Der Druck: Teil 3

3 Der Auftrieb

Ein Stein geht unter, wenn man ihn ins Wasser wirft. Ein Eisenkugel auch. Ein Schiff ist auch aus Eisen, voll gepackt mit tonnenschweren Containern, geht aber nicht unter. Ein Ei taucht ab, wenn man es in Wasser legt. Gibt man Salz dazu, dann tauch es wieder auf.
Warum versinkt nicht alles, was ins Wasser geworfen wird? Was wirkt der nach unten ziehenden Gewichtskraft entgegen? Was versteht man unter Auftrieb?

3.1 Lernziele

Nachdem Sie dieses Kapitel bearbeitet haben:

- Sie haben ein qualitatives Verständnis mit Druckkräften;
- Sie verstehen das Prinzip des Archimedes;
- Sie verstehen der Unterschied zwischen Gewichtskraft und scheinbare Gewichtskraft;
- Sie kennen den Zusammenhang zwischen den Dichten von Körper und Flüssigkeit und dem Verhalten des Körpers (sinken, schwimmen, schweben)

3.2 Theorie

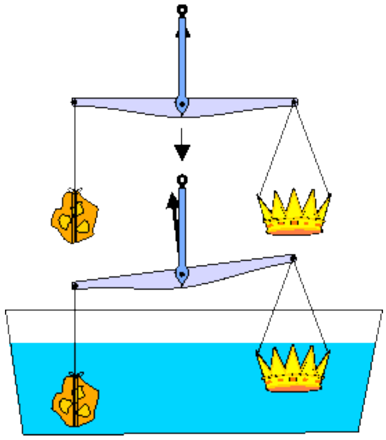
Bearbeiten und studieren Sie im Physik-Buch die folgenden Abschnitt 2.6.3 (Seiten 139 bis 140): Auftrieb in ruhenden Flüssigkeiten und Gasen

- Auftrieb und archimedisches Gesetz;
- Sinken, Schweben, Steigen, Schwimmen;

3.3 Geschichte: die Krone von Hieron

Archimedes war durch König Hieron II von Syrakus, beauftragt worden zu prüfen, ob dessen Krone aus reinem Gold sei. Die Krone durfte jedoch nicht zerstört werden. Zuerst fand er keine Antwort auf diese Frage, bis ihm eines Tages beim Wannenbad der Gedankenblitz traf...
Man hängt die Krone und einen gleichschweren Barren puren Goldes an eine Balkenwaage.

- In der Luft ist die Balkenwaage im Gleichgewicht (Krone und Goldbarren besitzen die gleiche Masse).
- Werden nun Krone und Gold gleichzeitig in die gleiche Flüssigkeit getaucht, so erfahren beide Gegenstände zusätzlich eine Auftriebskraft, die ihrem Volumen entspricht. Daher bleibt der Wägebalken nur dann in der Horizontalen, wenn beide Gegenstände das gleiche Volumen besitzen und damit aus dem gleichen Material bestehen.



Archimedes begann mit seinem Experiment und stellte fest, dass die Krone mehr Wasser verdrängte als der Goldbarren. Der Goldschmied hatte seine Arbeit also nicht ehrlich verrichtet. Er hatte dem Gold billigeres Silber (mit geringerer Dichte) beigemischt.

Fakultativ Lesen Sie online einen "Dialog" zwischen Archimedes und König Hiero:
`http://www.leifiphysik.de/web_ph08/geschichte/15_archimedes-krone/dialog.htm`

3.4 Zusammenfassung

Archimedisches Gesetz Ein Körper mit Volumen V, der vollständig in eine Fluid (Flüssigkeit oder Gas) der Dichte ρ_{Fl} eingetaucht ist, erfährt eine Auftriebskraft F_A, die der Gewichtskraft des Körpers entgegenwirkt. Der Betrag der Auftriebskraft ist gleich der Gewichtskraft der verdrängten Flüssigkeit:

$$F_A = \rho_{Fl} \cdot g \cdot V \tag{1}$$

Bemerkungen

1. Die Auftriebskraft hängt nicht davon ab, wie tief der Körper unter Wasser ist, solange er vollständig ins Wasser eingetaucht ist.
2. Auftrieb ist eine Folge des Schweredrucks.
3. Alle Körper erfahren in einem Gas, z.B. in Luft, einen Auftrieb (viel kleiner als im Wasser). Beispiel: Heissluftballon (heisse Luft hat eine kleinere Dichte als kalte Luft).

