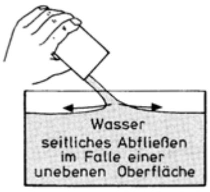
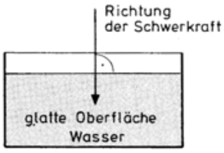
Uwe Rath
Eckleinjarten 13a . 27580 Bremerhaven
☏ 0471 34126 ✉ rath-u@t-online.de

8. Ruhende Flüssigkeiten

Eine **Flüssigkeit** ist Materie im *flüssigen Aggregatzustand*, nach einer makroskopischen Definition ein Stoff, welcher einer Formänderung so gut wie keinen, einer Volumenänderung hingegen einen recht großen Widerstand entgegensetzt (der Stoff ist nahezu inkompressibel), nach einer mikroskopischen Definition ein Stoff, dessen Teilchen sich ständig nichtperiodisch bewegen sowie keinerlei Fernordnung, jedoch sehr wohl einer Nahordnung unterliegen und deren mittlere freie Weglänge in der Größenordnung des Teilchendurchmessers liegt. Flüssigkeiten sind also volumenbeständig, formunbeständig, unterliegen einer ständigen Brownschen Bewegung. Der flüssige Zustand ist nicht allein stoffspezifisch, sondern hängt auch von äußeren Faktoren wie der Temperatur und dem Druck ab. Wechselt eine solche Flüssigkeit ihren Aggregatzustand, so spricht man von einer Phasenumwandlung, wobei der Begriff der Phase selbst einen Überbegriff zum Aggregatzustand darstellt.





Infolge der gegenseitigen Verschiebbarkeit der Moleküle nehmen Flüssigkeiten die Form des Gefäßes an. Aus dem gleichen Grund stellt sich die Oberfläche einer Flüssigkeit stets senkrecht zur wirkenden Kraft ein, wobei diese Kraft immer in Richtung der Schwerkraft gerichtet ist.

> In verbundenen Gefäßen (kommunizierende Röhren) steht eine Flüssigkeit überall gleich hoch.

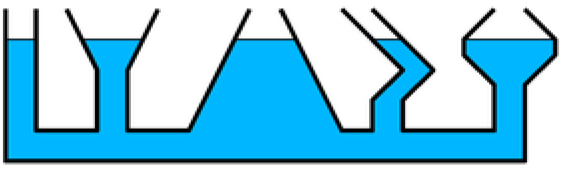


Bild:
In allen Röhren herrscht derselbe Wasserstand, obwohl sich die Wassermengen stark unterscheiden.

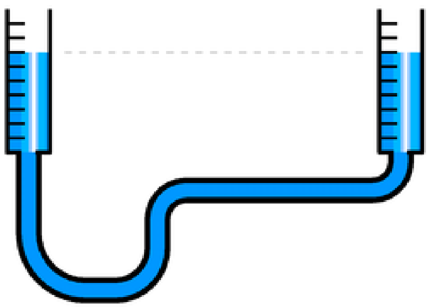
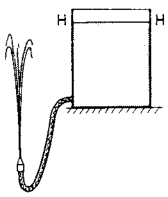
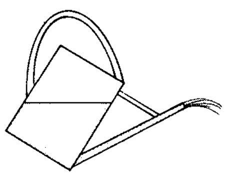


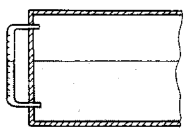
Bild:
Eine **Schlauchwaage** ist ein Messgerät, bei dem man sich die physikalischen Eigenschaften der kommunizierenden Röhren zunutze macht. Gleiche Horizonte können über nahezu beliebig große Entfernungen (abhängig nur von der Länge des Schlauches) übertragen werden



Springbrunnen



Gießkanne



Wasserstandsanzeiger

Uwe Rath
Eckleinjarten 13a . 27580 Bremerhaven
☏ 0471 34126 ✉ rath-u@t-online.de

Der Bodendruck

Der (Boden-) Druck in einem Gefäß hängt nicht von der Gefäßform, sondern nur von der Flüssigkeitshöhe ab.

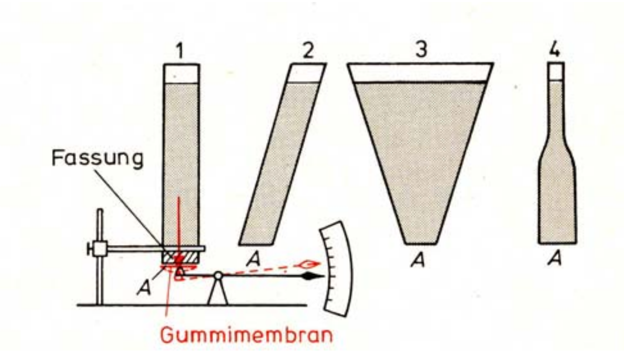
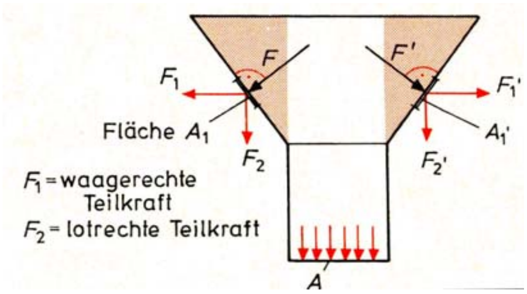


Bild:
In allen Gefäßen herrscht in derselben Höhe unabhängig von der Gefäßform derselbe Druck:

Diese zunächst unverständliche Erscheinung wird als **hydrostatisches Paradoxon**[1] bezeichnet.

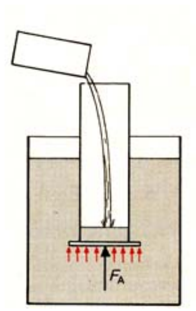
Erklärung in einem einfachen Beispiel: Die Druckkräfte F und F' auf die schrägen Flächen A_1 und A_1' können zerlegt werden. F_1 und F_1' beanspruchen das Gefäß in der Waagerechten. Die lotrechten Anteile F_2 und F_2' wirken schon bei der schrägen Wandung auf das Gefäß. Also wirkt auf A nur die Druckkraft, die von der schrägen Wandung nicht aufgenommen wird.



Der Aufdruck

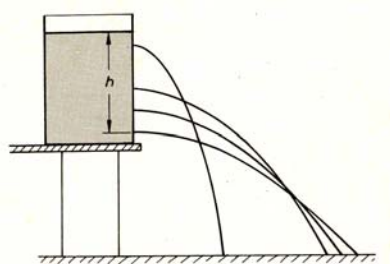
Der allseitig wirkende Flüssigkeitsdruck kann auch eine nach oben gerichtete Kraft hervorrufen. Wird ein beiderseits offener Standzylinder mit einer Abdeckplatte am unteren Ende ins Wasser eingetaucht, so drückt die Flüssigkeit die Platte an.

Die Platte fällt ab, wenn durch Eingießen von Wasser in den Zylinder Bodenkraft F_B und Aufwärtskraft F_A nahezu gleich groß geworden sind.



Der Seitendruck

Größerer Druck bedeutet größere Ausflussgeschwindigkeit und damit auch größere Reichweite des Wasserstrahls.



[1] griech. paradox = widersinnig; der allgemein üblichen Meinung entgegenstehend

Uwe Rath
Eckleinjarten 13a . 27580 Bremerhaven
☎ 0471 34126 ✉ rath-u@t-online.de

Unter dem Druck versteht man das Verhältnis einer senkrecht auf eine Fläche wirkenden Kraft (Normakraft) zur Größe dieser Fläche.

$$Druck = \frac{Normalkraft}{Fläche}$$

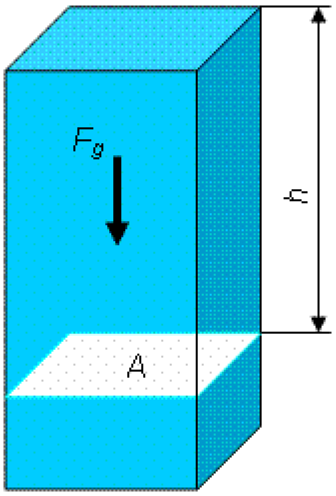
$$p = \frac{F_N}{A}$$

$$SI-Einheit\ \ [p] = \frac{[F]}{[A]} = \frac{N}{m^2} = Pa$$

Pa ist die Abkürzung für Pascal[2].

