



Schulbiologiezentrum Hannover

Vinnhorster Weg 2, 30419 Hannover

Tel: 0511-16847665/7

Fax: 0511-16847352

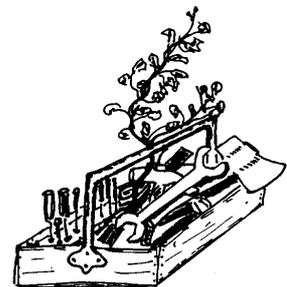
Email : schulbiologiezentrum@hannover-stadt.de

Hannover

Unterrichtsprojekte Natur und Technik

19.59

Als Anregung für
für Unterricht, Arbeitsgemeinschaften, Projektwochen
und Schullandheimfahrten:



Heureka: „Auftrieb“ in der Grundschule „Schwimmen – Schweben – Untergehen“ in 15 Lernstationen

Wenn Sie einen Finger in den Wassereimer tauchen...



verändert sich gar nichts

wird der Eimer schwerer

wird der Eimer leichter



Willkommen in „Archimedesien“, dem geheimnisvollen Land des Auftriebs. In 15 Spiel- und Lernstationen möchten wir Ihre Schüler mit der Physik des Schwimmens, Schwebens und Untergehens vertraut machen. Die Physik soll sich dabei von ihrer angenehmsten Seite zeigen. Getreu der Devise dass eine Frage edler ist als die Antwort möchten wir die Neugier und das spielerische Ausprobieren vor die Einsicht in die Regelmäßigkeit physikalischer Phänomene stellen. Das bedeutet auch, dass die Mathematik in den Hintergrund treten darf. Archimedesien ist aber auch das Land der experimentellen Physik. Das Grübeln und

Ausprobieren führt nicht immer geradlinig zum Ziel. Manchmal ergeben sich recht unbequeme Fragestellungen und Überlegungen, welche die traditionelle Lehrerrolle heftig in Frage stellen können. Die sich entwickelnden Fragen erfordern, sich intensiv und gemeinsam mit der Materie auseinander zu setzen. Es kann der Lernatmosphäre nur gut tun wenn Sie Ihren Kindern zeigen, selbst ein begeisterter Forscher zu sein.

Die vorgeschlagenen Experimente eignen sich für die Grundschule und die frühe Sekundarstufe I. Sie lassen sich beispielsweise an einem Projekttag zu einem Lernzirkel zusammenfassen oder in Einzelthemen zergliedern, teilweise auch als Elemente für „5-Minuten-Physik“ einsetzen.

Die physikalischen Zusammenhänge hinter den manchmal paradox wirkenden Erfahrungen haben wir am Ende dieser Arbeitshilfe zusammengefasst.

Die benötigten Materialien sind leicht beschaffbar, eine Zusammenstellung finden Sie im Anhang

Inhalt

- 1Leichte Dinge schwimmen, schwere nicht - oder?
- 2Schwere Dinge schwimmen auch!
- 3Wie viel Sand kann das Dosenschiff tragen?
- 4Welches Gewicht kann Wasser tragen?
- 5Schwimmt, schwimmt nicht, schwimmt....
- 6Kann man im Wasser sein Gewicht verlieren?
- 7Wie tief taucht ein Gegenstand ein?
- 8Das Märchen von den Eiswürfeln in der Cola
- 9Schwimmen im Meer
- 10Druck auf den Ohren
- 11Woher kommt der Auftrieb?
- 12Archimedes und der betrügerische Goldschmied
- 13Das Märchen vom geizigen Kaufmann und dem armen Schiffbauer
- 14Der „weggezauberte“ Auftrieb
- 15Der verflixte Auftrieb: Etwas zum Grübeln und Ausprobieren

1 Leichte Dinge schwimmen, schwere nicht - oder?

Ein Blauwal schwimmt durch das tiefe Meer. Wenn er auf den Meeresgrund weit unter ihm hinunterschauen könnte würde ihm vielleicht schwindelig.

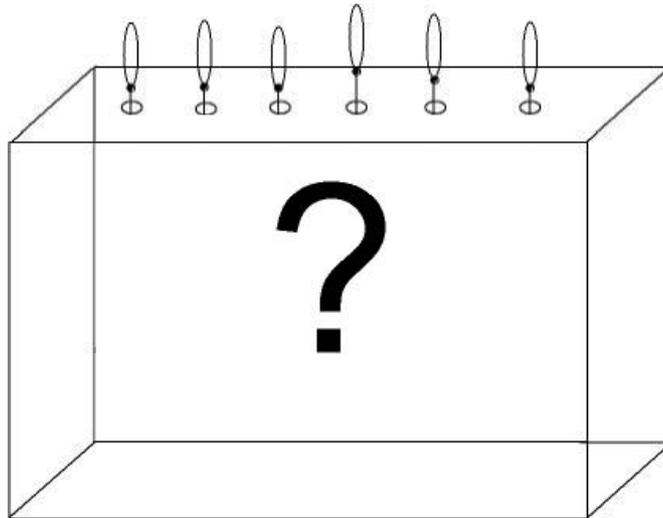
Warum stürzt er nicht ab? Ein Blauwal ist bestimmt kräftig und kann gut schwimmen. Aber tut er das Tag und Nacht? Sein ganzes Leben lang? Oder enthält er so viel Luft dass sie wie eine Schwimmweste wirkt?

Ein Wal der sich ins flache Wasser verirrt wird von seinem eigenen Gewicht erdrückt. Im Meer aber kann ein Wal aus dem Wasser herausschießen und dann für Sekunden fliegen. Das spricht für seine Stärke. Aber schlafen Wale nie?

Was hat das Gewicht damit zu tun ob ein Gegenstand schwimmt oder nicht?

Ein kleines Experiment soll zeigen, dass alles nicht so einfach ist wie es scheint:

Vor Dir steht ein Kasten in den Du nicht hineinsehen kannst. Im Kasten liegen sechs Gegenstände. An jedem Gegenstand hängt ein Faden mit einer Schlaufe. Mit dem Faden kannst Du den Gegenstand etwas hochziehen.



Entscheide Dich welcher Gegenstand schwimmt und welcher nicht!

	Schwimmt	Geht unter
A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
B	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
C	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
D	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
F	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Hebe dann den Kasten vorsichtig hoch und schaue Dir die Gegenstände an!

2 Schwere Dinge schwimmen auch!

Du brauchst:

1 in mehrere Stücke zersägten Besenstiel, 1 Schale, Wasser

Früher waren die meisten Schiffe aus Holz. Eigentlich schwimmt Holz. Trotzdem gingen Schiffe unter und liegen heute am Meeresgrund. Ein Schiff darf man eben nicht überladen und es darf nicht zu tief ins Wasser tauchen.

Vor Dir liegen mehrere Stücke eines zersägten Besenstiels. Sie sind unterschiedlich schwer.

Überlege was geschieht, wenn Du sie ins Wasser legst!



- Längere Stücke tauchen tiefer ein als kürzere.
- Kürzere Stücke tauchen tiefer ein als längere.
- Ganz lange Stücke gehen unter.
- Ganz kurze Stücke tauchen überhaupt nicht ein.
- Alle Stücke tauchen gleich tief ein.

Lege die Stücke nacheinander ins Wasser und schaue genau hin!