Die Kombination von Auftriebskraft und Gewichtskraft Auf einen vollständig eingetauchten Körper wirken immer zwei entgegengesetzte Kräfte: die Gewichtskraft F_G des Körpers die nach unten gerichtet ist und die Autriebskraft F_A, die nach oben gerichtet ist. Die Gewichtskraft hängt von der Dichte ρ_K des eingetauchten Körpers ab, die Auftriebskraft hingegen von der Dichte der umgebenden Flüssigkeit. Die Gesamtkraft (auch scheinbare Gewichtskraft) auf eine vollsändig eingetauchten Körper ergibt sich dann zu:

$$F = F_G - F_A = \rho_K \cdot g \cdot V - \rho_{Fl} \cdot g \cdot V = (\rho_K - \rho_{Fl}) \cdot g \cdot V \tag{2}$$

Das Verhältnis von Auftriebskraft F_A zu Gewichtskraft F_G entscheidet, ob ein vollständig in Flüssigkeit/Gas eingetauchter Körper

absinkt $F_A < F_G$ (also falls $\rho_K > \rho_{Fl}$);

schwebt $F_A = F_G$ (also falls $\rho_K = \rho_{Fl}$);

aufsteigt $F_A > F_G$ (also falls $\rho_K < \rho_{Fl}$);

Auftriebskraft auf an der Oberfläche schwimmende Körper Für einen Körper, der an der Oberfläche einer Flüssigkeit schwimmt, herrscht Gleichgewicht zwischen Auftriebskraft und Gewichtskraft. Für ihn gilt:

- Je nach Verhältnis der Dichten von Körper ρ_K und Flüssigkeit ρ_F ragt der Körper mehr oder weniger aus der Flüssigkeit heraus.
- Das Verhältnis zwischen dem gesamten Volumen V des Körpers und dem eingetauchten Teilvolumen $V_{eingetaucht}$ ist:

$$\frac{V_{eingetaucht}}{V} = \frac{\rho_K}{\rho_{Fl}} \tag{3}$$

3.5 Anwendungen (Musterbeispiele)

3.5.1 Einfache Auftriebskraft

Berechnen Sie die Auftriebskraft, auf eine leere, verschlossene 2.0-Liter-Getränkeflasche aus Kunststoff unter Wasser.

Lösung $F_A = \rho_{Fl} \cdot g \cdot V = 998\,\mathrm{kg/m^3} \cdot 9.81\,\mathrm{m/s^2} \cdot 0.002\,\mathrm{m^3} = \underline{\underline{20\,\mathrm{N}}}$.
Um die Flasche unter Wasser zu drücken muss man eine Kraft von ca. 20 N aufbringen.

3.5.2 Eisscholle

Ein Eisberg hat die Form eines Quaders mit der Grundfläche A und der Höhe h. Die Dichte des Eises beträgt $920\,\mathrm{kg/m^3}$ (bei 0°C) und die Dichte des Salzwasser beträgt $1020\,\mathrm{kg/m^3}$.

a) Wieviel Prozent eines Eisbergs ragen über die Oberfläche?
b) Ein Eisberg ragt mit 4.5 m aus dem Wasser heraus. Wie tief sinkt den Eisberg ins Meerwasser ein?
c) Welche Fläche müsste eine 30 cm dicke Eisscholle mindestens haben, damit sie einen Eisbären ($m_B = 500\,\mathrm{kg}$) trägt, ohne dass er nasse Füsse bekommt?

