


## 6. Die Auftriebskraft


**62**  Sie kennen das Gefühl: Steigen Sie im Schwimmbad ins körpertiefe Wasser, so werden Sie scheinbar leichter. Steht Ihnen das Wasser gar bis zum Hals, können Sie ohne Probleme auf den Zehenspitzen gehen, so „leicht“ sind Sie geworden. In Wirklichkeit sind Sie natürlich nicht leichter geworden, denn durch das Eintauchen verändern Sie weder Ihre Masse noch den Ortsfaktor, d.h. Ihre **Gewichtskraft** beträgt nach wie vor  $F_G = mg$ . Der Unterschied ist aber, dass Sie Ihr Gewicht nicht mehr **alleine** tragen müssen – das Wasser „hilft“ Ihnen. Das Wasser trägt Sie mit einer gewissen Kraft  $F_A$ , die wir **Auftriebskraft** oder einfach kurz **Auftrieb** nennen werden.

Zwei Fragen sollen in diesem Kapitel beantwortet werden: **Wie kommt diese Auftriebskraft zustande? Wie kann man die Auftriebskraft berechnen?**

### Ziele dieses Kapitels

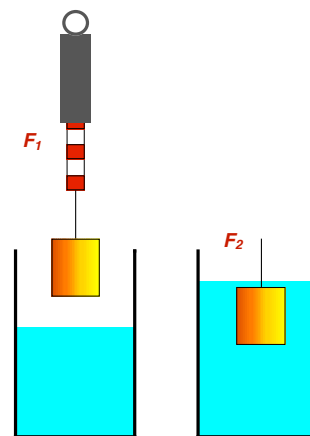
1. Sie können das Prinzip von Archimedes beschreiben und sind imstande die Auftriebskräfte verschiedener Körper in verschiedenen Medien zu berechnen.
2. Sie wissen, unter welchen Bedingungen ein Körper schwimmt, schwebt oder sinkt und können die Eintauchtiefe eines schwimmenden Körpers berechnen.

### Das Prinzip von Archimedes

**63**  Damit Sie zur Beantwortung dieser Fragen nicht selber ins Wasser steigen müssen, werden Sie mit einem handlichen Körper mit einfacher Form experimentieren. Es wird Ihnen folgendes Experimentiermaterial zur Verfügung gestellt: Körper aus verschiedenen Materialien an dünnen Fäden zum Eintauchen, Kraftmesser, Glasbecher, Schiebelehre, ein mit Wasser gefüllter Ballon.

Hängen Sie den Körper an den Kraftmesser und tauchen Sie ihn langsam ins Wasser ein. Was zeigt der **Kraftmesser** an, wenn der Körper ganz in der Luft hängt und wenn er ganz ins Wasser eingetaucht ist (aber nirgends das Glas berührt).


Vervollständigen Sie die Zeichnung.



$$F_1 = F_G = \dots\dots\dots F_2 = \dots\dots\dots$$

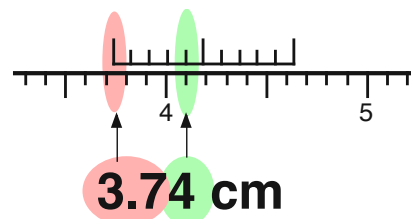
Wie gross ist also die Auftriebskraft?

$$F_A = F_1 - F_2 = \dots\dots\dots$$

**64**  Bestimmen Sie mit Hilfe der Schiebelehre das **Volumen** des Körpers so **genau** wie möglich.


Die Schiebelehre hat eine besondere Skala, die **Nonius-Skala**, die das Messen von Zehntelmillimetern ermöglicht. Das Bild zeigt Ihnen, wie Sie ablesen sollen.

**Skizzieren** Sie in Ihr Heft den Körper, messen Sie ihn aus und berechnen Sie sein **Volumen**. Berechnen Sie aus  $F_1$  die Masse des Körpers.




**Masse:**  $m = \dots\dots\dots$

**Volumen:**  $V = \dots\dots\dots$

- 65  Berechnen Sie mit Hilfe der Ergebnisse der Aufgaben **63** und **64** die Dichte des eingetauchten Körpers so genau wie möglich.


**Dichte:**  $\rho = \dots\dots\dots$

- 66  Welche Gewichtskraft **hätte** der Körper, wenn er aus einem Material gemacht **wäre**, welches die gleiche Dichte **hätte** wie Wasser?

Gewichtskraft für den Fall, dass  $\rho_{\text{Körper}} = \rho_{\text{Wasser}}$  wäre:

$F_G = \dots\dots\dots$


Welche (vielleicht überraschende) **Entdeckung** machen Sie (falls Sie genau gearbeitet haben)?