3 Wie viel Sand kann das Dosen-schiff tragen?

Du brauchst:

2 gleiche flache Dosen (Fischkonserve), 1 Schale, 1 Tafelwaage, trockenen Sand, Wasser



Fülle eine flache Dose vorsichtig mit so viel trockenem Sand, dass sie gerade noch schwimmt.

Wenn die Dose beim Füllen dabei untergehen sollte, musst Du den Versuch mit neuem Sand wiederholen.

Achte darauf, dass das Dosen-schiff waagrecht im Wasser liegt. Wenn es das nicht tut, musst Du den Sand gleichmäßiger verteilen.

Fülle die zweite Dose mit so viel Wasser, dass sie genau so tief eintaucht wie die erste Dose.

Was meinst Du? Kreuze an!

- Beide Dosen können bis zum Rand gefüllt werden ohne unterzugehen.
- Beide Dosen können mit der gleichen Menge gefüllt werden, aber nicht bis zum Rand.
- Es darf mehr Wasser als Sand in die Dosen gefüllt werden.
- Es darf mehr Sand als Wasser in die Dosen gefüllt werden.

Probier es aus!

Stelle die beiden Dosen auf eine Waage und vergleiche ihr Gewicht!

- Der Sand in der einen Dose wiegt mehr als das Wasser in der anderen Dose.
- Der Sand in der einen Dose wiegt genau so viel wie das Wasser in der anderen Dose.
- Der Sand in der einen Dose wiegt weniger als das Wasser in der anderen Dose.

4 Welches Gewicht kann Wasser tragen?

Du brauchst:

2 leichte Plastikbecher, 1 Eimer, 1 Tafelwaage, trockenen Sand, Wasser

Setze den einen Becher in einen mit Wasser gefüllten Eimer. Fülle den Becher vorsichtig mit so viel Sand, dass er bis zum Rand eintaucht ohne unterzugehen. Dabei musst Du sehr geschickt vorgehen: Verteile den Sand vorsichtig mit den Fingern damit der Becher gerade im Wasser liegt. Pass auf, dass kein Wasser in den Becher läuft!



Stelle den Becher auf die eine Platte der Tafelwaage. Stelle einen zweiten leeren Becher auf die andere Platte.

Überlege wie viel Wasser Du in den leeren Becher füllen müsstest damit beide Becher gleich schwer werden.

Damit beide Becher gleich schwer werden und die Waage ins Gleichgewicht kommt...

- müssen beide Becher gleich hoch mit Sand oder Wasser gefüllt werden.
- muss weniger Wasser als Sand in den Bechern sein.
- muss der zweite Becher bis zum Rand mit Wasser gefüllt werden.
- müssen beide Becher bis zum Rand gefüllt werden.

Probier es aus! Welche Vermutung ist richtig?

5 Schwimmt, schwimmt nicht, schwimmt....

Du brauchst:

1 Trinkglas, 1 Untertasse, 2 gleiche leichte Plastikbecher, 1 Waage, verschiedene Gegenstände

Stelle das Trinkglas auf die Untertasse. Fülle es bis zum Rand mit Wasser.



Lasse jetzt verschiedene Dinge ins Wasser gleiten.

Dabei darfst Du Deine Finger nicht eintauchen.

Fange das überschwappende Wasser mit der Untertasse auf.
Gieße das Wasser auf der Untertasse in den einen Plastikbecher.

Nimm den eingetauchten Gegenstand aus dem Wasser heraus, lasse ihn über der Untertasse abtropfen und lege ihn in den zweiten Plastikbecher.

Vergleiche die Gewichte der beiden Becher auf einer Waage!

Was vermutest Du?

- Schwimmende Gegenstände sind leichter als das von ihnen verdrängte Wasser.
- Schwimmende Gegenstände sind genau so schwer wie das von ihnen verdrängte Wasser.
- Gegenstände die untergehen sind schwerer als das von ihnen verdrängte Wasser.
- Gegenstände die untergehen sind leichter als das von ihnen verdrängte Wasser.

6 Kann man im Wasser sein Gewicht verlieren?

Du brauchst: 1 Eimer, 1 Stein, 1 kräftiges Gummiband, Bindfaden, 1 Kraftmesser, 1 flache Schale, Waage

Wenn ein Mensch in ein Schwimmbad springt

- wird er schwerer wird er leichter bleibt er genau so schwer

Überlege genau und begründe Deine Entscheidung.

Probier es aus:

- Hänge einen Stein an einen kräftigen Faden. Mache eine Schlaufe ans andere Ende des Fadens.
- Halte den Stein am Faden und tauche ihn in einen mit Wasser gefülltes Gefäß.

Wenn Du nicht genau entscheiden kannst ob sich das Gewicht des Steins verändert dann knote ein Gummiband an den Faden und tauche den Stein erneut ins Wasser.

Was geschieht mit dem Gummiband?

- es wird länger es wird kürzer es bleibt so lang

Hänge den Stein an ein Kraftmesser. Das Kraftmesser enthält eine Metallfeder die bei Belastung länger wird. Der Gummiring am Ende der Metallfeder zeigt an wie viel Kraft Du brauchst um den Stein zu halten. Die Kraft wird in Newton (N) gemessen. Mit der Kraft von 1 N kannst Du auf der Erde einen Gegenstand mit der Masse 100 g hochheben. Vergleiche das Gewicht des Steins in der Luft und im Wasser!

Wie viel Kraft brauchst Du um den Stein in der Luft zu halten? _____ N

Wie viel Kraft brauchst Du um den Stein im Wasser zu halten? _____ N

Stelle eine Schale unter das Gefäß und fülle es bis zum Rand mit Wasser. Gib das übergelaufene Wasser in den Becher hänge ihn an das Kraftmesser! (Miss vorher das Gewicht des leeren Bechers!)

Was stellst Du fest?

Das Gewicht des übergelaufenen Wassers ist...

- gleich dem Gewicht des Steins in der Luft.
 gleich dem Gewicht des Steins im Wasser.
 genau so groß wie der Unterschied zwischen dem Gewicht an der Luft und dem Gewicht im Wasser.

7 Wie tief taucht ein Gegenstand ein?

Du brauchst:

*1 Tasse, 1 Untertasse, verschiedene Dinge die auf dem Wasser schwimmen,
1 genaue Waage*

Lasse einen Korken ins Wasser fallen. Der Korken schwimmt, ein Teil ist untergetaucht, ein Teil liegt über der Wasseroberfläche.

Überlege warum der Korken nur teilweise im Wasser liegt!

Lasse andere Gegenstände im Wasser im Wasser schwimmen. Wie tief tauchen sie ins Wasser ein? Wovon hängt das ab?

Stelle die Untertasse auf die Waage und notiere ihr Gewicht. Stelle dann die Tasse auf die Untertasse. Fülle die Tasse genau bis zum Rand mit Wasser. Das Wasser darf aber nicht überlaufen!

Miss das Gewicht mit einer genauen Waage.

Gib jetzt ganz vorsichtig einen Korken in die Tasse und lasse ihn schwimmen. Miss das Gewicht erneut.

Das übergelaufene Wasser sammelt sich auf der Untertasse.

Miss das Gewicht der Untertasse mit dem übergelaufenen Wasser.

Welches Gewicht hat das über den Rand des Glases gelaufene Wasser?

Was stellst Du fest?