Lösung

a) Im Kräftegleichgewicht ist die Auftriebskraft gleich der Gewichtskraft.

$$\begin{aligned}
F_A &= F_{G,Eisscholle} && (4)\\
\rho_{Meerwasser} \cdot g \cdot V_{eingetaucht} &= \rho_{Eis} \cdot g \cdot V_{Eisscholle} && (5)\\
\rho_{Meerwasser} \cdot V_{eingetaucht} &= \rho_{Eis} \cdot V_{Eisscholle} && (6)\\
\frac{V_{eingetaucht}}{V_{Eisscholle}} &= \frac{\rho_{Eis}}{\rho_{Meerwasser}} = \frac{920\,\mathrm{kg/m^3}}{1020\,\mathrm{kg/m^3}} = \underline{\underline{0.902}} && (7)\\
& && (8)
\end{aligned}$$

Fazit: Das Eis verdrängt (unabhängig von seiner Form) ca. 90% seines eigenen Volumens, taucht also mit ca. 90% seines Volumens ins Wasser ein. Bei 100 mm Dicke sind das 90 mm, 10 mm ragen heraus.
Aus dem Wasser ragt heraus
Daraus folgt
b) Aus Teilaufgabe a) folgt:

$$\begin{aligned}
\frac{V_{eingetaucht}}{V_{Eisscholle}} &= \frac{\rho_{Eis}}{\rho_{Meerwasser}} && (9)\\
\frac{(h_{eingetaucht} + h_{luft}) \cdot A}{h_{eingetaucht} \cdot A} &= \frac{\rho_{Meerwasser}}{\rho_{Eis}} && (10)\\
\frac{h_{eingetaucht} + h_{luft}}{h_{eingetaucht}} &= \frac{\rho_{Meerwasser}}{\rho_{Eis}} && (11)\\
& && (12)
\end{aligned}$$

Nach $h_{imwasser}$ auflösen:

$$1 + \frac{h_{luft}}{h_{eingetaucht}} = \frac{\rho_{Meerwasser}}{\rho_{Eis}} \tag{13}$$

$$\frac{h_{luft}}{h_{eingetaucht}} = \frac{\rho_{Meerwasser}}{\rho_{Eis}} - 1 \tag{14}$$

$$h_{eingetaucht} = \frac{h_{luft}}{\frac{\rho_{Meerwasser}}{\rho_{Eis}} - 1} = \frac{4.5\,\mathrm{m}}{\frac{1020\,\mathrm{kg/m^3}}{920\,\mathrm{kg/m^3}} - 1} = 41.4\,\mathrm{m} \approx \underline{\underline{41\,\mathrm{m}}} \tag{15}$$

c) Damit die Eisscholle nicht untergeht, muss die Auftriebskraft gleich gross sein wie die Gewichtskraft des Bäres und der Eisscholle zusammen:

$$F_A = F_{G,Baer} + F_{G,Eisscholle} \tag{16}$$

$$\rho_{Meerwasser} \cdot g \cdot V_{Eisscholle} = m_B \cdot g + \rho_{Eis} \cdot V_{Eisscholle} \cdot g \tag{17}$$

Nach $V_{Eisscholle}$ auflösen:

$$\rho_{Meerwasser} \cdot g \cdot V_{Eisscholle} = m_B \cdot g + \rho_{Eis} \cdot V_{Eisscholle} \cdot g \tag{18}$$

$$V_{Eisscholle} = \frac{m_B}{\rho_{Meerwasser} - \rho_{Eis}} \tag{19}$$

Es folgt für die minimale Fläche:

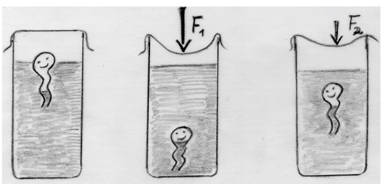
$$A = \frac{V}{h} = \frac{m_B}{h \cdot (\rho_{Meerwasser} - \rho_{Eis})} = \frac{500\,\mathrm{kg}}{0.3\,\mathrm{m} \cdot (1020\,\mathrm{kg/m^3} - 920\,\mathrm{kg/m^3})} = 16.67\,\mathrm{m^2} \approx \underline{\underline{17\,\mathrm{m^2}}} \tag{20}$$

3.5.3 Kartesischer Taucher (Flaschenteufel)

Ein Flaschenteufel ist eine glasbläserische Miniatur, die innen hohl ist und eine kleine Öffnung besitzt. Sie wird zuerst mit soviel Wasser gefüllt (also geeignete Menge Luft), dass sie gerade noch im Wasser schwimmt. Der Teufel wird in eine wassergefüllte Flasche gesetzt, die mit einem elastischen Verschluss verschlossen ist.
Schauen Sie das Video `http://www.youtube.com/watch?v=OM8Typ6-MKQ`
Wie funktioniert einen Flaschenteufel?