- 67  Sie haben soeben eine Entdeckung gemacht. Überprüfen Sie nun, ob Ihre Entdeckung auch auf andere Körper übertragbar ist. Gelingt es Ihnen, für den Ausgang des folgenden Experimentes eine richtige **Voraussage** zu machen?

Füllen Sie einen Luftballon langsam mit Wasser. Binden Sie den Ballon dann über dem Wasser zu. Im Ballon darf danach keine Luft mehr sein! Mit dem Bindfaden hängen Sie den Ballon an einen Kraftmesser.

Bevor Sie den hängenden Ballon ganz unter Wasser tauchen, sprechen Sie Ihre Prognose aus: **Was wird der Kraftmesser anzeigen, wenn der Ballon ganz eingetaucht ist?**

Welche Feststellung machen Sie tatsächlich beim Experimentieren?

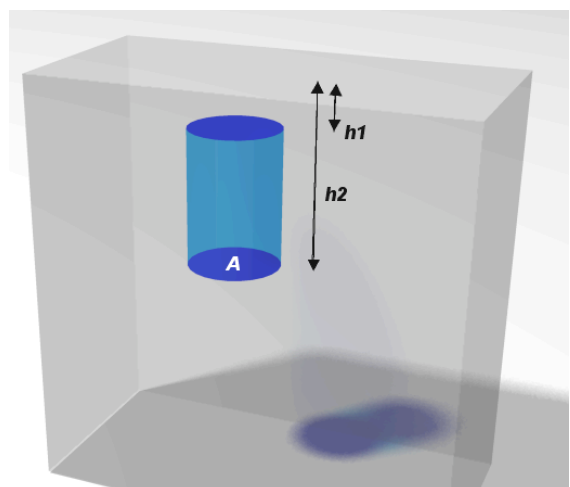
- 68  Nun haben Sie also bereits einige Feststellungen zur Stärke der Auftriebskraft gemacht. Die nächste Frage ist natürlich: **Wie kommt die Auftriebskraft zustande?**

Die Ursache für den Auftrieb ist der **Druck des Wassers** (oder eines andern, den Körper umgebenden **flüssigen oder gasförmigen Mediums**). Mit zunehmender Wassertiefe wird der Druck des Wassers grösser, also erfährt der eingetauchte Körper von unten her einen grösseren Druck als von oben her. Der so entstehende Druckunterschied bewirkt die Auftriebskraft. Die folgende Zeichnung verdeutlicht dies und gibt uns die Möglichkeit, den Auftrieb zu berechnen:

Wir nehmen also an, ein **zylindrischer Körper** sei wie gezeichnet in eine Flüssigkeit eingetaucht. Es wirkt von allen Seiten ein gewisser Druck auf den Körper. Symbolisch wird der Druck durch die dicken Pfeile dargestellt. Mit zunehmender Tiefe wird der Druck grösser, was durch längere Pfeile dargestellt wird.

Betrachten wir zuerst die **seitlichen Flächen**: Auf einer bestimmten Höhe wirkt beispielsweise von links derselbe Druck auf den Körper wie von rechts (und von vorne der

Die Entdeckung:



gleiche Druck wie von hinten). Die durch diese Drücke verursachten Kräfte auf den Körper kompensieren sich, so dass er weder nach links noch nach rechts gedrückt wird. Die seitlich wirkenden Drücke brauchen wir also zur Erklärung des Auftriebes nicht weiter zu betrachten.

Betrachten wir nun die beiden horizontalen Begrenzungsflächen **oben und unten**: Diese Flächen sind gleich gross; wir bezeichnen sie mit **A**. Weil bei der oberen Fläche („Deckel“) ein kleinerer Druck herrscht als unten („Boden“), übt das Wasser von oben eine kleinere Kraft ( $F_{oben}$ ) auf den Körper als von unten ( $F_{unten}$ ). Also gibt es einen Kraftüberschuss von unten – dieser Kraftüberschuss ist der **Auftrieb**  $F_A$ . Wir berechnen nun mit unseren Kenntnissen über den Schweredruck den Auftrieb:

$$\begin{aligned} F_A &= F_{unten} - F_{oben} = p_2 \cdot A - p_1 \cdot A \\ &= \rho_F g h_2 \cdot A - \rho_F g h_1 \cdot A \\ &= \rho_F g A (h_2 - h_1) \end{aligned}$$

$\rho_F$  ist die Dichte der Flüssigkeit (oder des Gases), in welcher der Körper sich befindet.  $h_2 - h_1$  ist die Höhe des Körpers, somit ist das Produkt  $A (h_2 - h_1)$  das **Volumen des Körpers**  $V_K$ . Wir können das Ergebnis für die Auftriebskraft also auch folgendermassen schreiben (Kasten rechts).