Das vom schwimmenden Korken verdrängte Wasser wiegt genau so viel wie der Korken.

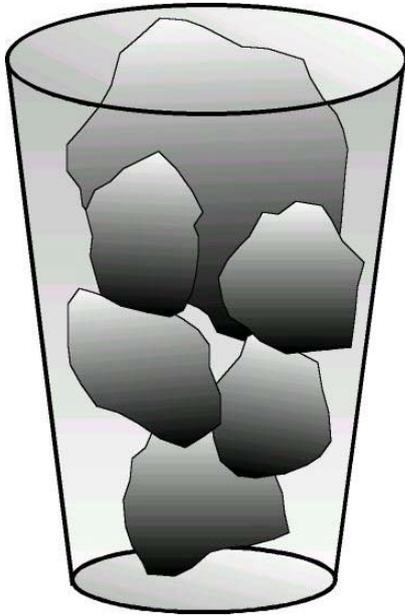
Der Korken wiegt genau so viel wie das Wasser, dass überschwappen würde wenn Du den Korken ganz unter Wasser drückst.

Der Korken ist leichter als das beim Schwimmen von ihm verdrängte Wasser weil Wasser schwerer ist als Kork.

8 Das Märchen von den Eiswürfeln in der Cola

Du brauchst:

1 Trinkglas, Eiswürfel, Wasser



Es war einmal ein Kind, dem war heiß und es hatte großen Durst. Es ging zum Cola-Automaten, ließ einige Eiswürfel in den Becher plumpsen und füllte den Becher dann randvoll mit Cola.

Dann ging es langsam und vorsichtig zum Tisch zurück. Die Mutter sah den bis zum Rand gefüllten Becher und begann zu schimpfen: „Du kannst wieder mal den Hals nicht voll kriegen! Jetzt trink bloß schnell aus, bevor die Eiswürfel schmelzen und die Cola über den Rand läuft!“

Und dann erzählte sie dem Kind von schmelzenden Eisbergen und davon, dass das Meer steigt und wir vielleicht alle untergehen und....“

Und das Kind schaute seine Mutter an und fand die Geschichte mit den schmelzenden Eisbergen so spannend, dass es völlig vergaß wie heiß ihm war und dass die Eiswürfel im Becher langsam schmolzen...

Probier es mal aus und überlege vorher was geschehen wird!

- Die Eiswürfel schmelzen und das Wasser läuft über den Rand des Glases.
- Ein Teil der Eiswürfel ragt aus dem Wasser heraus. Nur dieser Teil läuft beim Schmelzen über den Rand.
- Die Eiswürfel schmelzen. Sonst passiert gar nichts.
- Wenn die Eiswürfel schmelzen sinkt das Wasser im Glas.

Gib Eiswürfel in ein Glas und fülle das Glas bis zum Rand mit Wasser.

Warte so lange bis das Wasser überläuft!

9 Schwimmen im Meer

Du brauchst:

1 Reagenzglas, 1 durchbohrten Gummistopfen, 1 Trinkhalm, 1 Eimer, 1 wasserfesten Folienstift, Wasser, Salz



Lasse Dir ein Reagenzglas, einen passenden Stopfen mit Loch, einen Trinkhalm, einen wasserfesten dünnen Folienstift und eine Pipette geben. Der Trinkhalm muss in das Loch passen. Es darf später kein Wasser hineinlaufen.

Stecke den Trinkhalm in das Loch, so dass er oben nur noch etwa 4 cm herausragt. Zeichne mit dem Folienstift 2 cm über dem Stopfen einen waagerechten Strich auf den Trinkhalm. Fülle das Reagenzglas zur Hälfte mit Wasser und setze den Stopfen mit dem Trinkhalm auf die Öffnung.

Gib die „Boje“ in einen mit 10 l Wasser gefüllten Eimer. Gib mit der Pipette so lange Wasser in die Öffnung des Trinkhalms bis die „Boje“ bis zur Markierung eintaucht. Achtung: Stecke dabei die Pipette in die Öffnung hinein oder gib die Tropfen einzeln auf den Rand der Öffnung. Manchmal bleibt der Tropfen an der Öffnung stecken und rutscht nicht herunter. Dann musst Du ihn mit der Pipette zurücksaugen.

Gib langsam Salz in das Wasser und beobachte die „Boje“ und die Markierung.

Was geschieht?

- Die Boje sinkt
- Die Boje steigt
- Die Lage der Boje verändert sich nicht

Überlege warum das so ist! (Hier darfst Du zwei Kreuze machen!)

- Das Wasser das von der Boje verdrängt wird ist durch das Salz schwerer geworden
- Das Wasser das von der Boje verdrängt wird ist durch das Salz leichter geworden
- Deshalb muss die Boje nicht mehr so tief eintauchen wie im Leitungswasser
- Deshalb muss die Boje tiefer eintauchen als im Leitungswasser

10 Druck auf den Ohren

Du brauchst:

1 Trichter, 1 Luftballon, 1 durchsichtigen Schlauch, Schere, 1 großen Eimer oder 1 Aquarium, Wasser

Wenn Du im Schwimmbad einmal bis zum Grund heruntergetaucht bist hast Du bestimmt den Druck auf Deinen Ohren bemerkt.

Manchmal musst Du mit zugehaltener Nase schnauben, damit Du überhaupt wieder etwas hören kannst.

In unserem Ohr haben wir eine dünne aber kräftige Haut, das Trommelfell. Der Schall bringt das Trommelfell zum Schwingen.

Baue Dir ein künstliches Ohr mit Trommelfell und finde damit heraus was unter Wasser geschieht.

Schneide mit der Schere den Hals des Luftballons ab. Ziehe den Luftballon vorsichtig über die Öffnung des Trichters. Schiebe den Plastikschauch über das Rohr des Trichters.

Lege das künstliche Ohr auf Deine Brust und stecke den Schlauch in Dein Ohr! Wenn Du ganz still bist kannst Du Deinen Herzschlag hören!

Biege das untere Ende des Schlauches zu einem „U“ und halte es so fest.



Fülle etwas Wasser in das U.

Tauche den Trichter in einen mit Wasser gefüllten Eimer.

Was stellst Du fest? (Hier darfst Du zwei Kreuze machen!)

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Das Wasser im „U“ bleibt wo es ist. | <input type="checkbox"/> Der Ballon wird in den Trichter gedrückt |
| <input type="checkbox"/> Das Wasser im „U“ bewegt sich vom Trichter weg. | <input type="checkbox"/> Der Ballon wird aus dem Trichter herausgedrückt. |
| <input type="checkbox"/> Das Wasser im „U“ bewegt sich zum Trichter hin | <input type="checkbox"/> Der Ballon bleibt so wie er war |

11 Woher der Auftrieb kommt

Du brauchst:

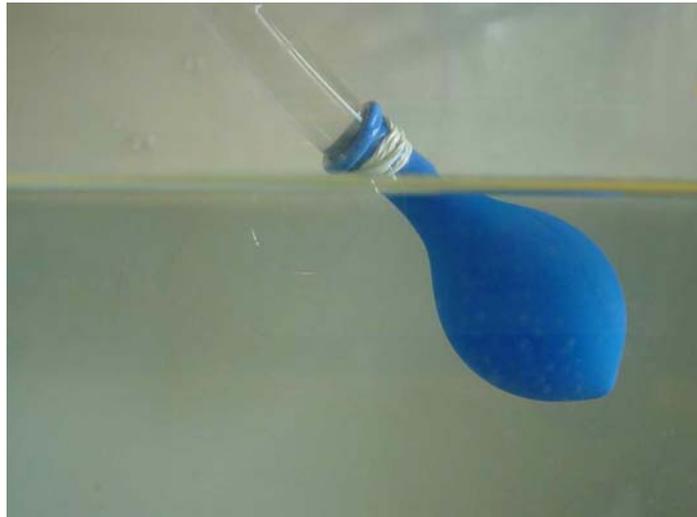
1 Luftballon, 1 durchsichtigen Schlauch, 1 Gummiband, 1 Aquarium, Wasser

Blase den Luftballon drei mal kräftig auf. So wird er weich.