1. Drücken der Flasche → Druck im Innern der Flasche erhöht → Luft im Taucher komprimiert → Luftvolumen nimmt ab → dringt Wasser tiefer in die Glasfigur ein → Dichte der Figur erhöht → scheinbare Gewichtskraft geringer → Taucher sinkt nach unten.

2. Druck verringern → die komprimierte Luft verdrängt das eingedrungene Wasser → Taucher steigt nach oben.



Bei den als Teufelschen gestalteten Glaskörpern ist eine Öffnung am Schwanz, der sich horizontal um den Bauch schlingt. Dadurch wird der Cartesische Taucher beim Ausstossen des Wassers zusätzlich in Rotation versetzt.

3.6 Aufgaben - Auftrieb

1. Wie gross ist der Auftrieb auf eine Aluminiumkugel mit Radius 30 mm, die vollständig unter Wasser ist?
2. Ein Kupfer- und ein Aluminiumkörper erfahren in Wasser die gleiche Auftriebskraft. Was lässt sich über die beiden Volumen und die beiden Massen aussagen?
3. Berechnen Sie die Auftriebskraft, die in Glycerin auf einen vollständig eingetauchten Messingwürfel der Kantenlänge 40 mm wirkt. Berechnen Sie die Gewichtskraft sowie die scheinbare Gewichtskraft.
4. Schätzen Sie ab welche Auftriebskraft erfährt ein 75 kg schwerer Mensch in Luft. Berechnen Sie das Verhältnis von Auftriebskraft zu Gewichtskraft aus. Machen Sie eine Annahme bezüglich den Volumen von einem Mensch.
5. Ein Ball hat einen Durchmesser von 200 mm und wiegt 250 g. Welche Kraft ist nötig, um ihn ganz unter Wasser zu drücken?
6. Eine Eisenkugel von 100 mm Durchmesser hängt an einer Federwaage und ist in Wasser eingetaucht. Was zeigt die Waage an?
7. Ein Aluminiumwürfel, der an einem Federkraftmesser hängt, wird in einer Flüssigkeit eingetaucht. Vor dem Eintauchen zeigt der Kraftmesser 6.00 N an, nach dem Eintauchen noch 4.00 N. Wie gross ist die Dichte der Flüssigkeit?
8. Eine 150 g schwere, dünnwandige Schüssel aus Aluminium schwimmt auf dem Wasser. Wie gross ist das verdrängte Wasservolumen?
9. Ein Luftballon wird mit 8.0 Liter Helium unter Normaldruck befüllt. Die Hülle des Ballons hat eine Masse von 5.0 g. a) Untersuchen Sie, ob der Ballon steigen wird. b) Bestimmen Sie die maximale Nutzlast, die der Ballon gerade noch tragen kann.
10. Steigt oder sinkt das folgende Stück Kunststoff in Wasser? Die Masse des Stücks beträgt 135 g. Sein Volumen beträgt 85 ml.
11. Wie tief taucht ein 5.0 cm hoher Quader aus trockenem Eichenholz in Wasser ein?
12. In einem Becher befindet sich Wasser und einige Eiswürfel schwimmen auf der Oberfläche. Der Wasserspiegel reicht genau bis zum Becherrand. Nun beginnt das Eis zu schmelzen. Wie verändert sich der Wasserspiegel?