#### Berechnung der Auftriebskraft:

$$F_A = \rho_F \cdot g \cdot V_K$$

$\rho_F$  = Dichte der Flüssigkeit  
(resp. des Gases)

$V_K$  = Volumen des eingetauchten Körpers  
(resp. Körperteiles)

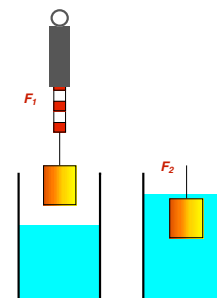
- 69 **i** Schauen wir dieses Ergebnis genau an, so finden wir darin auch den Sachverhalt versteckt, den Sie möglicherweise selber entdeckten: Das Produkt  $\rho_F \cdot V_K$  ist nämlich die Masse, welche die Flüssigkeit haben würde, wenn sie genau das Volumen des Körpers ausfüllen würde. Genau so viel Flüssigkeit muss der Körper aber wegdrängen, wenn er in die Flüssigkeit eintaucht.  $\rho_F \cdot V_K$  ist also die **Masse der verdrängten Flüssigkeit**. Dieser Sachverhalt wird im Prinzip von Archimedes ausgedrückt.

- 70 **?** An einem Kraftmesser hängt ein Stück aus **Kupfer**. Hängt das Kupferstück in der Luft, so zeigt der Kraftmesser 15 N an (linkes Bild). Wird das Kupferstück ganz in Wasser eingetaucht, so zeigt der Kraftmesser etwas anderes an (rechtes Bild).

Wie viel? Schreiben Sie Ihre Überlegungen auf.

- 71 **R** Durch Erhöhen des Luftdruckes über einem Wassergefäss, beginnt darin ein **Cartesianischer Taucher** zu sinken. Wo hört das Sinken auf?

#### Das Prinzip von Archimedes



## Schwimmen, schweben und sinken

**72 ?** Ob ein Körper in einer Flüssigkeit (oder in einem Gas) **sinkt**, **schwebt** oder **schwimmt**, hängt von seiner Dichte  $\rho_K$  im Vergleich zur Dichte des umgebenden Mediums  $\rho_F$  ab. Geben Sie die Kriterien an.

**73 ?** Mit Hilfe des Prinzips von Archimedes kann man nun die **schwimmenden Körper** untersuchen.

Bestimmen Sie die Eintauchtiefe eines auf Wasser schwimmenden 12 cm dicken Holzbrettes, dessen Dichte  $600 \text{ kg/m}^3$  beträgt.

Begründen Sie Ihre Lösung so genau wie möglich unter Anwendung des Prinzips von Archimedes.

**74 ?** In einem Gefäss seien vorsichtig **drei Flüssigkeiten** übereinander geschichtet worden, so dass sie sich nicht vermischen. Es handelt sich um Wasser, Olivenöl und Glycerin ( $1261 \text{ kg/m}^3$ ). Schreiben Sie in der Zeichnung die Schichten richtig an.

Ebenso vorsichtig sollen die vier daneben liegenden Körper in die Flüssigkeiten gebracht werden. Zeichnen Sie die Körper dort im Gefäss ein, wo sie Ihrer Meinung das Gleichgewicht finden werden.

**75 ? Eis schwimmt auf Wasser.** Warum?

Ein Bub spielt an einem teilweise zugefrorenen See. Er sieht am Ufer eine Eisscholle und es reizt ihn sehr, auf diese zu springen. Sie überlegen an einem konkreten Beispiel, ob die Eisscholle den Buben überhaupt zu tragen vermag. Masse des Buben =  $45 \text{ kg}$ ; Dicke der Eisscholle =  $13 \text{ cm}$ ; Form = Rechteck; Breite =  $1 \text{ m}$ ; Länge =  $1.5 \text{ m}$ .

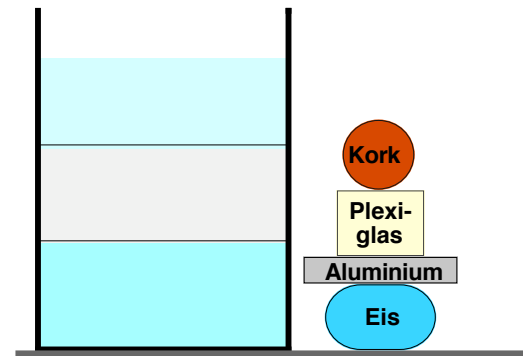
**76 ?** Das Prinzip von Archimedes gilt auch in **Gasen**.