Ziehe den Luftballon über den durchsichtigen Plastikschlauch.

Fülle Wasser in den Schlauch.

Halte den Schlauch senkrecht und lasse das Wasser in den Ballon laufen.



Tauche den Ballon in den Wassereimer.

Was stellst Du fest? (Hier darfst Du zwei Kreuze machen!)

- | | |
|---|---|
| <input type="radio"/> Der Ballon wird größer. | <input type="radio"/> Das Wasser im Schlauch steigt. |
| <input type="radio"/> Der Ballon wird kleiner. | <input type="radio"/> Das Wasser im Schlauch sinkt. |
| <input type="radio"/> Der Ballon bleibt so groß wie er war. | <input type="radio"/> Das Wasser im Schlauch bleibt da wo es war. |

Warum ist das so? (Hier darfst Du zwei Kreuze machen!)

- Das Wasser will im Ballon will zurück nach oben.
- Das Gewicht des Wassers im Eimer drückt auf den Ballon
- Das Wasser im Ballon wird in den Schlauch gedrückt
- Das Wasser im Ballon ist leichter als das Wasser ringsherum. Deshalb steigt es nach oben.

12 Archimedes und der betrügerische Goldschmied

Du brauchst:

Eine Schalenwaage, eine Eisenmutter, Knetmasse, einen Wassereimer, Wasser

Vor langer Zeit rief ein König seinen Goldschmied zu sich und beauftragte ihn eine Krone aus Gold herzustellen. Er gab dem Goldschmied einen Klumpen Gold mit, nicht ohne vorher das Gewicht des Goldes gemessen zu haben.

Der Goldschmied war bekannt für kleine Betrügereien und der König fragte sich zu Recht, ob der Schmied vielleicht einen Teil des Goldes durch billigeres Silber ersetzen würde? Deshalb lies er die fertige Krone wiegen.

Der Goldschmied jedoch konnte dem König zeigen dass die Krone das gleiche Gewicht hatte wie der Goldklumpen.

Der König blieb misstrauisch. Er rief seinen Freund Archimedes zu sich und bat ihn den Betrug zu beweisen. In der Badewanne hatte Archimedes eine Idee. Nackt soll er durch die Straßen gelaufen sein und „Heureka!“ (Ich habe es herausgefunden!) gerufen haben.

Er legte die Krone und so viel Gold auf die Waage bis diese im Gleichgewicht war. Dann tauchte er die Waage mit der Krone und dem Gold ins Wasser.

Das Ergebnis des Experiments zeigte, dass der König Recht gehabt hatte. Der betrügerische Goldschmied verlor sein Leben...

Mache es so wie Archimedes. Du brauchst eine Schalenwaage.

Lege eine dicke Eisenmutter (statt des Goldklumpens) in eine Waagschale.

Forme aus Knetmasse eine Krone die genau so schwer ist wie die Eisenmutter und lege sie in die andere Waagschale.



Tauche die Waagschalen in ein mit Wasser gefülltes Gefäß.

Was meinst Du? Überlege vorher und probier es dann aus!

- Die Mutter und die Knetmassekrone sind auch im Wasser gleich schwer
- Im Wasser ist die Mutter leichter als die Knetmassekrone
- Im Wasser ist die Mutter schwerer als die Knetmassekrone

13 Das Märchen vom geizigen Kaufmann und dem armen Schiffbauer

Du brauchst: 2 gleiche Becher, eine Tüte Nägel oder Schrauben, einen Wassereimer, eine Waage und Wasser

Vor langer Zeit lebte ein Schiffbauer in einer kleinen Stadt am Rande der Wüste. Die Stadt lag am einzigen Fluss der durch das Land zog. Dort wohnten fast alle Menschen denn nur dort gab es Wasser zum Trinken und für den Ackerbau. Leider fehlte dem Fluss meistens das Wasser, denn dort wo der Fluss seine Quellen hatte, regnete es nur im Sommer. Der Mann konnte nur selten Schiffe bauen und war deshalb sehr arm.

Jetzt war es Winter, und man konnte das trockene Flussbett zu Fuß überqueren. Die Menschen warteten sehnsüchtig auf die Regenzeit denn mit ihr kamen Schiffe den Fluss herauf und brachten Kleider, Lebensmittel und alles was zum Leben sonst noch gebraucht wurde.

In dieser trockenen Zeit kam ein reicher aber geiziger Kaufmann und sagte: Baue mir ein Schiff das viel Gold tragen kann und auch im Sturm nicht untergeht. Als Lohn dafür zahle Dir so viel Gold wie das Schiff tragen kann. Wenn du es vor Beginn der Regenzeit fertig hast, sollst du sogar die zehnfache Menge Gold dafür bekommen. Wenn du es aber erst in der Regenzeit fertig hast, zahle ich nur den zehnten Teil deines Lohnes.

Und der Kaufmann fügte hinzu: Wenn das Schiff fertig ist, wirst du es mit meinem Gold beladen. Und wehe dir, wenn es untergeht: Dann wirst du mir das Gold ersetzen.

Natürlich brauchte der Kaufmann das Schiff erst in der Regenzeit. Er hatte es überhaupt nicht eilig und freute sich darauf, nur den zehnten Teil des Preises bezahlen zu müssen. Der Schiffbauer war ratlos. Der Gedanke an das Gold ließ ihn nicht schlafen und er dachte tief nach. Wie sollte er mitten in der trockenen Zeit herausfinden wie viel Gold das Schiff tragen würde? Nun war es so, dass er während der letzten Regenzeit viel Wasser zum Trinken und zum Wässern seines kleinen Feldes aus dem Fluss geholt und in einem Becken aufbewahrt hatte. Natürlich reichte das Wasser nicht, um darin ein richtiges Schiff darin schwimmen zu lassen.

Da kam ihm eine Idee! Er nahm zwei Becher und füllte in den einen so viel Wasser hinein, dass er in einer mit Wasser gefüllten Schale schwamm. Mit den Händen bewegte er das Wasser in der Schale so dass Wellen wie bei einem Sturm entstanden und beobachtete dabei den schwimmenden Becher. Bald hatte er herausgefunden wie viel Wasser der Becher tragen konnte ohne umzukippen oder unterzugehen.

Dann ging er mit dem leeren und dem gefüllten Becher zum Kaufmann, bat ihn um etwas Gold und eine Waage und machte vor den Augen des Kaufmanns ein Experiment...

