstant sein muss, gilt an zwei verschiedenen Stellen in der Strömung also:

$$p_t = p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2. \quad (20)$$

Damit hat man eine Gleichung, die jedoch noch zwei Unbekannte (v_1 und v_2) enthält. Also muss eine weitere Gleichung gefunden werden. Da der Durchmesser der beiden Rohre noch nicht verwendet wurde, ist es wahrscheinlich, dass diese benötigt werden. Da man von einem idealen Fluid ausgeht, bietet sich der Volumenstrom an, da dieser in beiden Rohrteilstücken gleich sein muss:

$$\dot{V} = \dot{V}_1 = \dot{V}_2. \quad (21)$$



$$V = \pi r^2 s. \quad (22)$$

Abbildung 4: Skizze Rohr

Für das Volumen einer zylinderförmigen Flüssigkeitssäule gilt:

Um nun den Volumenstrom zu erhalten, muss die Gleichung nach der Zeit abgeleitet werden.

$$\dot{V} = \frac{dV}{dt} = \frac{d(\pi r^2 s)}{dt}. \quad (23)$$

Es gilt die Produktregel:

$$\dot{V} = \pi \cdot \left(\frac{d(r^2)}{dt} \cdot s + \frac{ds}{dt} \cdot r^2 \right). \quad (24)$$

Da uns der Volumenstrom nur an einer Stelle und nicht im Verlauf interessiert, ist die Änderung des Radius mit der Zeit 0. Die Änderung der Länge des Körpers mit der Zeit entspricht der Strömungsgeschwindigkeit:

$$\dot{V} = \pi \cdot \left(\cancel{\frac{d(r^2)}{dt}} \cdot h + v \cdot r^2 \right). \quad (25)$$

$$\dot{V} = v \pi r^2. \quad (26)$$

Damit ergibt sich für das Verhältnis unserer Strömungsgeschwindigkeiten:

$$v_1 \pi r_1^2 = v_2 \pi r_2^2. \quad (27)$$

Nun können wir nach einer Strömungsgeschwindigkeit umstellen und diese in Gleichung (20) einsetzen.

$$v_1 = \frac{r_2^2}{r_1^2} \cdot v_2 \quad (28)$$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho \left(\frac{r_2^2}{r_1^2} \cdot v_2 \right)^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (29)$$

Anschließend versucht man alle Terme, die v_2 enthalten, auf eine Seite zu bringen ...

$$\frac{1}{2} \rho \left(\frac{r_2^2}{r_1^2} \cdot v_2 \right)^2 - \frac{1}{2} \rho v_2^2 = p_2 - p_1 + \rho g h_2 - \rho g h_1 \quad (30)$$

... um v_2 ausklammern zu können:

$$\frac{1}{2} \rho v_2^2 \cdot \left(\left(\frac{r_2^2}{r_1^2} \right)^2 - 1 \right) = p_2 - p_1 + \rho g (h_2 - h_1) \quad (31)$$

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot \frac{p_2 - p_1 + \rho g \Delta h}{\rho \cdot \left(\frac{r_2^4}{r_1^4} - 1 \right)}} \quad (32)$$

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot \frac{110 \text{ kPa} - 250 \text{ kPa} + 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 15 \text{ m}}{10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot \left(\frac{(10 \text{ cm})^4}{(4,5 \text{ cm})^4} - 1 \right)}}. \quad (33)$$

Nun sollte man versuchen die Einheiten, soweit nötig in SI-Einheiten umzuformen, um ein Ergebnis in SI-Einheiten zu erhalten. Wenn sich Einheiten einfach kürzen lassen, sollte man das auch machen, um unnötigen Aufwand zu sparen:

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot \frac{110 \cdot 10^3 \text{ Pa} - 250 \cdot 10^3 \text{ Pa} + 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 15 \text{ m}}{10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot \left(\left(\frac{10}{4,5} \right)^4 - 1 \right)}} \quad (34)$$

$$\underline{v_2 = 0,7820 \text{ m/s.}} \quad (35)$$

Das Umwandeln der Einheit ist hier nicht unbedingt nötig. Man kann jedoch auf 10-er Potenzen zurückgreifen, wenn man das möchte. Zu beachten ist, dass auch die letzte 0 mitgeschrieben wird, denn auch wenn sie keinen Einfluss auf das Ergebnis hat, so zeigt sie die Genauigkeit des Ergebnisses an.