Mehr Aufgaben

Es gibt mehr Aufgaben (mit Musterlösungen) zum Thema Auftrieb auf der folgende Internet-Seite:
`http://www.leifiphysik.de/web_ph08/musteraufgaben/15_auftrieb/index.htm`

3.7 Quiz

Sie können Ihre Kenntnisse über Auftrieb selber überprüfen mit dem Online-Test:
`http://www.leifiphysik.de/web_ph08/tests/15_auftrieb/frameset.htm`

3.8 Musterlösungen - Auftrieb

1. Das Volumen einer Kugel mit Radius r wird mit folgender Formel berechnet: $V = 4/3 \cdot \pi \cdot r^3$. Es folgt für die Auftriebskraft:

$$F_A = \rho \cdot g \cdot V = 4/3 \cdot \pi \cdot \rho \cdot g \cdot r^3 = \cdot 4/3 \cdot \pi \cdot 998\,\mathrm{kg/m^3} \cdot 9.81\,\mathrm{m/s^2} \cdot (0.03\,\mathrm{m})^3 = 1.107\,\mathrm{N} = \underline{\underline{1.1\,\mathrm{N}}} \tag{21}$$

2. Beide Körper haben das gleiche Volumen. Über die Massen kann man nichts sagen. Dafür braucht man die Gewichtskraft und die scheinbare Gewichtskraft.

3. Die Auftriebskraft begrägt:

$$F_A = \rho_{Glycerin} \cdot g \cdot V = \rho \cdot g \cdot a^3 = 1261\,\mathrm{kg/m^3} \cdot 9.81\,\mathrm{m/s^2} \cdot (0.04\,\mathrm{m})^3 = 0.7917\,\mathrm{N} = \underline{\underline{0.79\,\mathrm{N}}} \tag{22}$$

Die Gewichtskraft ist:

$$\begin{aligned} F_G &= m \cdot g = \rho_{Messing} \cdot a^3 \cdot g && (23)\\ &= \rho_{Messing} \cdot g \cdot a^3 && (24)\\ &= 8470\,\mathrm{kg/m^3} \cdot 9.81\,\mathrm{m/s^2} \cdot (0.04\,\mathrm{m})^3 && (25)\\ &= \underline{\underline{5.3\,\mathrm{N}}} && (26) \end{aligned}$$

Die scheinbare Gewichtskraft ist:

$$\begin{aligned} F = F_G - F_A &= m \cdot g - \rho_{Glycerin} \cdot g \cdot V = \rho_{Messing} \cdot a^3 \cdot g - \rho_{Glycerin} \cdot g \cdot a^3 = && (27)\\ &= (\rho_{Messing} - \rho_{Glycerin}) \cdot g \cdot a^3 && (28)\\ &= (8470\,\mathrm{kg/m^3} - 1261\,\mathrm{kg/m^3}) \cdot 9.81\,\mathrm{m/s^2} \cdot (0.04\,\mathrm{m})^3 && (29)\\ &= 4.526\,\mathrm{N} = \underline{\underline{4.5\,\mathrm{N}}} && (30) \end{aligned}$$

Es gilt tatsächlich: $F_G = F + F_A$

4. Der Mensch hat ein Volumen von ca. $V = \frac{m_{Mensch}}{\rho_{Mensch}} = \frac{m_{Mensch}}{\rho_{Wasser}} = 0.075\,\mathrm{m^3}$. Die Dichte der Luft beträgt: $\rho_{Luft} = 1.293\,\mathrm{kg/m^3}$.

   Die Auftriebskraft beträgt: $F_A = \rho_{Luft} \cdot g \cdot V = 1.293\,\mathrm{kg/m^3} \cdot 9.81\,\mathrm{m/s^2} \cdot 0.075\,\mathrm{m^3} = 0.95\,\mathrm{N}$. Also cira 1 Newton. Das Verhältnis von Auftriebskraft zu Gewichtskraft beträgt: $\frac{F_A}{F_G} = \frac{\rho_{Luft} \cdot g \cdot V}{\rho_{Wasser} \cdot g} = \frac{\rho_{Luft} \cdot V}{\rho_{Wasser} \cdot V} = \frac{\rho_{Luft}}{\rho_{Wasser}} = 0.001 = 1‰$.