Noch am selben Tag machte er sich an die Arbeit. Er baute das Schiff in wenigen Wochen und übergab es dem Kaufmann noch lange vor dem Einsetzen der Regenzeit.

Als das Schiff mit der schweren Ladung Gold zu Wasser gelassen wurde ging es nicht unter. Der Kaufmann musste – ob er das nun wollte oder nicht – sein Versprechen einlösen. Der Schiffbauer erhielt die zehnfache Menge des Goldes die das Schiff tragen konnte.

Viele Kaufleute kamen zu ihm und baten ihn, auch für sie Schiffe zu bauen. Von weit her kamen Menschen die lernen wollten, wie man herausfinden kann was ein Schiff tragen kann. Und so fanden viele Menschen Arbeit und das arme Land verwandelte sich ein reiches Land das berühmt wurde für seine klugen Menschen.

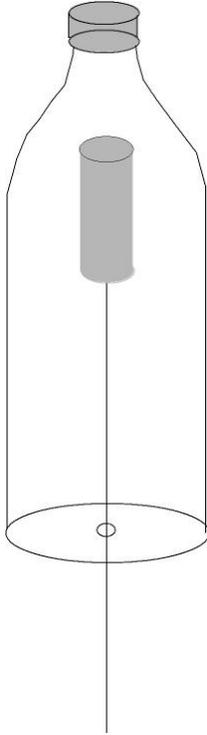
• Welche Idee wird der arme Schiffbauer gehabt haben?

Probiert Eure Ideen aus. Wenn Ihr genau so schlau seid wie der arme Schiffbauer werden Eure „Schiffe“ auch nicht untergehen.

Leider müsst Ihr Nägel und Schrauben statt Gold nehmen...

14 Der „weggezauberte“ Auftrieb

Besorge Dir eine Plastikflasche mit Schraubdeckel, einen Weinkorken und Bindfaden. Der Korken muss durch den Flaschenhals passen.



- Bohre ein Loch mitten durch die lange Seite des Korkens.
- Bohre ein kleines Loch in den Boden der Flasche.
- Schiebe von unten her einen Faden durch das Loch. Der Faden muss aus der Flaschenöffnung heraussehen.
- Ziehe den Faden durch das Loch im Korken und mache über dem Korken einen dicken Knoten.
- Prüfe ob der Faden nicht aus dem Korken rutscht.
- Schiebe den Korken ganz in die Flasche hinein
- Fülle die Flasche mit vollständig Wasser und schraube die Verschlusskappe gut fest.
- Halte die Flasche aufrecht. Wenn Du die Flasche nicht drückst wird kein Wasser durch das Loch laufen.
- Ziehe am Band und lasse es los!
- Hänge kleine Gewichte an das Band. Welche Last kann der Korken nach oben ziehen?
- Halte die Flasche aufrecht. Ziehe den Korken ganz nach unten und lasse die Flasche fallen.

Was wird geschehen?

Während die Flasche fällt...

- bleibt der Korken am Boden steigt der Korken schneller als sonst nach oben steigt der Korken ganz normal auf

- Ziehe den Korken ganz nach unten und hebe die Flasche schnell nach oben.

Wenn ich die Flasche ganz schnell nach oben hebe...

- bleibt der Korken am Boden steigt der Korken schneller als sonst nach oben steigt der Korken ganz normal auf

Warum ist das so?

Während die Flasche fällt hat das Wasser kein Gewicht.

Während Du die Flasche ganz schnell hochhebst wird das Wasser schwerer

Denke bei Deinen Antworten an Deine Erfahrungen in der Achterbahn!

15 Der verflixte Auftrieb: Etwas zum Grübeln und Ausprobieren

Stelle einen 5 Liter Eimer auf eine Tafelwaage. Lege Gewichte mit zusammen 4 kg auf die andere Seite der Waage. Fülle so viel Wasser in den Eimer, dass die Zungen der Waage auf gleicher Höhe liegen. Zu viel eingefülltes Wasser nimmst Du mit einem Becher wieder heraus.

Überlege was geschehen wird, wenn Du einen Finger in das Wasser tauchst.

Begründe Deine Vermutung!

Probier es aus!

Was geschieht?



Es verändert sich gar nichts

Der Eimer wird leichter

Der Eimer wird schwerer



Versuche die Waage durch Hinzufügen oder Wegnehmen von Gewichten wieder ins Gleichgewicht zu bringen.

Kann man seinen eigenen Finger wiegen oder ist das Unsinn?

Wahr oder gelogen? Die „Zwei-Wassereimer-Diät“

Stelle Dich zwischen zwei Tische auf die Waage. Auf jedem Tisch steht ein mit Wasser gefüllter Eimer.

Tauche beide Arme in die Eimer ohne die Eimer zu berühren.

Du wirst schwerer

Du wirst leichter

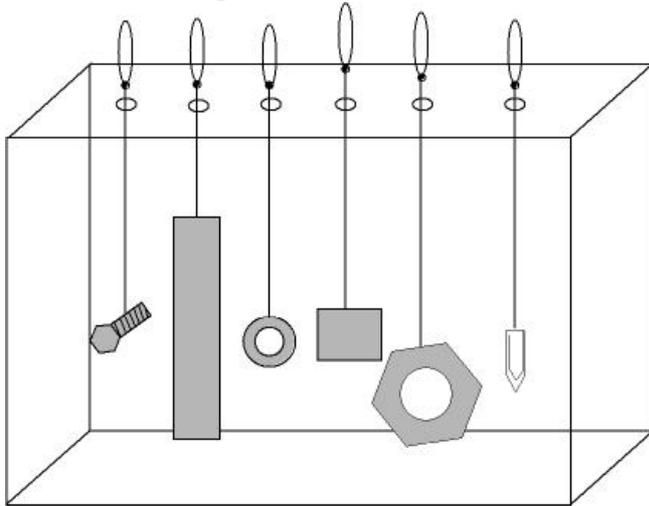
Es ändert sich nichts: Du bleibst genau so schwer wie vorher

Ziehe Deine Arme aus dem Wasser heraus.

Na, hat die Diät etwas genützt?

Auftrieb physikalisch gesehen:

1 Leichte Dinge schwimmen, schwere nicht - oder?



„Schwere Dinge gehen unter, leichte schwimmen...“, meinen viele ganz spontan. Der erste Versuch zeigt, dass dies so nicht stimmt. Eine leichte Büroklammer geht unter, der schwere Holzblock schwimmt. Der Blauwal wiegt viele Tonnen - und schwimmt!

Ein Kilogramm Metall geht unter, ein gleich schweres Holzstück schwimmt! Die Frage „schwimmt oder schwimmt nicht?“ hat mit dem **Gewicht** der Dinge offenbar nichts zu tun. Und irgendwie wohl doch: Eisen werden

die meisten Kinder intuitiv für schwer und Holz für leichter als Eisen gehalten. Die Aussage „Eisen ist schwer und Holz leichter als Eisen“ macht nur Sinn wenn wir von zwei gleich großen Gegenständen sprechen. Mit „gleich groß“ sind messbare Eigenschaften wie die Länge oder die Breite der Gegenstände verbunden. Gemeint ist also der Rauminhalt des Gegenstandes, das **Volumen**.