Zur Bestimmung von v_1 könnte man die gesamte Gleichung ein weiteres Mal umstellen, doch das kostet viel zu viel Zeit. Effizienter ist es Gleichung (28) zu verwenden. Allgemein sollte man sich merken, dass man bei dem Weg bis zum Ergebnis meist andere Größen umgestellt und eingesetzt hat. Für die Berechnung der eingesetzten Größen, reichen dann meist die dafür verwendeten Formeln. Man geht seine Rechnung also „rückwärts“ durch und kann so Stück für Stück alle noch fehlenden Größen bestimmen.

$$v_1 = \frac{r_2^2}{r_1^2} \cdot v_2 \quad (36)$$

$$v_1 = \frac{(10 \text{ cm})^2}{(4,5 \text{ cm})^2} \cdot 0,7820 \text{ m/s} \quad (37)$$

$$\underline{v_1 = 3,862 \text{ m/s.}} \quad (38)$$

Auch der Volumenstrom (26) und der Gesamtdruck (20) sind so schnell bestimmt. Da die beiden Volumenströme gleich sind, ist es egal, ob man v_1 und r_1 oder v_2 und r_2 einsetzt:

$$\dot{V} = \pi \cdot 0,7820 \text{ m/s} \cdot (10 \text{ cm})^2. \quad (39)$$

Da sich hier die Einheit nicht kürzen, müssen sie erst in SI-Einheiten umgewandelt werden:

$$\dot{V} = \pi \cdot 0,7820 \text{ m/s} \cdot (0,1 \text{ m})^2 \quad (40)$$

$$\underline{\dot{V} = 0,02453 \text{ m}^3/\text{s.}} \quad (41)$$

Hier sollte man die Einheit noch Umformen in:

$$\underline{\dot{V} = 24,531/\text{s.}} \quad (42)$$

Zu guter Letzt noch der Totaldruck nach (20):

$$p_t = p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1. \quad (43)$$

Nun ist der Totaldruck nicht ganz eindeutig, denn es gibt kein eindeutiges Nullniveau. Legt man jedoch das Nullniveau in h_1 ergibt sich:

$$p_t = 250 \cdot 10^3 \text{ Pa} + \frac{1}{2} \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot (3,862 \text{ m/s})^2 + 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot g \cdot 0. \quad (44)$$

$$p_t = 257,5 \cdot 10^3 \text{ Pa} \quad (45)$$

$$\underline{p_t = 257,5 \text{ kPa.}} \quad (46)$$

Damit ist die Aufgabe so gut wie gelöst. Man sollte jedoch nicht die entsprechenden Antwortsätze vergessen.

Die Strömungsgeschwindigkeit im ersten Rohrabschnitt beträgt $v_1 = 3,862 \text{ m/s}$ und im zweiten $v_2 = 0,7820 \text{ m/s}$. Der Volumenstrom im Rohr ist $24,51/\text{s}$ und der Gesamtdruck $257,5 \text{ kPa}$.

294. Verjüngtes Rohr

Ein waagrechtes Rohr, das sich auf ein Drittel seines Durchmessers verjüngt, wird von Wasser ($\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$) durchströmt. In den beiden unterschiedlich dicken Teilen des Rohres besteht eine (statische) Druckdifferenz von 6,4 kPa.

a) Wie groß sind die Strömungsgeschwindigkeiten in beiden Querschnitten?

b) Wie groß ist der Massenstrom $\dot{m}$ für $d_1 = 12 \text{ cm}$ (Durchmesser des weiten Rohrteils)? [2]

geg.:

$$\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$$

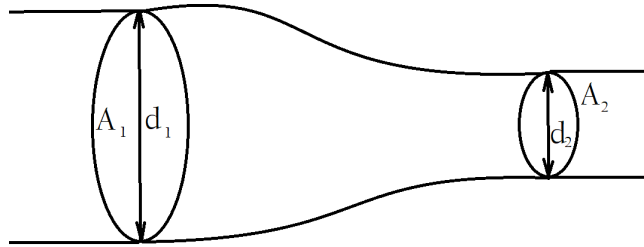


Abbildung 5: Skizze des Rohrs

$$\Delta p = p_2 - p_1 = 6,4 \text{ kPa}$$

$$\text{allg.: } d_1 = 3 \cdot d_2$$

$$\text{bei b): } d_1 = 12 \text{ cm}$$

ges.: v_1 , v_2 , $\dot{m}$

Lsg.: Wieder einmal lässt sich die **Bernoulli-Gleichung** anwenden

$$p_t = p_{\text{Stat}} + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{const.} \quad (47)$$

und umstellen

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 \quad (48)$$

$$p_1 - p_2 + \rho gh_1 - \rho gh_2 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 - \frac{1}{2}\rho v_1^2 \quad (49)$$

Unter Verwendung von Gleichung (28) (muss wieder hergeleitet werden, wenn sie nicht vorher schon verwendet wurde), ergibt sich:

$$p_1 - p_2 + \rho g(h_1 - h_2) = \frac{1}{2}\rho \left(v_2^2 - \left(\frac{r_2^2}{r_1^2} \cdot v_2 \right)^2 \right). \quad (50)$$

Da der Mittelpunkt der Rohre auf einer Höhe liegt, ist die Differenz der beiden Höhen Null:

$$p_1 - p_2 + \rho g(\overbrace{h_1 - h_2}^0) = \frac{1}{2}\rho \left(v_2^2 - \left(\frac{r_2^2}{r_1^2} \cdot v_2 \right)^2 \right) \quad (51)$$

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 \left(1 - \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^4 \right) \quad (52)$$

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 \left(1 - \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^4 \right) \quad (53)$$

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot \left(\left(\frac{r_2}{r_1} \right)^4 - 1 \right)}} \quad (54)$$

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta p}{\rho \cdot \left(\left(\frac{r_2}{r_1} \right)^4 - 1 \right)}} \quad (55)$$

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot \frac{-6,4 \text{ kPa}}{10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot \left(\left(\frac{\frac{d_2}{2}}{\frac{3 \cdot d_2}{2}} \right)^4 - 1 \right)}} \quad (56)$$

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot \frac{-6,4 \cdot 10^3 \text{ Pa}}{10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot \left(\left(\frac{1}{3} \right)^4 - 1 \right)}} \quad (57)$$

$$v_2 = 3,6 \text{ m/s.} \quad (58)$$

Und mit Gleichung (26):

$$v_1 = 0,4 \text{ m/s.} \quad (59)$$

Die Stömungsgeschwindigkeit im ersten Querschnitt beträgt 0,4 m/s und im Zweiten 3,6 m/s. Nun muss noch der Massenstrom bestimmt werden. Die Gleichung der Dichte sollte dabei jedem bekannt sein. Hilfreich bei einfachen Gleichungen ist es die Einheiten zu betrachten ($[1 \text{ kg/m}^3] \rightarrow \text{Masse pro Volumen}$):

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (60)$$

Diese kann man nach der Masse umstellen:

$$m = \rho V. \quad (61)$$

Der Massenstrom $\dot{m}$ (auch I_m) ist die Änderung der Masse pro Zeit, wir müssen also nun nach der Zeit ableiten:

$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} = \frac{d(\rho V)}{dt}. \quad (62)$$

Es gilt wieder die Produktregel:

$$\dot{m} = \frac{d\rho}{dt} \cdot V + \frac{dV}{dt} \cdot \rho. \quad (63)$$

Da sich die Dichte nicht mit der Zeit ändert, entfällt dessen Ableitung. Die Ableitung des Volumens nach der Zeit haben wir bereits als Volumenstrom kennengelernt.

$$\dot{m} = \cancel{\frac{d\rho}{dt}}^0 \cdot V + \dot{V} \cdot \rho. \quad (64)$$

Nun kann der Volumenstrom (26) ersetzt werden:

$$\dot{m} = \pi v r^2 \cdot \rho. \quad (65)$$

Wiedereinmal ist es egal, ob man den Volumenstrom vor oder nach der Verjüngung verwendet, da diese bekanntermaßen gleich sind:

$$\dot{m} = \pi \cdot 0,4 \text{ m/s} \cdot 6 \text{ cm}^2 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3. \quad (66)$$

Man sollte auch hier nicht vergessen, in Grundeinheiten umzustellen:

$$\dot{m} = \pi \cdot 0,4 \text{ m/s} \cdot 0,06 \text{ m}^2 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \quad (67)$$

$$\dot{m} = 4,524 \text{ kg/s}. \quad (68)$$

Der Massenstrom beträgt 4,524 kg/s.

295. Wasserstrahlpumpe

Bis zu welchem Druck p_2 kann der an den Ansaugstutzen (A) einer Wasserstrahlpumpe angeschlossene Rezipient evakuiert werden, wenn der bei 1 in das Strahlrohr vom Durchmesser 13 mm mit Leitungsdruck $p_1 = 320 \text{ kPa}$ eintretende Wasserstrahl an der Düse 2 auf den Durchmesser 5 mm verengt wird, bevor er zusammen mit den aus dem Rezipienten angesaugten Luftmolekülen durch das dahinter liegende Auffangrohr wieder austritt? Der Volumenstrom des Wassers (Dichte $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$) beträgt $\dot{V} = 0,5 \text{ l/s}$. [2]

geg.: $p_1 = 320 \text{ kPa}$

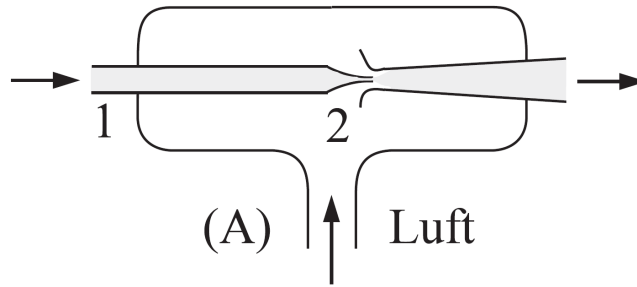


Abbildung 6: Skizze der Wasserstrahlpumpe [2]

$d_1 = 13 \text{ mm}$
 $d_2 = 5 \text{ mm}$
 $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$
 $\dot{V} = 0,5 \text{ l/s}$

ges.: p_2

Lsg.:

Das Vorgehen ist wieder exakt das selbe wie davor. Zuerst verwenden wir die **Bernoulli-Gleichung** und setzen anschließend wieder den Volumenstrom ein. Diese Schritte sollen hier übersprungen werden, und es wird gleich die bereits hergeleitete Gleichung 52 verwendet werden:

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 \left(1 - \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^4 \right) \quad (69)$$

$$p_2 = p_1 - \frac{1}{2} \rho v_2^2 \left(1 - \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^4 \right). \quad (70)$$

Unter Verwendung des Volumenstroms:

$$p_2 = p_1 - \frac{1}{2} \rho \left(\frac{\dot{V}}{\pi r_2^2} \right)^2 \left(1 - \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^4 \right). \quad (71)$$

Einsetzen und Ausrechnen:

$$p_2 = 320 \text{ kPa} - \frac{1}{2} \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot \left(\frac{0,5 \text{ l/s}}{\pi \cdot (2,5 \text{ mm})^2} \right)^2 \left(1 - \left(\frac{2,5 \text{ mm}}{6,5 \text{ mm}} \right)^4 \right) \quad (72)$$

$$p_2 = 320 \cdot 10^3 \text{ Pa} - \frac{1}{2} \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot (2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2} \right)^2 \left(1 - \left(\frac{2,5}{6,5} \right)^4 \right) \quad (73)$$

$$p_2 = 2,867 \text{ kPa.} \tag{74}$$

Der Ansaugstutzen A kann bis zu einem Druck von 2,867 kPa evakuiert werden.