

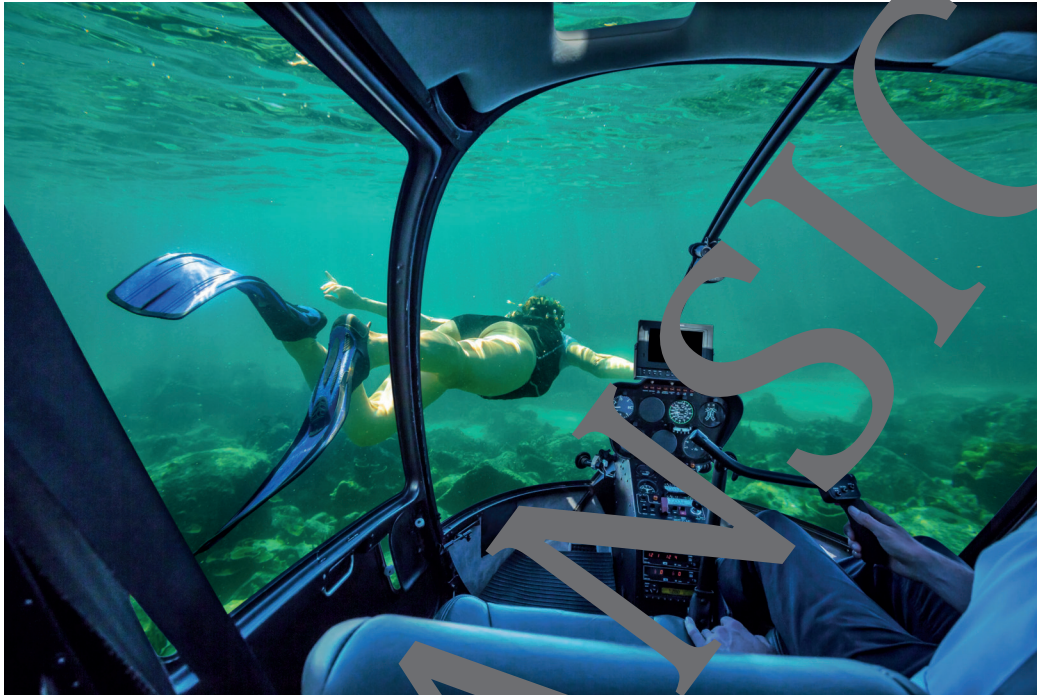
I.B.42

Mechanik

Kräfte beim Schwimmen und Schweben

Ein Beitrag von Alexander Friedrich

Illustrationen von Alexander Friedrich



© bennymarty/iStock/Getty Images Plus

U-Boote können sinken, während Schiffe schwimmen: Viele technische Errungenschaften der Menschheit basieren auf dem Wissen des Auftriebs. Durch dieses physikalische Prinzip können wir mit Flugzeugen um die Welt fliegen, den Meeresgrund erforschen oder Waren mit Schiffen über den Globus transportieren. Doch wie entsteht der Auftrieb bei diesen Objekten? Gibt es ein physikalisches Gesetz? Die Antworten werden Ihre Schülerinnen und Schüler in diesem Beitrag.

KOMPETENZPROFIL

Klassenstufe: 8

Dauer: 10 Unterrichtsstunden (Minimalplan 5–6)

Kompetenzen: 1. Anwenden mit physikalischen Denk- und Arbeitsweisen; 2. Bearbeiten von physikalischen Aufgaben- und Problemstellungen

Thematische Bereiche: Archimedisches Prinzip, Sinken und Schwimmen, Schweredruck, Auftrieb, Druck

Medien: PowerPoint, Taschenrechner, internetfähiges Gerät

M 1



„Alles eine Frage der Dichte“ – Schülerexperiment

Schülerversuch 1

Bestimmt ist dir schon häufig aufgefallen, dass nicht jeder Körper im Wasser schwimmt, sondern untergeht. Aber welche Voraussetzungen müssen bestehen, dass ein Körper schwimmt oder sinkt?

Untersuche mit dem folgenden Experiment, welche Voraussetzungen gelten müssen, dass ein Körper schwimmt oder sinkt. **Beantworte** im Anschluss in einigen Sätzen die Frage.

1. **Fülle** drei Gefäße etwa zur Hälfte mit Wasser auf. **Lege** anschließend einen Metallwürfel, eine Styroporkugel und einen Holzwürfel hinein. **Notiere** dir, welche Beobachtung du machen kannst.
2. **Fülle** nun das zweite Gefäß mit Frostschutzmittel und das dritte Gefäß mit Spiritus auf. **Berechne** im Anschluss das Volumen von Metallwürfel und Metallkugel, indem du alle erforderlichen Messwerte abmisst.
3. **Befestige** nun an die Metallkugel den Federkraftmesser und **miss** die Gewichtskraft (F_G). **Trage** deine Werte die Tabelle ein. **Halte** anschließend die Metallkugel nacheinander in die drei Flüssigkeiten. **Trage** die Werte des Federkraftmessers in die Tabelle ein. **Wiederhole** im Anschluss den Versuch mit dem Metallwürfel.

	Wasser	Spiritus	Frostschutzmittel
Kugel ($F_G =$)			
Würfel ($F_G =$)			

Welche Erkenntnisse kannst du aus deinen Messergebnissen gewinnen? Versuche anhand der Ergebnisse die Ausgangsfrage zu beantworten.



Hinweis: Nutze für die Messung einen geeigneten Federkraftmesser.

Der Gleichung auf der Spur – Archimedische Gleichung

M 3



Fig. 65. — Archimède.

© THEPALMER/DigitalVision Vectors/Getty Images

Wird ein Körper der Masse m_K und dem Volumen V_K in eine Flüssigkeit oder ein Gas getaucht, wirkt auf den Körper eine Auftriebskraft.

Auf einen Körper in einem Fluid (Flüssigkeit oder Gas) wirken daher zwei wichtige entgegengesetzte Kräfte: Die nach unten gerichtete Gewichtskraft F_G und die nach oben gerichtete Auftriebskraft F_A .

Ein Körper schwimmt immer nur auf der Oberfläche, wenn die Auftriebskraft genau so groß wie die Gewichtskraft des Körpers ist. Es gilt:

$$F_G = F_A$$

Anders ausgedrückt gilt folgender Zusammenhang:

$$m_{\text{Körper}} \cdot g = m_{\text{Medium}} \cdot g$$

Es zeigt sich also, dass die Auftriebskraft F_A des Körpers in einem Medium genau so groß wie die Gewichtskraft des verdrängten Mediums ist.

Mathematisch ergibt sich, dass $m_{\text{Körper}} = m_{\text{Medium}}$ ist bzw.

$$\rho_{\text{Körper}} = \frac{m_{\text{Körper}}}{V_{\text{Körper}}} = \frac{m_{\text{Medium}}}{V_{\text{Medium}}} = \rho_{\text{Medium}}$$

Daraus ergibt sich das Prinzip von Archimedes:

$$F_A = \rho_{\text{Medium}} \cdot V_{\text{Körper}} \cdot g$$

Beim Untergehen bzw. Schweben des Körpers gilt dann entsprechend:

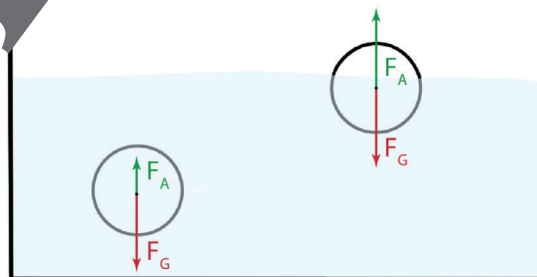
Untergehen: $F_G > F_A$

$$m_{\text{Körper}} \cdot g > m_{\text{Medium}} \cdot g$$

Schweben: $F_G < F_A$

$$m_{\text{Körper}} \cdot g < m_{\text{Medium}} \cdot g$$

Daraus kann man folgern, dass die Auftriebskraft umso größer wird, je dichter das Medium und je größer das Volumen des Körpers wird.



Skizze: A. Friedrich

Rechenaufgaben zum Prinzip von Archimedes

M 4

Aufgabe 1

Ein Würfel besitzt eine Kantenlänge von 10 cm und sinkt 7 cm tief in Wasser ein.

- Berechne** die Auftriebskraft des Würfels, wenn dieser **vollständig** in das Wasser eingetaucht wird.¹ Was folgt daraus für das verdrängte Volumen?
- Nachdem der Würfel vollständig eingetaucht wurde, wird dieser losgelassen, wodurch er im Wasser schwimmt. **Berechne** für diesen Fall die Auftriebskraft des Würfels.
- Nun wird der Würfel in Spiritus gelegt, welches eine Dichte von $\rho = 0,8 \text{ g/cm}^3$ besitzt. Wie groß ist die Auftriebskraft im Vergleich zu Aufgabenteil a), wenn der Würfel **vollständig** in Spiritus eingetaucht wird?

Aufgabe 2

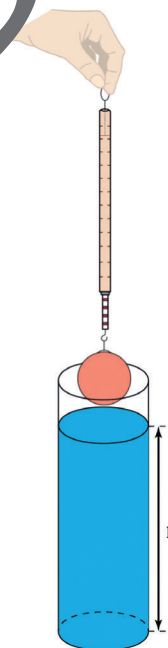
Ein Körper aus Messing besitzt eine Dichte von $8,73 \text{ g/cm}^3$ und besitzt eine Gewichtskraft $F_G = 4,05 \text{ N}$. Welche Auftriebskraft F_A erfährt der Körper in den folgenden Flüssigkeiten?

- In Meerwasser mit einer Dichte von $\rho = 1,025 \text{ g/cm}^3$.
- In Quecksilber mit einer Dichte von $\rho = 13,595 \text{ g/cm}^3$.
- In Aceton mit einer Dichte von $\rho = 7,90 \text{ g/cm}^3$.

Aufgabe 3

In der nebenstehenden Abbildung siehst du, wie eine Kugel mit einem Volumen von $V = 50 \text{ cm}^3$ an einem Kraftmesser in einer Flüssigkeit getaucht wird. Die Gewichtskraft der Kugel (ohne Eintauchen) beträgt $F_G = 3,9 \text{ N}$.

- Erkläre**, was beim Eintauchen der Kugel in der Flüssigkeit am Kraftmesser passiert. (**Begründe** deine Aussage!)
- Berechne** anhand der Werte die Masse m der Kugel sowie die Dichte ρ_K . Aus welchem Material besteht die Kugel?
- Nach dem Eintauchen der Kugel in die Flüssigkeit zeigt der Kraftmesser $3,41 \text{ N}$ an. Wie groß ist die Auftriebskraft F_A des Körpers?
- Berechne** mithilfe der Auftriebskraft F_A die Dichte ρ_{Fl} der Flüssigkeit! Um welche Flüssigkeit handelt es sich?



Skizze: A. Friedrich

¹ Dichte von Wasser $\rho_{\text{Wasser}} = 1,0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

M 6

Der Grund für den Auftrieb – Der Schweredruck

Die wichtige Ursache für den Auftrieb von Objekten in Flüssigkeiten und Gasen ist der Schweredruck.


Merksatz: Schweredruck in Flüssigkeiten

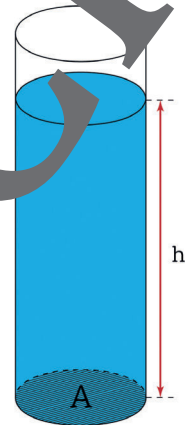
Der Schweredruck oder auch hydrostatischer Druck bezeichnet den Druck, den ein Körper aufgrund der Gewichtskraft der Wassersäule, welche über ihm liegt, erfährt.

Mit der Tiefe der Flüssigkeit nimmt auch der Schweredruck stetig zu.

Die rechte Abbildung zeigt eine Wassersäule gefüllt mit Wasser der Dichte ρ , welche eine Grundfläche A und die Höhe h besitzt.

Für die Berechnung des Schweredrucks benötigt man den Druck, welcher auf die Fläche A der Wassersäule wirkt. Der Druck ist definiert als Kraft pro Fläche:

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



Skizze: A. Friedrich

Die Kraft, welche in diesem Beispiel auf die Fläche A wirkt, ist die Gewichtskraft F_G des Wassers. Daraus ergibt sich der Druck:

$$p = \frac{F_G}{A} = \frac{m_{\text{Wasser}} \cdot g}{A} \quad (1)$$

Die Masse des Wassers ergibt sich aus dem Volumen der Wassersäule und der Dichte des Wassers. Eingesetzt in die Gleichung 1 ergibt sich:

$$p = \frac{V \cdot \rho \cdot g}{A} \quad (2)$$

Das Volumen der Wassersäule entspricht einem Zylinder:

$$V_{\text{Säule}} = A \cdot h$$

Eingesetzt in Gleichung 2 ergibt sich

$$p = \frac{A \cdot h \cdot \rho \cdot g}{A}$$

Daraus ergibt sich die Gleichung für den Schweredruck:

$$p = \rho \cdot h \cdot g$$

Interaktiver Schülerversuch 1

In diesem Versuch wird der Schweredruck in Flüssigkeit experimentell untersucht.



Gehe dazu auf die folgende Internetseite, um das Experiment zu starten:

<https://raabe.click/phy-schweredruck>

Versuchsdurchführung

1. **Mache** dich zunächst mit dem Versuch vertraut, indem du die vorhandenen Parameter veränderst.
2. **Verändere** anschließend die Flüssigkeit. **Nutze** für dieses Experiment **Ethanol** und **Quecksilber**.
3. **Stelle** anschließend für diese beiden Flüssigkeiten unterschiedliche Tiefen ein und **lese** den Schweredruck ab. **Notiere** dir die entsprechenden Werte in die Tabellen.
4. **Trage** die gemessenen Werte in ein geeignetes Diagramm ein. Was kannst du aus dem Verlauf des Diagramms für den Schweredruck schließen?

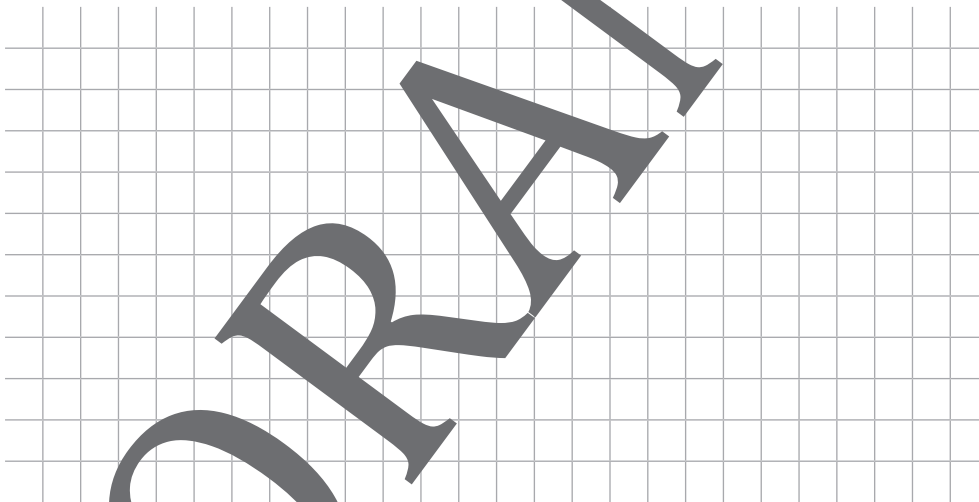
Ethanol ($\rho = 0,790 \text{ g/cm}^3$)

h in cm				
P in hPa				

Quecksilber ($\rho = 13,6 \text{ g/cm}^3$)

h in cm				
P in hPa				

Diagramm:



Ergebnis:

M 7

Auftrieb in der Luft – Experiment mit der Vakuumlöcke

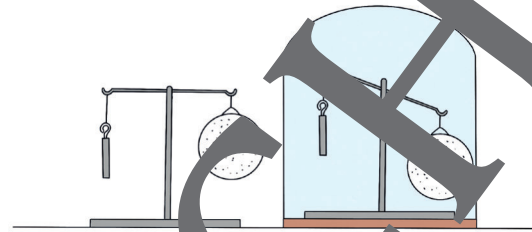
Wie kann man eine Waage aus dem Gleichgewicht bringen, ohne jedoch die beiden Gewichte zu verändern? Ganz leicht, man verringert den Luftdruck, der die beiden Objekte umgibt. Dazu dient das folgende Experiment.

**Lehrerversuch 1**

Versuch mit der Vakuumlöcke.

Versuchsdurchführung

Zunächst werden die Styroporkugel und das Gewicht an die Balkenwaage gehängt und ins Gleichgewicht gebracht. Man zeigt hier, dass beide Gegenstände die gleiche Gewichtskraft F_G besitzen. Nun platziert man die Waage mit den beiden Gegenständen in eine Vakuumlöcke und evakuiert das Innere der Löcke. Im Anschluss wird die Styroporkugel sinken, wodurch die Waage nicht mehr im Gleichgewicht steht.



Skizze: A. Friedrich

Grund für dieses Verhalten ist, dass zwar beide Gegenstände die gleiche Masse aufweisen, jedoch ein unterschiedliches Volumen besitzen. Durch das größere Volumen der Kugel erhält diese bei normalen Bedingungen einen größeren Auftrieb als das Gewicht. Bei der Evakuierung verringert sich der Auftrieb der Styroporkugel, wodurch diese absinkt.

Man kann aus dem vorliegenden Experiment ableiten, dass das Archimedische Prinzip nicht nur für Flüssigkeiten gilt, sondern auch für Gase.

Mathematische Beschreibung des Auftriebs in Gasen

Auch für den Auftrieb von Gasen gilt das Archimedische Prinzip. Dabei muss man beachten, dass der Auftrieb von der Dichte der Flüssigkeit abhängig ist. Daher gilt:

$$F_A = \rho_{\text{Gas}} \cdot V_{\text{Körper}} \cdot g$$

Damit ein Luftballon in der Luft schwebt, muss die Auftriebskraft F_A der Gewichtskraft F_G des Ballons entsprechen.

Man kann jedoch einen Luftballon mit Luft aufblähen, dann sinkt dieser nach unten ab. Der Grund dafür ist, dass sowohl im Inneren als auch außerhalb des Ballons die Dichte gleich ist. Daher ist die Gewichtskraft des Ballons größer als dessen Auftrieb.

Man besitzt somit zwei Möglichkeiten, den Ballon schweben zu lassen:

1. Man verringert die Gewichtskraft des Ballons, indem man ein leichteres Gas (z. B. Helium) verwendet.
2. Man erhitzt die Luft im Inneren des Ballons.

Thermische Ausdehnung von Gasen

M 9

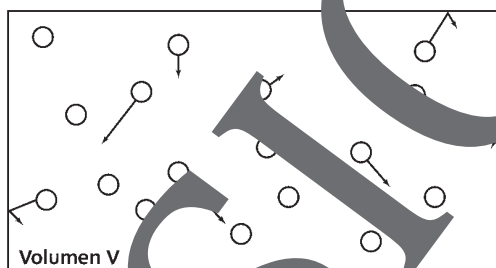
Allgemeines

Unter einer thermischen Ausdehnung bzw. einer Wärmeausdehnung versteht man die Ausdehnung eines Stoffes durch Erhöhung seiner Temperatur. Unter normalen Bedingungen dehnen sich bei Erwärmung Festkörper, wie eine Eisenkugel, weniger aus als Gase, wie beispielsweise Helium. Der Grund dafür ist die Anordnung der Atome der beiden Stoffe.

Atomarer Aufbau von Gasen

Gase bestehen aus einer großen Anzahl von Teilchen, welche eine unterschiedliche Geschwindigkeit besitzen. Zudem bewegen sich Gasteilchen willkürlich im Raum, wodurch sie diesen gleichmäßig ausfüllen.

Sind die Gasteilchen durch eine Gefäßwand begrenzt, dann nehmen die Gasteilchen ein bestimmtes Volumen V ein. Jedoch stoßen die Teilchen nicht nur untereinander, sondern auch mit der Gefäßwand, zusammen. Dadurch entsteht ein Druck im Inneren des Gefäßes.



Skizze: A. Friedrich

Ausdehnung von Gasen

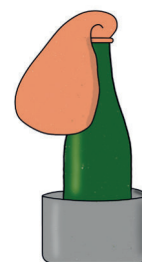
Wird die Temperatur in diesem Volumen V erhöht, dann bewegen sich die Teilchen deutlich schneller. Dadurch erhöht sich ihre Energie, wodurch die Zusammenstöße untereinander und mit der Gefäßwand deutlich stärker und häufiger werden. Wenn sich ein Gas in einem Volumen mit einer starren Gefäßwand befindet, kann sich nicht ausdehnen.

Jedoch kann man die Ausdehnung von Gasen sehen, wenn man stattdessen eine Gefäßwand nutzt, welche elastisch und verformbar ist. Bleibt dabei der Druck während der Erwärmung gleich, dann dehnt sich das Gas proportional zur Temperatur aus.

Schülerversuch 6

Nimm eine Glasflasche, einen Topf und Wasser. **Heize** das Wasser mit einem Wasserkocher auf und gib es in den Topf. **Stell** anschließend die Flasche hinein. **Stülpe** über den Flaschenhals der Flasche einen Luftballon. **Notiere** dir deine Beobachtung.

Hinweis: Anschließend in heißem Wasser kannst du mit deinen Händen versuchen, den Luftballon aufzublasen. Halte dazu deine Hände an die Flasche.



Skizze: A. Friedrich



Gesetz des idealen Gas

Diese physikalische Eigenschaft kann durch das ideale Gasgesetz beschrieben werden. Unter Normalbedingungen³ verhält sich ein Gas ähnlich einem idealen Gas. Wird ein Gas mit einem bestimmten Volumen (V) unter einem Druck (p) erwärmt, dann kann das veränderte Volumen durch folgende Gleichung beschrieben werden:

³ Normalbedingungen: Druck $p = 1,01 \text{ bar} = 101,3 \text{ kPa}$; Temperatur $T = 0 \text{ °C} = 273,15 \text{ K}$

Sie wollen mehr für Ihr Fach? Bekommen Sie: Ganz einfach zum Download im RAABE Webshop.



- ✓ **Über 4.000 Unterrichtseinheiten**
sofort zum Download verfügbar
- ✓ **Exklusive Vorteile für Abonnent*innen**
 - 20% Rabatt auf alle Materialien
in Ihrem bereits abonnierten Fach
 - 10% Rabatt auf weitere Grundwerke

- ✓ **Sichere Zahlung** per Rechnung,
PayPal & Kreditkarte
- ✓ **Käuferschutz** mit Trusted Shops



Jetzt entdecken:
www.raabe.de