Umrechnung: 1 bar[3] = 760 Torr = 10^5 Pa = 100 kPa = 1 000 hPa[4]
1 bar = 10 N/cm²

8.1.2 Der Schweredruck



Jede Flüssigkeit erfährt infolge ihrer eigenen Gewichtskraft einen Druck. In der nebenstehenden Abbildung betrachten wir die über der Schnittfläche A liegende Säule der Höhe h:

$$\begin{aligned} p &= \frac{F_g}{A} \\ &= \frac{m \cdot g}{A} \\ &= \frac{V \cdot \rho \cdot g}{A} \\ &= \frac{A \cdot h \cdot \rho \cdot g}{A} \\ &= h \cdot \rho \cdot g \end{aligned}$$

Der Druck nimmt mit wachsender Wassertiefe gleichmäßig zu, u.zw. je 10 m Tiefe (Süßwasser) um 98100 Pa ·≈ 1 bar.

Beachte:

- Die Dichte ρ ist temperaturabhängig.
- Die Einheit der Dichte wird sinnvoll mit kg/m³ eingesetzt.
- Boden-, Seiten- und Aufdruck sind in der gleichen Tiefe ebenso groß wie der Schweredruck.

---

[2] **Blaise Pascal** (* 19. Juni 1623 in Clermont-Ferrand; † 19. August 1662 in Paris) war ein französischer Mathematiker, Physiker, Literat und Philosoph.
[3] Das **Bar** ist in der Physik und Technik eine zulässige (SI-konforme) Einheit für den Druck. Der Name stammt von dem griechischen Wort *báros* Gewicht, Druck« b.
[4] Vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Bar_(Einheit)

Uwe Rath
Eckleinjarten 13a . 27580 Bremerhaven
☎ 0471 34126 ✉ rath-u@t-online.de

Beispiel

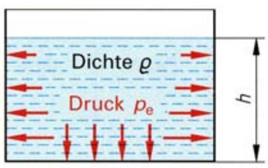
Auf der Decke eines Wasserbehälters – Innenmaße 4,8 m lang, 2.2 m breit und 0,9 m hoch – ist ein Überlaufrohr von 100 mm Innendurchmesser und 7,0 m Höhe (bezogen auf Unterkante Decke des Wasserbehälters) angeordnet.

Berechnen Sie

1. das Gewicht des Wassers (Dichte = 1)
2. den Druck auf die Bodenfläche des Behälters.
3. Die Druckkraft auf den Behälter.

Im Tabellenbuch finden wir:

Hydrostatischer Druck



p_e hydrostatischer Druck
ϱ Dichte der Flüssigkeit
h Flüssigkeitstiefe
g Fallbeschleunigung

Beispiel:
Welcher Druck herrscht in 10 m Wassertiefe?

$$p_e = g \cdot \varrho \cdot h = 9{,}81\ \frac{m}{s^2} \cdot 1000\ \frac{kg}{m^3} \cdot 10\ m$$

$$= 98\ 100\ \frac{kg}{m \cdot s^2} = 98\ 100\ Pa \approx \mathbf{1\ bar}$$

Hydrostatischer Druck

$$\boxed{p_e = g \cdot \varrho \cdot h}$$

1 bar ≈ 10 m Wassersäule

$g = 9{,}81\ \frac{m}{s^2} \approx 10\ \frac{m}{s^2}$

Dichtewerte Seite 112

Löser

1. **Gewicht des Wassers**

$$
\begin{aligned}
F_g &= m \cdot \rho \\
&= V \cdot \rho \cdot g \\
&= \left(V_{Quader} + V_{Hohlylinder}\right) \cdot \rho \cdot g \\
&= \left(a \cdot b \cdot c + d^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot h\right) \cdot \rho \cdot g \\
&= \left(48dm \cdot 22dm \cdot 9dm + 1dm \cdot 1dm \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 70dm\right) \cdot 1\frac{kg}{dm^3} \cdot 9{,}81\frac{m}{s^2} \\
&= \left(9504dm^3 + 54{,}9778...dm^3\right) \cdot 1\frac{kg}{dm^3} \cdot 9{,}81\frac{m}{s^2} \\
&= 9558{,}9778...dm^3 \cdot 1\frac{kg}{dm^3} \cdot 9{,}81\frac{m}{s^2} \\
&= 93773{,}5729..\frac{kgm}{s^2} \\
&\approx \underline{\underline{93773{,}6N}}
\end{aligned}
$$

Uwe Rath
Eckleinjarten 13a . 27580 Bremerhaven
☏ 0471 34126 ✉ rath-u@t-online.de

2. Bodendruck des Wassers

$$p = h \cdot \rho \cdot g = \left(h_{Quader} + h_{Hohlzylinder}\right) \cdot \rho \cdot g$$

$$= \left(0{,}9m + 7m\right) \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2} = 7{,}9m \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2} = 77499 \frac{N}{m^2}$$

$$\underline{\underline{= 77499 Pa}}$$

3. Druckkraft auf den Boden des Behälters

$$\begin{aligned} F_{Boden\_Quader} &= A_{Boden\_Quader} \cdot p \\ &= a \cdot b \cdot p \\ &= 4{,}8m \cdot 2{,}2m \cdot 77499 \frac{N}{m^2} \\ &= 818389{,}44 N \\ &\underline{\underline{\approx 818{,}4 kN}} \end{aligned}$$

Uwe Rath
Eckleinjarten 13a . 27580 Bremerhaven
☎ 0471 34126 ✉ rath-u@t-online.de

Welcher (mittlere) Druck wirkt auf eine rechteckigen Klappe – 600 mm hoch, 400 mm breit – im wasserdichten Schott bei vollgelaufenem Raum, wenn die Oberkante 9,80 m unter dem Schottendeck liegt? (Seewasser Dichte = 1,025)

Die Doppelbodendecke liegt bei beschädigtem Boden 8,7 m unter WL. Wie groß ist

1. der Druck und
2. die wirkende Kraft

auf einen Mannlochdeckel 600/400 ? (Seewasser Dichte = 1,025)

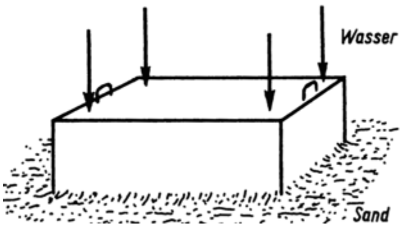
Uwe Rath
Eckleinjarten 13a . 27580 Bremerhaven
☏ 0471 34126 ✉ rath-u@t-online.de

Eine Tankdecke ist auf 1,5 (1,85) atü zu prüfen. Wie hoch ist ein aufgeschraubtes Rohr zu füllen (Wasser Dichte = 1)?

Eine Fundamentplatte soll StB 110 mm höher als BB liegen. Beim Ausvisieren zeigt die Schlauchwaage BB 142 mm, StB 380 mm an.

Welches Lager ist zu senken? Um wie viel mm?

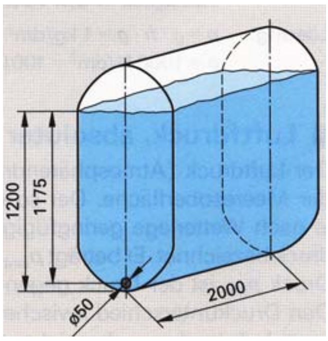
Ein Betonquader von 3 m Länge, 2 m Breite, 1 m Höhe (Dichte = 2,4 t/m³) liegt in 11 m Wassertiefe auf glattem festen Sandgrund. Welche Zugkraft muss ein Kran aufwenden, um ihn vom Grunde abzuheben und wie viel, um ihn im Wasser schwebend zu halten?



Uwe Rath
Eckleinjarten 13a . 27580 Bremerhaven
☎ 0471 34126 ✉ rath-u@t-online.de

Welcher Bodendruck in Pa und bar herrscht in dem Ölbehälter ($\rho_{Öl}$ = 0,9 kg/dm³)?

Welche Kraft wirkt auf den am Boden des Behälters angebrachten Verschluss des Auslassflansches mit *d* = 50 mm?



Eine Tauchglocke befindet sich 22 Meter unter der Wasseroberfläche auf dem Meeresgrund.

a) Der Druck *p* des Wassers in bar und Pa in dieser Tiefe ist zu berechnen, wenn das Wasser eine Dichte von 1,13 kg/dm³ hat.

b) In welcher Tiefe würde der gleiche Druck *p* herrschen bei Wasser mit der Dichte 1,0 kg/dm³?