- Man kann dies durch die gleiche Rechnung wie bei Aufgabe **68** einsehen, man muss in Gedanken lediglich die Flüssigkeit durch ein Gas ersetzen. Vielleicht werden Sie aber einwenden, dass die Dichte der Luft nicht konstant sei, und sich deshalb die Berechnungsformel für den hydrostatischen Druck nicht anwenden lasse. Mit diesem Einwand haben Sie Recht, aber im Falle des Auftriebs können wir die hydrostatische Druckformel dennoch anwenden, ohne grosse Fehler zu machen. Erkennen Sie den Grund dafür?
- Wenn das wahr ist, was oben erklärt wurde, müssten wir also eine Auftriebskraft durch die Luft erfahren, denn wir leben ja gewissermassen am Grunde eines „Luftmeeres“. Wie gross ist die Auftriebskraft etwa, die Sie durch die umgebende Luft erfahren? (Um diese Frage beantworten zu können, müssen Sie Ihr Körpervolumen kennen. Dieses lässt sich aber mit einer einfachen Überlegung in Erfahrung bringen: Aus der Tatsache, dass Sie im Wasser gut schweben können, lässt sich auf die

**Sinken:** .....

**Schweben:** .....

**Schwimmen:** .....



Dichte Ihres Körpers schliessen. Und daraus bestimmen Sie mit Hilfe Ihrer Masse auch Ihr Körpervolumen.)

- 77 ?** **Das Prinzip des Heissluftballons:** Bei diesem hat das Füllgas (heisse Luft) eine kleine Dichte, weil die Dichte der Luft bei Erwärmung infolge der **Wärmeausdehnung** abnimmt.

Um bei diesem Ballontyp den Auftrieb bestimmen zu können, muss man die **Dichte der Luft bei verschiedenen Temperaturen** (und genau genommen auch bei verschiedenen Luftdruckwerten) kennen. Die rechts abgedruckte Tabelle gibt darüber Auskunft.

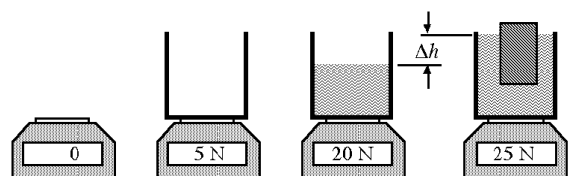
Beispiel: Wie gross ist die „**Tragkraft**“ von **1 m<sup>3</sup> Luft** von 100°C auf 1000 m.ü.M. wenn die Ausserentemperatur etwa 20°C beträgt? (Man könnte auch fragen: Welche Masse dürfte die Ballonhülle haben, so dass der Ballon gerade noch steigt?)

**Dichte der Luft in kg/m<sup>3</sup>** für verschiedene Werte von Luftdruck und Lufttemperatur

Druck in mbar	Temperatur in °C						
	0	20	40	60	80	100	120
1000	1.29	1.2	1.13	1.06	1	0.94	0.9
900	1.16	1.08	1.01	0.95	0.9	0.85	0.81
800	1.03	0.96	0.9	0.85	0.8	0.76	0.72
700	0.9	0.84	0.79	0.74	0.7	0.66	0.63
600	0.77	0.72	0.68	0.63	0.6	0.57	0.54
500	0.65	0.6	0.56	0.53	0.5	0.47	0.45

- 78 ?** Ein Gefäss sei randvoll mit Wasser gefüllt und es schwimme darin ein Stück Eis. Was wird passieren, wenn das **Eisstück schmilzt**?
- 79 ?** In einem randvoll mit Wasser gefüllten Gefäss schwimme ein **Modellschiff**. Was passiert mit dem **Wasserspiegel**, wenn das Modellschiff versenkt wird?
- 80 ?** Ein **Gymnastikball** hat ein Volumen von 17 Litern und wiegt 3.41 kg wenn er auf einer Präzisions-Waage in luftgefülltem Raum gewogen wird. Um wie viel Prozent weicht dieser Messwert infolge des Luftauftriebs von der wahren Masse ab?

- 81 R** Ein leeres Gefäss mit der Grundfläche  $A = 2 \text{ dm}^2$  wird auf einen Kraftmesser (Waage) gestellt. Der Kraftmesser zeigt die Gewichtskraft des Gefässes an. Das Gefäss wird nun mit Wasser gefüllt; der Kraftmesser zeigt die Gewichtskraft von Gefäss und Wasser an. Zuletzt wird auch noch ein Holzstück ins Wasser gelegt (wie das letzte Bild zeigt) weshalb der Wasserspiegel um  $\Delta h$  ansteigt. Bestimmen Sie  $\Delta h$  aufgrund der Angaben in der Zeichnung. Begründen Sie Ihre Lösung.



- 82 R** Welche Fläche muss eine 6 cm dicke **Eisscholle** haben, damit sie ein Gewicht von 35 kg gerade noch über Wasser tragen kann?

## Ergänzungen

- 83** Unter dieser Nummer halten Sie die Ergänzungen fest, die wir zu diesem Kapitel vielleicht machen werden.

- Es wurden keine Ergänzungen gemacht.  
 Es gab Ergänzungen, nämlich: