

## Aufbau der Materie und Aggregatzustände

### Feststoffe

In Feststoffen sind die Teilchen aufgrund der relativ grossen Bindungskräfte an einen bestimmten Ort gebunden. Hierdurch behält der Festkörper seine Form stabil bei. Würde man die einzelnen Teilchen zum Beispiel in Gedanken nummerieren, so wäre die Nummerierung auch nach einiger Zeit noch dieselbe, da die Teilchen sich nicht frei bewegen können.

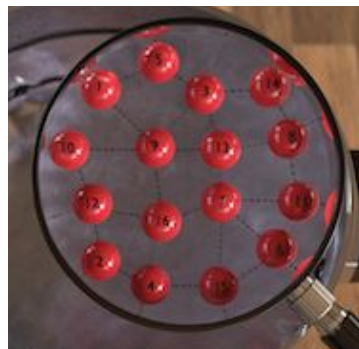


(c) <https://www.tec-science.com/>

Modell eines Festkörpers

### Flüssigkeiten

In Flüssigkeiten wirken im Vergleich zu Feststoffen geringere Bindungskräfte, sodass die Teilchen nicht mehr an einen festen Platz gebunden sind. Die Teilchen können sich innerhalb der relativ schwach wirkenden Bindungskräfte frei bewegen und ihren Ort wechseln. Würde man die Teilchen in Gedanken nummerieren, so wäre bereits nach kurzer Zeit diese Nummerierung durcheinander. Der Stoff kann durch die geringen Bindungskräfte zwar noch zusammengehalten werden, besitzt aber aufgrund der sich frei bewegenden Teilchen keine feste Form. Eine Flüssigkeiten passt sich jeder Gefässform an.



(c) <https://www.tec-science.com/>

Modell einer Flüssigkeit

### Gase

In Gasen sind die Bindungskräfte nochmals deutlich geringer als in Flüssigkeiten. Die einzelnen Teilchen verspüren untereinander also fast keine Bindungskräfte mehr. Sie können sich deshalb, anders als in Flüssigkeiten, relativ frei im Raum verteilen. Dies ist auch der Grund weshalb sich ein Gas den ganzen angebotenen Raum einnimmt.


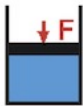
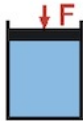





(c) <https://www.tec-science.com/>

Modell eines Gases

## Teilchenmodell

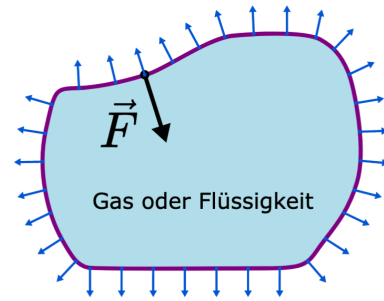
Ein Stoff besteht aus kleinsten Teilchen. Das Zusammenspiel der Teilchen bestimmt die Eigenschaften. Vervollständigen Sie die folgende Tabelle mit Hilfe des Textes.

	Festkörper	Flüssigkeit	Gas
Form			
Volumen	 <p>Körper behält bei nicht zu grosser Kraft Volumen bei</p>	 <p>Körper behält Volumen bei (Inkompressibilität)</p>	 <p>Volumen verändert sich (Gase sind kompressibel)</p>
Kräfte zwischen Teilchen			
Teilchenanordnung	 <p>geringer Teilchenabstand; die ortsfesten Teilchen schwingen um die Ruhelage</p>	 <p>geringer Teilchenabstand; die Teilchen sind gegeneinander verschiebbar</p>	 <p>relativ grosser Teilchenabstand; die Teilchen bewegen sich völlig frei und regellos im Raum</p>

## Der Druck: Definition und Einheiten

Wenn man mit dem Finger auf einen mit Luft oder Wasser gefüllten Ballon drückt, dann kann man dies überall an den Wänden, aber auch im Inneren des Ballons nachweisen. Man sagt: “es herrscht Druck in der Flüssigkeit bzw. im Gas”.