5. Das Volumen vom Ball beträgt $V = 4/3\pi r^3$ Die scheinbare Gewichtskraft beträgt:

$$\begin{aligned} F = F_G - F_A &= m \cdot g - \rho_{Wasser} \cdot g \cdot V && (31)\\ &= m \cdot g - \rho_{Wasser} \cdot g \cdot 4/3 \cdot \pi \cdot r^3 && (32)\\ &= 0.250\,\mathrm{kg} \cdot 9.81\,\mathrm{m/s^2} - 998\,\mathrm{kg/m^3} \cdot 9.81\,\mathrm{m/s^2} \cdot 4/3 \cdot \pi \cdot (0.1\,\mathrm{m})^3 && (33)\\ &= -38.557\,\mathrm{N} = \underline{\underline{-39\,\mathrm{N}}} && (34) \end{aligned}$$

Man muss die Kraft 39 Newton nach unten ausüben.

6. Die Waage zeigt die scheinbare Gewichtskraft:

$$\begin{aligned} F = F_G - F_A &= \rho_{Eisen} \cdot V \cdot g - \rho_{Wasser} \cdot g \cdot V && (35)\\ &= (\rho_{Eisen} - \rho_{Wasser}) \cdot g \cdot 4/3 \cdot \pi \cdot r^3 && (36)\\ &= (7860\,\mathrm{kg/m^3} - 998\,\mathrm{kg/m^3}) \cdot 9.81\,\mathrm{m/s^2} \cdot 4/3 \cdot \pi \cdot (0.05\,\mathrm{m})^3 && (37)\\ &= 35.25\,\mathrm{N} = \underline{\underline{35.2\,\mathrm{N}}} && (38) \end{aligned}$$

7. Vor dem Eintachen zeigt die Federwaage die Gewichtskraft:

$$F_G = m \cdot g = \rho_{Aluminium} \cdot V \cdot g = 6\,\mathrm{N} \tag{39}$$

Nach dem Eintauchen zeigt die Federwaage die scheinbare Gewicht:

$$F = F_G - F_A = (\rho_{Aluminium} - \rho_{Fl}) \cdot g \cdot V = 4\,\mathrm{N} \tag{40}$$

Das Verhältnis zwischen Gewichtskraft und scheinbare Gewichtskraft beträgt dann:

$$\frac{F_G}{F} = \frac{\rho_{Aluminium} \cdot V \cdot g}{(\rho_{Aluminium} - \rho_{Fl}) \cdot g \cdot V} = \frac{\rho_{Aluminium}}{\rho_{Aluminium} - \rho_{Fl}} \tag{41}$$

Nach ρ_{Fl} auflösen:

$$\begin{aligned}
\frac{\rho_{Aluminium} - \rho_{Fl}}{\rho_{Aluminium}} &= \frac{F}{F_G} && (42)\\
1 - \frac{\rho_{Fl}}{\rho_{Aluminium}} &= \frac{F}{F_G} && (43)\\
\rho_{Fl} &= (1 - \frac{F}{F_G}) \cdot \rho_{Aluminium} && (44)\\
\rho_{Fl} &= (1 - \frac{4\,\mathrm{N}}{6\,\mathrm{N}}) \cdot 2700\,\mathrm{kg/m^3} && (45)\\
&= \underline{\underline{900\,\mathrm{kg/m^3}}} && (46)
\end{aligned}$$

Es könnte zum Beispiel Petroleum, Öl oder Toluol sein.

8. Es herrscht ein Gleichgewicht zwischen Gewichtskraft und Auftriebskraft:

$$\begin{aligned}
F_G &= F_A && (47)\\
m \cdot g &= \rho_{Wasser} \cdot V_{eingetaucht} \cdot g && (48)\\
m &= \rho_{Wasser} \cdot V && (49)\\
& && (50)
\end{aligned}$$

Nach V auflösen:

$$V_{eingetaucht} = \frac{m}{\rho_{Wasser}} = \frac{0.150\,\mathrm{kg}}{998\,\mathrm{kg/m^3}} = 0.0001503\,\mathrm{m^3} = \underline{\underline{1.5\,\mathrm{dl}}} \tag{51}$$