Anders als die Kraft, die von aussen wirkt, hat der Druck keine bestimmte Richtung – er wirkt nach allen Seiten.



(c) <https://www.leifiphysik.de>

Messen können wir den Druck, indem wir feststellen, wie viel Kraft die Flüssigkeit/das Gas auf eine bestimmte Fläche ausübt.

Anders gesagt: Das Verhältnis aus Kraft und gedrückter Fläche ist an jeder Stelle gleich gross (*die Gravitationskraft wird vernachlässigt*). Dieses Verhältnis nennen wir den Druck in der Flüssigkeit/im Gas.

### Der Druck

Festlegung: Die Grösse des Drucks kann man messen, indem bestimmt wird, wie viel Kraft auf eine bestimmte Fläche wirkt. Dann gilt

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

$p$  : Druck

$F$  : Betrag der Kraft in N (senkrecht zur Fläche)

$A$ : Grösse der Fläche in  $\text{m}^2$

Die Standardmasseinheit für den Druck ist Pascal:  $1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \text{ Pascal} = 1 \text{ Pa}$

Üblich sind die folgenden Masseinheiten:

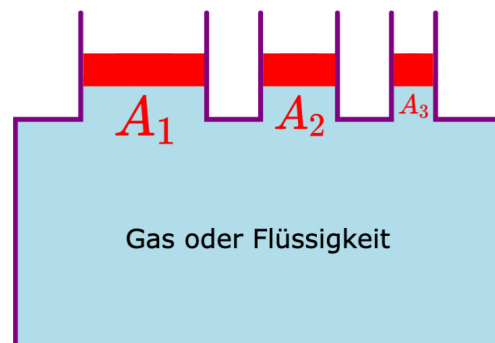
$1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa} = 10^5 \text{ Pa}$        $1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa}$

Die in den USA gebräuchliche Masseinheit des Drucks heisst “pound-force per square inch”:

$1 \text{ psi} \approx 6\,895 \text{ Pa} \approx 0.07 \text{ bar}$

### Frage:

Ein Gefäss ist mit einer Flüssigkeit (einem Gas) gefüllt, wie die Abbildung zeigt. Es hat drei Öffnungen mit Kolben unterschiedlicher Fläche ( $A_1$ ,  $A_2$  und  $A_3$ ). Es herrscht Druck in der Flüssigkeit. Was können Sie anhand der Definition von Druck über die Kräfte sagen, die auf diese Kolben wirken? Zeichnen Sie diese Kräfte. Was können Sie über die Massen sagen, die erforderlich wären, um die Kolben im Gleichgewicht zu halten?



(c) <https://www.leifiphysik.de>

**Rechenbeispiele**

1. Sie schieben den Kolben der Velopumpe mit der Kraft 90 N nach unten. Der Kolben hat eine Fläche von  $3 \text{ cm}^2$ . Welchen Druck zeigt das Manometer an?

(a) In der Einheit Pa:

$p = \dots\dots\dots$

(b) In der Einheit bar:

$p = \dots\dots\dots$

2. Der Druck in einer Sektflasche beträgt etwa 4.5 bar. Der Flaschenhals hat einen Innendurchmesser von etwa 3 cm. Wie viel Kraft übt das Gas in der Flasche auf den Zapfen aus?


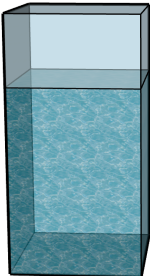
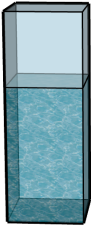
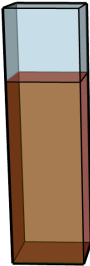
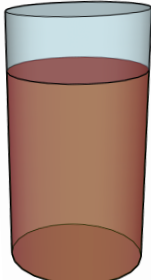
3. Der Druck in einer Wasserleitung beträgt 5 bar. Dieser Hobby-Handwerker hat aus Versehen hineingebohrt (Loch mit 5 mm Durchmesser). Mit wie viel Kraft müsste er den Daumen auf die angebohrte Leitung drücken, damit kein Wasser ausfließt?

4. Das abgebildete Ventil gehört zu einem Veloschlauch. Der kleine Stempel in der Mitte hat 2 mm Durchmesser. Wenn Sie mit 3.8 N auf den Stempel drücken müssen, um die Luft abzulassen: Wie gross ist der Druck im Schlauch?

1) 300 000 Pa, 3 bar; 2) 318 N; 3) 9.8 N; 4) 12 bar

## Schweredruck

**Wovon hängt der Druck ab?** Bestimmen Sie für die folgenden 5 Situationen den Druck am Boden des jeweiligen Gefässes. Die Gewichtskraft einer Flüssigkeit erhalten Sie aus der Dichte und dem Volumen. ( $g \approx 10 \text{ m/s}^2$ ,  $\pi \approx 3$ )

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
<b>Flüssigkeit</b>	Wasser	Wasser	Wasser	Heizöl	Heizöl
<b>Dichte, <math>\rho</math></b>	1000 kg/m <sup>3</sup>	1000 kg/m <sup>3</sup>	1000 kg/m <sup>3</sup>	840 kg/m <sup>3</sup>	840 kg/m <sup>3</sup>
<b>Tiefe der Flüssigkeit, h</b>	0.8 m	0.8 m	0.5 m	0.8 m	0.8 m
<b>Querschnittsfläche des Gefässes</b>	Quadrat mit 0.2m Kantenlänge (a)	Quadrat mit 0.4m Kantenlänge (a)	Quadrat mit 0.2m Kantenlänge (a)	Quadrat mit 0.2m Kantenlänge (a)	Kreis mit 0.2m Radius (r)
<b>Gefäss (Skizzen)</b>					
<b>Druck am tiefsten Punkt, p, Pa</b>					

**Zusammenfassung:** Von welchen Grössen hängt der Druck am Boden des Gefässes **nicht** ab?

### Gleichung für Schweredruck

Leiten Sie eine allgemeine Formel für den Druck her. (*Hinweis: Fängen Sie mit der Gleichung für den Druck an. Benutzen Sie dann die Gleichungen der Gewichtskraft und der Dichte.*)

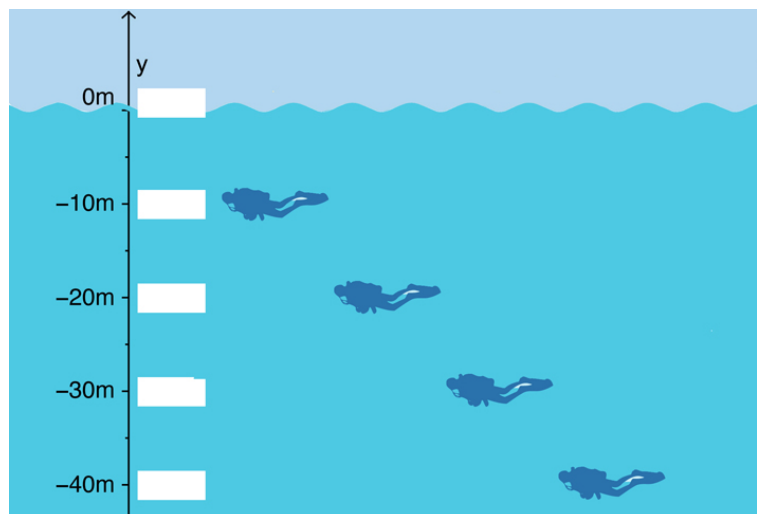
### Beispiele

1. Die Taucherregel lautet: Pro 10 Meter Wassertiefe steigt der Druck um 1 bar. Überprüfen Sie diese Regel. ( $g \approx 10 \text{ N/kg}$ ,  $\rho_{\text{Wasser}} \approx 1000 \text{ kg/m}^3$ )



Abb. 1: Druckausgleich beim Abtauchen

Ergänzen Sie die Skizze mit Hilfe dieser Taucherregel. Welcher Druck herrscht in verschiedenen Tiefen?



2. (a) Welcher Druck herrscht in 11000 m Meerestiefe? ( $g \approx 10 \text{ N/kg}$ , Salzwasser: Dichte  $1.030 \text{ g/cm}^3$ )
- (b) Wie gross ist dort die Kraft auf die äussere Seite vom Fenster? (äussere Durchmesser 40 cm)
- (c) Welcher Masse in Tonnen entspricht diese Kraft?

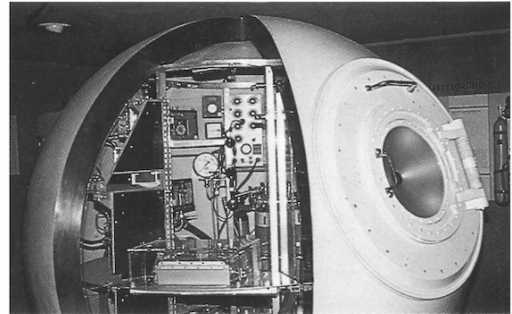


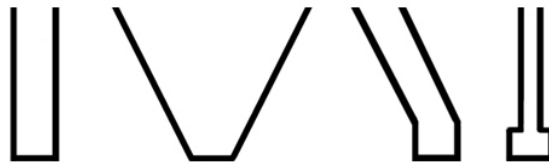
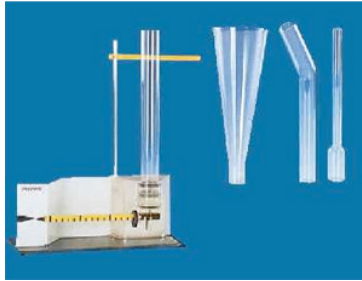
Abb. 2: Der Schweizer Jacques Piccard und der Amerikaner Don Walsh erreichten als erste Menschen eine der tiefsten Stellen der Meere, das im Pazifik gelegenen Marianengraben. In 4 Stunden und 47 Minuten gelangten sie in eine Tiefe von 10916 Metern.

## Hydrostatisches Paradoxon

**Experiment:** Verschiedene Gefässe mit gleicher Grundfläche werden mit Wasser gefüllt. Die Kraft, die das Wasser auf die Membran ausübt, wird mit dem Zeiger angezeigt.

**Frage:** Wie viel Wasser passt in jedes Gefäss, wenn der Zeiger die gleiche Kraft anzeigt, die auf die Membran wirkt?

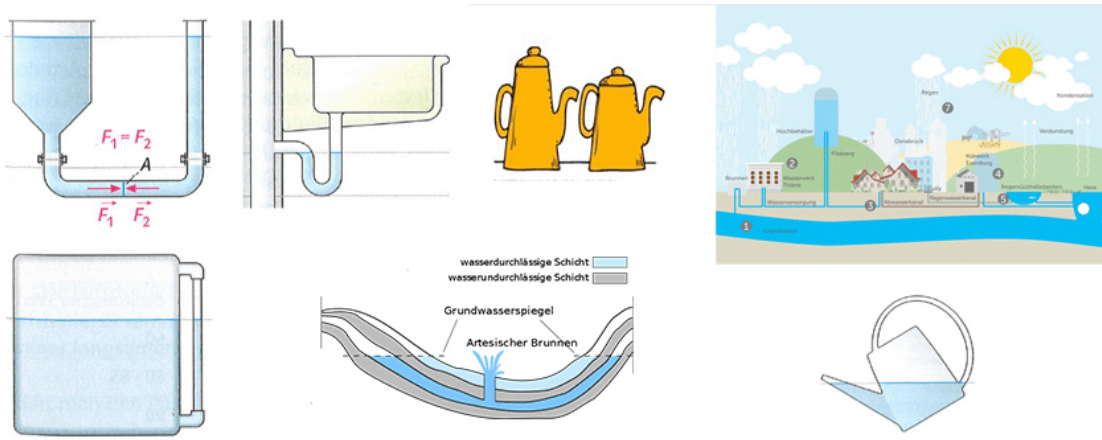
**Vermutung:**



**Beobachtung:**

## Hydrostatisches Paradoxon

Weitere Beispiele:



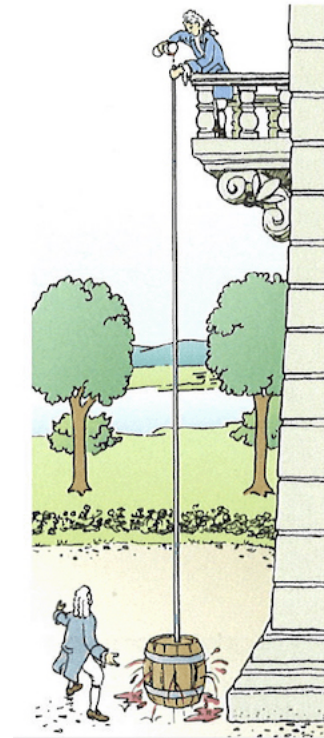


**Fassversuch von Pascal:** Blaise Pascal (1623 – 1662), so wird erzählt, hat einmal in einer Gesellschaft behauptet, er könne mit wenigen Gläsern Rotwein ein volles Weinfass zum Bersten bringen. Da ihm das niemand glaubte, führte er folgendes vor:

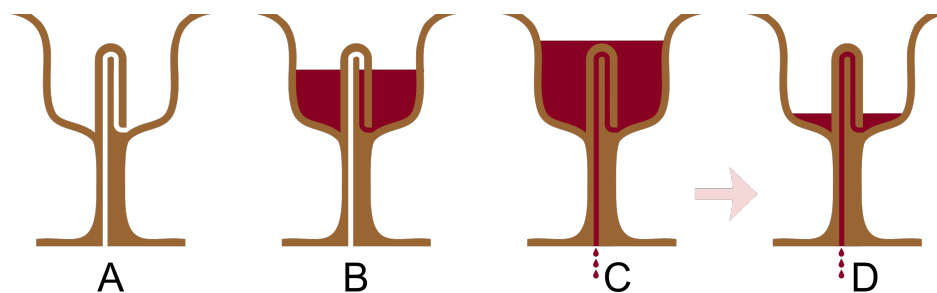
Er nahm ein langes dünnes Rohr. Dieses stellte er senkrecht auf, so dass es mehrere Meter in die Höhe ragte. Das untere Ende des Rohrs steckte er in das Fass. Nachdem alle Öffnungen abgedichtet waren, füllte er das Rohr mit Rotwein. Weil das Rohr dünn war, genügten hierfür wenige Gläser. Während des Auffüllens begann das Fass plötzlich zu krachen und zerbarst in mehrere Teile.

1. Angenommen, das Rohr war bis in 10 m Höhe mit Wein (= Wasser) gefüllt: Wie viel Kraft übte der Wein auf ein Brett des Fasses aus (Fläche eines Brettes: 15 cm x 40 cm).

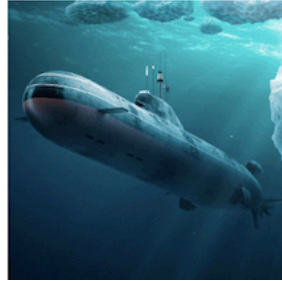
2. Welcher Masse in Kilogramm entspricht diese Kraft?



### Der Becher des Pythagoras (Becher der Gerechtigkeit)



## Der hydrostatische Auftrieb



Warum kann ein grosses, schweres Schiff schwimmen? Wie sinken und steigen U-Boote?  
Warum schwimmen manche Gegenstände und andere sinken?

Diese und andere Fragen können werden nach dieser Lektion beantwortet.

## Einführung

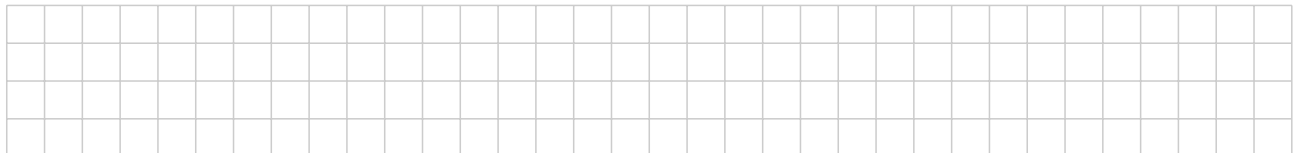
### Versuch mit Knetmasse

In diesem Versuch können wir bereits erste Erkenntnisse darüber gewinnen, wie Flüssigkeit (Wasser) das Gewicht von Körpern verändert.

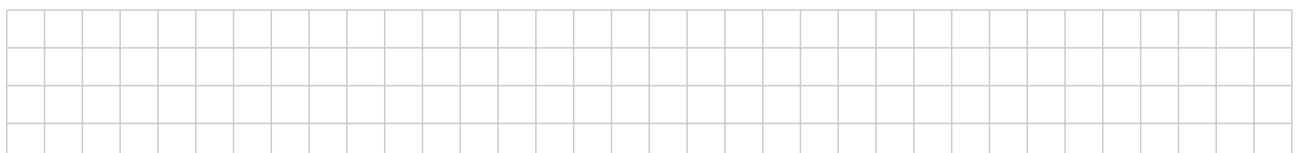
### Skizze



### Notizen

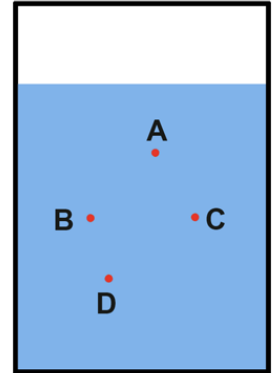


### Vermutung: Was hat sich geändert?



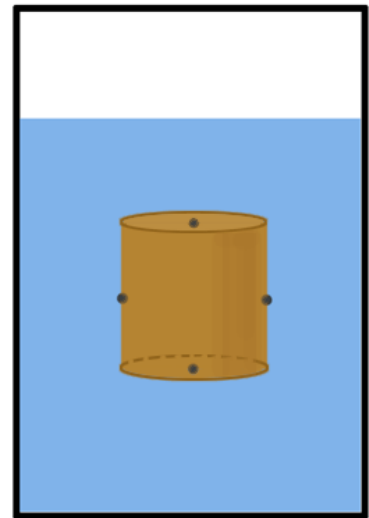
**Herleitung: Auftriebskraft**

**Aufgabe 1:** Das Gefäss rechts ist mit Wasser gefüllt. Ordnen Sie die Punkte A, B, C, D nach dem Druckanstieg.



**Aufgabe 2:** Nun tauchen wir einen Zylinders ins Wasser.

- (a) Vergleichen Sie den Druck an der Ober- und Unterseite des Zylinders.
- (b) Vergleichen Sie den Druck auf der linken und rechten Seite des Zylinders.
- (c) Zeichnen Sie jetzt an den markierten Stellen (1-4) ein, welche Kräfte auf jede der Seiten des Zylinders wirken.



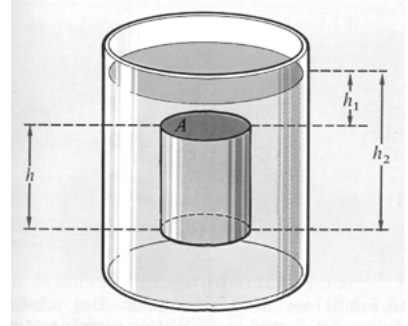
*Hinweise:*

- *Der Druck hat bekanntlich keine Richtung (es herrscht Druck). Sobald wir aber eine bestimmte Fläche eines Gegenstandes betrachten, der diesem Druck ausgesetzt ist, können wir die Kraft angeben, die auf diese Fläche ausgeübt wird. Diese Kraft wirkt senkrecht auf die Fläche.*
  - *Die Länge der Pfeil entspricht dem Betrag einer Kraft.*
- (d) Wie gross ist die resultierende Kraft, die auf diesen Zylinder einwirkt? Muss man alle Kräfte berücksichtigen?

## Formale Herleitung der Auftriebskraft

Verwenden Sie bei der Herleitung folgende Bezeichnungen:

- $A$  - Seitenfläche des Zylinders
- $h$  - Höhe des Zylinders
- $h_1$  - Tiefe bis zur oberen Fläche
- $h_2$  - Tiefe bis zu unteren Fläche
- $\rho_F$  - Dichte der Flüssigkeit



Bestimmen Sie formal (nur mit Buchstaben) die folgenden Größen.

den Druck an der oberen Zylinderfläche:

$p_1 =$

die Kraft auf die obere Zylinderfläche:

$F_1 =$

den Druck an der unteren Zylinderfläche:

$p_2 =$

die Kraft auf die untere Zylinderfläche:

$F_2 =$

Die Auftriebskraft ist die Differenz zwischen den Kräften  $F_2$  und  $F_1$

**Auftrieb (Auftriebskraft)**

## Archimedischer Zylinder

Experiment zur Veranschaulichung der Auftriebskraft.

## Archimedisches Prinzip

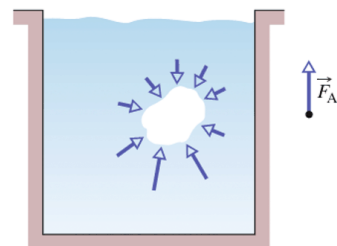
Anhand der Auftriebskraft lassen sich die folgenden Fälle unterscheiden: Der Körper sinkt, der Körper schwebt, der Körper schwimmt (Bewegung zur Oberfläche). Können Sie die Regeln definieren, indem Sie die Gewichtskraft ( $F_G$ ) und die Auftriebskraft ( $F_A$ ) vergleichen?

sinken

schweben

schwimmen

### Archimedisches Prinzip



**Beispiel: Eiswürfel**

Ein Eiswürfel mit der Kantenlänge 2 cm schwimmt in einem Glas Wasser.

$$g = 9.81 \text{ N/kg}$$

$$\rho_{\text{Wasser}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{Eis}} = 917 \text{ kg/m}^3$$



- (a) Wie gross ist die Gewichtskraft, die auf den Eiswürfel wirkt?
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- (b) Sie üben so viel Kraft aus, dass der ganze Würfel gerade unter Wasser ist. Wie gross ist die Auftriebskraft, die auf die Eiswürfel wirkt? Vergleichen Sie diese Auftriebskraft mit der Gewichtskraft.
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- (c) Wenn Sie nun den Eiswürfel loslassen, würde ein Teil von ihm wieder über der Wasseroberfläche erscheinen. Ohne zusätzliche Kraft schwebt der Eiswürfel im Wasser. Welche Auftriebskraft wirkt jetzt auf den Eiswürfel?
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- (d) Welchem verdrängten Wasservolumen entspricht diese Auftriebskraft?
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- (e) Angenommen, der Eiswürfel schwimmt perfekt senkrecht, so dass seine Unter- und Oberseite parallel zur Wasseroberfläche sind. Wie viel von der Höhe des Eiswürfels befindet sich oberhalb der Wasseroberfläche?