9. a) Die scheinbare Gewichtskraft beträgt:

$$\begin{aligned}
F &= F_G - F_A && (52)\\
&= m_{Ballon} \cdot g + m_{Helium} \cdot g - \rho_{Luft} \cdot g \cdot V && (53)\\
&= (m_{Ballon} + \rho_{Helium} \cdot V - \rho_{Luft} \cdot V) \cdot g && (54)\\
&= (m_{Ballon} + (\rho_{Helium} - \rho_{Luft}) \cdot V) \cdot g && (55)\\
&= (0.005\,\mathrm{kg} + (0.1785\,\mathrm{kg/m^3} - 1.293\,\mathrm{kg/m^3}) \cdot 0.008\,\mathrm{m^3}) \cdot 9.81\,\mathrm{m/s^2} && (56)\\
&= 0.038\,\mathrm{N} && (57)
\end{aligned}$$

Die scheinbare Gewichtskraft ist negativ (Auftriebskraft grösser als Gewichtskraft), d.h. der Ballon <u>steigt</u>.

b) Die maximale Last hat eine Gewichtskraft genau gleich gross wie die scheinbare Gewicht vom Teil a). Infolgedessen beträgt die Last 3.9 g

Man kann auch die Last herleiten. Im Gleichgewicht gibt:

$$\begin{aligned}
F_G &= F_A && (58)\\
m_{Ballon} \cdot g + m_{Helium} \cdot g + m_{Last} \cdot g &= \rho_{Luft} \cdot g \cdot V && (59)\\
m_{Ballon} + \rho_{Helium} \cdot V + m_{Last} &= \rho_{Luft} \cdot V && (60)\\
m_{Last} &= \rho_{Luft} \cdot V - m_{Ballon} - \rho_{Helium} \cdot V && (61)\\
&= (\rho_{Luft} - \rho_{Helium}) \cdot V - m_{Ballon} && (62)\\
&= (1.293\,\mathrm{kg/m^3} - 0.1785\,\mathrm{kg/m^3}) \cdot 0.008\,\mathrm{m^3} - 0.005\,\mathrm{kg}\\
&= 0.0039\,\mathrm{kg} = \underline{\underline{3.9\,\mathrm{g}}} && (63)
\end{aligned}$$

Ein Heliumballon kann ein Last von 3.9 Gramm tragen.

10. Die scheinbare Gewichtskraft beträgt:

$$\begin{aligned}
F &= F_G - F_A && (64)\\
&= m \cdot g - \rho_{Wasser} \cdot g \cdot V && (65)\\
&= (0.135\,\mathrm{kg} - (998\,\mathrm{kg/m^3} \cdot 85 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{m^3}) \cdot 9.81\,\mathrm{m/s^2} && (66)\\
&= 0.492\,\mathrm{N} && (67)
\end{aligned}$$

Die scheinbare Gewichtskraft ist positiv (Auftriebskraft kleiner als Gewichtskraft), d.h. das Stück Kunstoff <u>sinkt</u>.

11. Im Kräftegleichgewicht ist die Auftriebskraft gleich der Gewichtskraft. Das Volumen vom Quader beträgt: $V = A \cdot h$.

$$\begin{aligned}
F_A &= F_{G,Eisscholle} && (68)\\
\rho_{Wasser} \cdot g \cdot V_{eingetaucht} &= \rho_{Eichenholz} \cdot g \cdot V && (69)\\
\rho_{Wasser} \cdot A \cdot h_{eingetaucht} &= \rho_{Eichenholz} \cdot A \cdot h && (70)\\
\rho_{Wasser} \cdot h_{eingetaucht} &= \rho_{Eichenholz} \cdot h && (71)\\
h_{eingetaucht} &= \frac{\rho_{Eichenholz}}{\rho_{Wasser}} \cdot h = \frac{670\,\mathrm{kg/m^3}}{998\,\mathrm{kg/m^3}} \cdot 5\,\mathrm{cm} = \underline{\underline{3.4\,\mathrm{cm}}} && (72)
\end{aligned}$$

12. <u>Wasserstand ändert sich nicht</u>, es überläuft auch nichts. Begründung: Eis schwimmt auf Wasser. Die Gewichtskraft des Eises entspricht der Gewichtskraft des verdrängten Wassers.

    Wenn die schwimmende Eisberg schmelzen steigt der Wasserspiegel nicht! Nur wenn das Eis auf einer festen Landmasse schmilzt dann steigt der Wasserspiegel.