Wenn zwei Gegenstände mit gleichem Volumen unterschiedlich schwer sind hat das Gründe die sich unseren Augen entziehen. Einmal sind die winzigen Teilchen (Atome, Moleküle) aus denen sie bestehen unterschiedlich schwer. Zum Anderen liegen die Teilchen dichter oder weniger dicht beieinander. Das kommt in dem etwas unhandlichen Begriff der **Dichte** zum Ausdruck. Um eine Analogie zu gebrauchen: Ein Schiff voller Ameisen (leichte Atome) mag leichter sein als ein Schiff in dem Elefanten (schwere Atome) transportiert werden. Wenn aber sehr viele Ameisen im Schiff eingesperrt (hohe Dichte) werden wird das Schiff möglicherweise genau so schwer.

Holz ist leichter als Eisen, weil es (auf das Volumen bezogen) eine geringere Dichte hat: Die das Holz aufbauenden Atome und Moleküle sind leichter und weniger dicht gepackt als beim Eisen. Holz enthält sogar Luft und saugt sich mit Wasser voll, beim dicht gepackten Eisen wäre das nicht möglich.

Wenn sich Begriffe „leicht“ oder „schwer“ nicht auf den Gegenstand sondern auf die Eigenschaften des Stoffes beziehen aus dem die Gegenstände bestehen ist kann die Aussage „etwas leichtes schwimmt, schweres nicht“ stimmen. Dann sprechen wir aber vom **spezifischen Gewicht**.

2 Schwere Dinge schwimmen!

Lange Stücke eines Besenstiels sind natürlich schwerer als kurze. Heißt das, dass ein ganz langer Besenstiel untergeht? Heißt das, dass eine ganz dünne Scheibe eines Besenstiels gar nicht ins Wasser eintaucht?

Natürlich nicht! Aber warum tauchen kurze und lange, also leichte und schwere Stücke gleich tief ein?

Da wo ein Gegenstand ins Wasser taucht, kann kein Wasser sein. Der eingetauchte Gegenstand verdrängt das Wasser. Kleine Gegenstände verdrängen weniger Wasser als große. Anders ausgedrückt: Die verdrängten Wasservolumina richten

sich nach den Volumina der eingetauchten Gegenstände. Um zu verstehen, warum unterschiedlich große und schwere aber aus dem gleichen Stoff bestehende Gegenstände gleich tief eintauchen müssen wir uns mit dem Gewicht der verdrängten Wasservolumina beschäftigen. Wir werden dabei auf einen ganz einfachen Zusammenhang stoßen.

3 Wie viel Sand kann ein Schiff tragen ohne dass es untergeht?



Bei diesem Experiment erfahren Kinder spielerisch die Grenzen der Tragfähigkeit flacher Sardinendosen oder Plastikbecher. Wie viel Wasser kann man in das Schiff geben, ohne dass es untergeht? Hier geht es um – von den Kindern noch unbemerkt - Volumen und Dichte. Es darf – bei gleichem Tiefgang - mehr Wasser als Sand in das Schiff gefüllt werden oder anders ausgedrückt: Bei gleicher Menge Sand und Wasser tauchen die Schiffe unterschiedlich tief ein. Sand wiegt mehr als ein gleiches Volumen Wasser weil es eine größere Dichte hat. Mit Hilfe der Tafelwaage sollen die Kinder entdecken dass das Schiff genau so viel Sand tragen kann wie das vom Schiff verdrängte Wasser wiegt.

4 Welches Gewicht kann Wasser tragen?

Da die metallene Konservendose ein Eigengewicht hat sinkt sie wenn sie bis zum Rand mit Wasser gefüllt wird. Ein solches „Schiff“ ist ja schwerer als das verdrängte Wasser. Das Ziel den Zusammenhang „Tragfähigkeit = Gewicht des verdrängten Wassers“ aufzuzeigen gelingt besser mit einem leichten Plastikbecher. Er sollte so



viel wiegen wie das von ihm verdrängte Wasser, untergetaucht also gerade der Wasseroberfläche schweben. Wir benutzen Sauerkrautbecher der Fa. Eden.

Auf der Tafelwaage zeigt sich, dass die man den zweiten Becher randvoll mit Wasser füllen darf. Dann ist er genau so schwer wie der mit Sand gefüllte Becher. Beide wiegen das gleiche und tauchen gleich tief ein. Und: Es ist – bei gleichem Gewicht - weniger Sand in einen Becher als Wasser im anderen weil Sand schwerer ist als Wasser (spezifisches Gewicht!).

5 Schwimmt, schwimmt nicht, schwimmt....

Dass die Tragfähigkeit gleich dem Gewicht des verdrängten Wassers ist wird durch diesen einfachen Versuch noch deutlicher. Der beim völligen Eintauchen eines Gegenstandes über den Rand des Wassergefäßes schwappende und dann aufgefangene Überstand wird gewogen. Ist das Gewicht des eingetauchten Körpers größer als das Gewicht des verdrängten Wassers geht er unter, ist es geringer

schwimmt er. Bei gleichem Gewicht wird der Körper im Wasser schweben. Da es bei diesem Experiment nicht um genaue Messergebnisse sondern nur um die Feststellungen „größer als“ bzw. „kleiner als“ geht reicht die Tafelwaage (ohne Gewichte) völlig aus. Die Becher müssen natürlich identisch sein.

6 Kann man im Wasser sein Gewicht verlieren?

Ein Stein den wir an einem Faden hängend langsam ins Wasser gleiten lassen wird leichter. Das lässt sich besonders gut zeigen, wenn ein Gummiband an den Faden knoten. Es wird länger, wenn der Stein ins Wasser taucht.

Das Gummiband kann durch ein Kraftmesser ersetzt werden. Hier zieht der Stein an der Spiralfeder im Kraftmesser. Die Kraft die wir brauchen um den Stein zu halten wird in der Einheit Newton (N) angegeben. 1 Newton entspricht ungefähr* der Kraft die wir auf der Erde brauchen um z.B. eine 100 g Tafel Schokolade zu halten.

Wenn der Stein in einen randvoll mit Wasser gefülltes Gefäß getaucht wird schwappt ein Teil des Wassers über in die darunter stehende Schale.

Wird nun die Gewichtskraft des Steins und die des übergeschwappten Wassers verglichen stellt sich heraus, dass der „Gewichtsverlust“ des Steins im Wasser genau der Gewichtskraft des eingetauchten Wassers entspricht.

Beim Schwimmen im Wasser erleben wir ein Gefühl der Leichtigkeit und da mag die Frage aufkommen: Wie schwer bin ich eigentlich im Wasser?

Wenn es stimmt dass ein eingetauchter Stein um den Betrag leichter wird wie das ihm verdrängte Wasser wiegt kann ich folgendermaßen vorgehen:

Zunächst bestimme ich das von mir verdrängte Wasservolumen. Das lässt sich zu Hause in der Badewanne herausfinden. Beim Aussteigen aus der Wanne sinkt der Wasserspiegel (vorher und nachher mit einem wasserfesten Stift markieren).

Dann fülle ich die Badewanne mit einer Brauseflasche bis zur oberen Markierung auf. Am besten nimmt man Litergefäße, dann hat man es nachher nicht so schwer beim Rechnen. Noch einfacher geht es natürlich mit der Wasseruhr. Man merke sich nur die Zählerstände zu Beginn und am Ende.

Was den Kopf angeht, den nicht jeder gerne untertaucht und den man zum Markieren mit dem Stift ja auch braucht, so kann man sich mit einem Ball behelfen. Er sollte die Größe des Kopfes haben. Drücke ihn unter Wasser und markiere den angestiegenen Wasserspiegel.

Der Kopf muss aber eigentlich nicht berücksichtigt werden, weil er beim Schwimmen über der Wasserlinie gehalten wird.

Wenn ich die Menge des von mir verdrängten Wassers kenne kann ich dessen Gewichtskraft ausrechnen. Die Gewichtskraft des Wassers muss ich nur noch von meiner eigenen Gewichtskraft abziehen.

Beträgt das verdrängte Wasservolumen 70 l und mein Eigengewicht 80 kg bleiben im Wasser noch ganze 10 kg zu tragen.

*) Die Schwerebeschleunigung g an der Erdoberfläche beträgt $9,81 \text{ m/s}^2$. Für die Gewichtskraft die auf einen Körper an der Erdoberfläche wirkt $G = mg$. Eine Masse von 1 kg übt die Gewichtskraft $G = 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 9,81 \text{ N}$ (Newton) aus. Die Gewichtskraft einer Tafel Schokolade mit der Masse 100g ist also nicht 1 N sondern nur 0,981N. Der geringe Unterschied darf hier vernachlässigt werden.

7 Wie tief taucht ein Gegenstand ein?

Ein Korken schwimmt nur zum Teil eingetaucht. Gebe ich ihn vorsichtig in eine randvoll mit Wasser gefüllte Tasse schwappt etwas Wasser auf die darunter liegende Untertasse. Zu deren vorher gemessenen Eigengewicht addiert sich das Gewicht

des vom Korke verdrängten Wassers. Vergleichen wir das Gewicht des verdrängten Wassers stellen wir fest: Es hat das gleiche Gewicht wie der Korke. Daraus kann man ableiten, dass der Korke eine Wassermenge verdrängen wird die genau so viel wiegt wie der Korke. Nicht mehr und nicht weniger.

8 Das Märchen von den Eiskwürfeln in der Cola

Beim Märchen von den Eiskwürfeln geht es um das Gewicht, das Volumen und die Dichte. Wird das Wasser über den Rand schwappen?

Die Eiskwürfel lagen im Becher bevor die Cola dazu kam. Sie schwimmen und ragen sogar ein Stück über die Wasseroberfläche hinaus.

Auch wenn wir warten bis das letzte Eis geschmolzen ist: Das Wasser läuft nicht über den Beckenrand.

Beim Gefrieren dehnt sich Wasser aus, was jeder weiß der schon einmal eine Brauseflasche im Eiskfach vergessen hat. Gefrieren bedeutet also eine Volumenzunahme bei – die Masse bleibt ja unverändert - gleichzeitiger Abnahme der Dichte. Das bedeutet nichts anderes als dass die Wasserteilchen beim Gefrieren auseinanderrücken.

Wenn ein bestimmtes Volumen Wasser zu Eis wird nimmt das Eis mehr Platz ein. Viele vermuten, dass Eis leichter sei als Wasser. Es wird aber weder schwerer noch leichter was mit einer Waage leicht nachzuprüfen ist. Es nimmt nur einen größeren Raum ein.

Warum kann (gefrorenes) Wasser über das (flüssige) Wasser hinausragen?

Der Grund ist eigentlich ganz einfach: Der aus dem Wasser herausragende Teil des Eiskwürfels (oder des Eisbergs) entspricht genau der Volumenzunahme beim Gefrieren. Der untergetauchte Teil entspricht genau dem Volumen des flüssigen Wassers aus dem der Eiskwürfel entstanden ist.

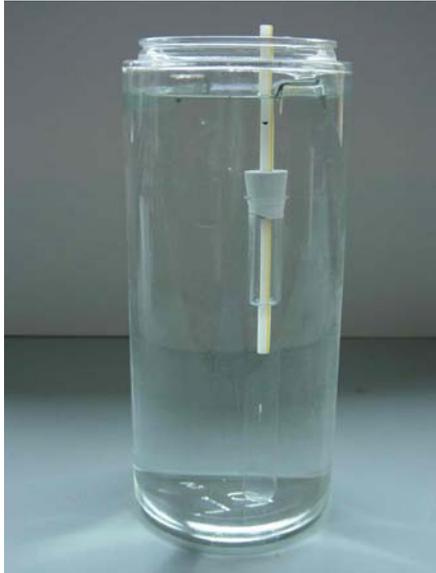
Wenn der Eiskwürfel schmilzt benötigt das entstehende Wasser nur noch den Platz den der Eiskwürfel vorher verdrängt hat.

Übrigens: Wenn sich Eisberge vom Nordpol lösen steigt der Meeresspiegel nicht an da der Nordpol aus gefrorenem Meerwasser besteht (Genau genommen ist das salzige Meerwasser geringfügig schwerer als das daraus entstandene Eis bei dem ein Teil des Salzes „ausgefroren“ ist). Anders sieht es unter Umständen aus wenn die Antarktis abschmilzt. Sie ist von Eis bedeckt das aus Schnee entstanden ist und schon sehr lange dort liegt. Beim Schmelzen käme dieses Wasser zum Meerwasser hinzu.

9 Schwimmen im Meer

Die „schwebende Boje“ ist leicht aus einem Reagenzglas mit durchbohrtem Gummistopfen und einem Trinkhalm aus Plastik herzustellen. Sie zum Schweben zu bringen erfordert aber Geduld und Geschicklichkeit. Es geht darum, durch Hinzu-fügen oder Wegnahme von Wasser die Boje gerade so tief ins Wasser eintauchen zu lassen, dass der Wasserspiegel mit der zuvor am Trinkhalm angebrachten Markierung zusammen fällt.

Die Feinarbeit geschieht am besten mit einer Pipette.



Boje in Leitungswasser
Markierung unter der Wasseroberfläche



Boje in Salzwasser
Markierung an der Wasseroberfläche

Wird jetzt Salz in den Wassereimer gegeben steigt die Boje etwas an, was durch die Markierung deutlich zu sehen ist. Salz macht die Boje scheinbar leichter.

Durch das Salz wurde das Wasser etwas schwerer. Geben wir beispielsweise 33 g in einen Liter Wasser (1000 g) erhöht sich das Gewicht auf 1033 g. Auf 10 l (d.h. 10000 g) kämen bei gleicher Konzentration 330 g Salz. Dies ist etwa der Salzgehalt des Meeres der bei 3,3 % liegt.

Warum steigt die Boje im Salzwasser? Das Wasser in dem die Boje schwimmt ist



etwas schwerer geworden. Das Gewicht der Boje hat sich nicht verändert. Die Boje bleibt stets genau so schwer wie das von ihr verdrängte Wasser. Das gilt sowohl für Leitungswasser als auch für Salzwasser. Da Leitungswasser leichter ist muss das verdrängte Wasservolumen größer sein und sie taucht tiefer ein. Im Salzwasser kann das verdrängte Volumen etwas kleiner sein und sie steigt auf.

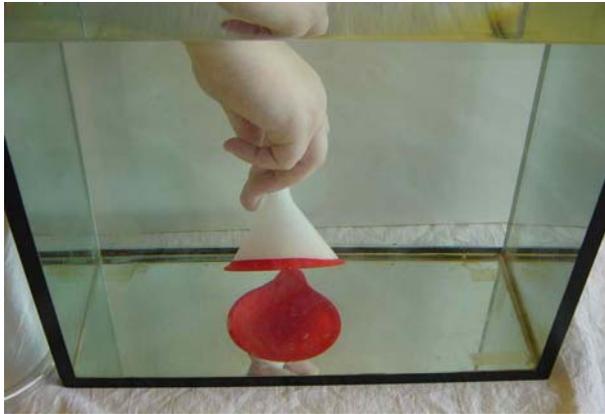
Die Abbildung links zeigt ein Experiment bei dem zwei mit Klebeband

zusammengesetzte Röhrchen in einem Aquarium zum Schweben gebracht werden. Durch geduldiges Hinzufügen und Wegnehmen kleinen Wassermengen schwebt das Röhrchen tatsächlich irgendwann waagrecht. Es gibt – abgesehen vom U-Boot – ein aus der Biologie abgeschautes Vorbild: Die Larven der Büschel- oder Glasmücke *Chaoborus* „steht“ über lange bewegungslos und waagrecht im Teich, dies dank zweier paariger Auftriebskörper die dem Tier exakt das Gewicht des von ihm verdrängte Wasser verleiht.

10 Druck auf den Ohren

Wer taucht wird den mit der Tiefe ansteigenden Druck auf den Ohren bemerken. Das Trommelfell ist eine sensible Membran die schon auf kleinste Druckschwankungen reagiert.

Was beim Tauchen im Ohr geschieht zeigt ein am Hals abgeschnittener und über einen Trichter gezogener Luftballon. Der Trichter wird mit einem durchsichtigen Plastischlauch verbunden. Wer jetzt die Membran des Luftballons auf seine Brust drückt und sich das andere Schlauchende ins Ohr steckt wird sein Herz schlagen hören! Der Schlauch sollte dann an seinem unteren Ende zu einem „U“ gebogen werden.



In das „U“ wird so viel Wasser gegeben, dass es die Biegung ganz ausfüllt. Als Wassertank dient ein Aquarium

Beim Eintauchen des Trichters drückt der Wasserdruck die Ballonhaut in den Trichter hinein. Die dadurch in den Schlauch gedrückte Luft schiebt das Wasser im „U“ zum offenen Schlauchende. Der Effekt wird mit steigender Wassertiefe – wegen des steigenden Drucks – immer deutlicher.

11 Woher der Auftrieb kommt



Eine ähnliche Beobachtung machen wir, wenn wir einen Luftballon mit Wasser füllen („Wasserbombe“), seinen Hals wasserdicht über einen durchsichtigen Schlauch ziehen und ihn dann in ein mit Wasser gefülltes Aquarium tauchen. Je tiefer wir ihn ins Wasser gleiten lassen desto stärker wird das Wasser aus dem Ballon nach oben in den Schlauch gepresst.

Die beiden Experimente zeigen den **Schweredruck** des Wassers. Er ist die Ursache für den **Auftrieb**.

Taucht ein Körper ins Wasser trägt er die Last des auf ihm liegenden Wassers. Der Druck wirkt von allen Seiten auf den Ballon ein, denn auch auf dem Wasser neben und unter ihm lastet der Druck des darüber liegenden Wassers. Das Wasservolumen wird natürlich mit der Tiefe größer und schwerer und übt einen steigenden Druck auf ihn aus.

Sollte es dann nicht so sein, dass ein Körper mit zunehmender Wassertiefe immer schwerer wird? Wenn man im Schwimmbad tief hinabtaucht hat man viel Wasser über sich, drückt uns das Wasser dann stärker hinunter? Ist es so dass man immer schwerer wird je tiefer man taucht? Gibt es eine Tiefe aus der man nicht wieder aufsteigen kann?

In einem Experiment könnte ein Mauerstein an einem Gummiband gehalten und in tiefen See getaucht werden. Je tiefer der Stein im Wasser liegt desto mehr Wasser drückt auf ihn herab. Wird er deshalb schwerer?

Nein! Die Spannung des Gummibands wird beim Eintauchen deutlich geringer. Dann allerdings verändert sie sich nicht mehr.

Exkurs zum Thema "Auftrieb"

Das Geheimnis des Blauwals, der auch schlafend nicht auf den Meeresboden fällt, ist teilweise gelöst: Im Wasser ist der Wal nicht so schwer wie an Land. Sollte die Frage gestellt werden wie schwer er im Wasser tatsächlich ist, kann man das natürlich berechnen. Aber davon sind Grundschulkinder natürlich noch weit entfernt. Im Schwimmbad bieten sich aber einige „Stehgreif“-Experimente an mit dem man dem Auftrieb zusätzlich auf die Spur kommen kann. Dazu gehört, dass wir mit ausgestreckten Armen und Beinen auf dem Rücken liegend wir nicht untergehen („Toter Mann“) oder dass wir im Wasser Gewichte heben können, bei denen wir an Land schon rekordverdächtig wären.

Bitten Sie ein Kind am Beckenrand ein anderes Kind aus dem Wasser zu ziehen. Das Kind ist ganz leicht, so lange es im Wasser schwimmt. Es wird aber – genau so wie der Stein in unserem Experiment - immer schwerer je weiter es aus dem Wasser gezogen wird.

Kinder deuten diese „Tragfähigkeit“ des Wassers meistens so, dass unsere Lungen Luft enthalten und wir deshalb wie ein luftgefüllter Wasserball auf der Oberfläche schwimmen. Gehen wir also beim Ausatmen unter? Wahrscheinlich nicht, denn manche Leute als „Toter Mann“ auf dem Wasser liegend sogar Zeitung lesen und dabei ein- und ausatmen.

Es gibt noch einen anderen Ansatz: Wasser wird von Kindern ganz richtig als Stoff begriffen – anders als Luft. Man kann es sehen und anfassen. Liegt man auf dem Wasser, so denken Kinder oft, liegt man so wie auf einem Kissen oder einer Matratze. Kissen und Matratze werden durch mein Gewicht nach unten gedrückt und geben nach. Ob nicht auch das Wasser – wie bei einem Wasserbett - irgendwie unter mir zusammengepresst wird? Vielleicht ist das der Grund, weshalb wenigstens leichte Dinge schwimmen?

Wasser lässt sich kaum zusammenpressen. Eine mit Wasser gefüllte und vorne verschlossene Spritze zeigt das sehr deutlich. Wasser ist aber sehr beweglich. Das führt dazu dass das Wasser im Wasserbett zu den Seiten hin ausweicht und mich in einer Mulde verschwinden lässt. Wenn es jetzt ein Loch hätte würde das Wasser bis zur Decke hoch spritzen...

Auf das Schwimmbad übertragen hieße das, dass das von mir nach unten gedrückte Wasser neben mir wieder nach oben drängt. Ein solches „Kissen“ kann genau so wenig tragen wie ein löchrig gewordenes Wasserbett.

Der Wasserbett-Gedanke erklärt auch nicht, dass ich im Wasser leichter werde. Stellt man eine Waage auf das Wasserbett und stellt man sich darauf (Achtung: Sehr wackelig!) dann zeigt sie mein „normales“ Körpergewicht.

Das uns das Wasser trägt und leichter macht muss also andere Gründe haben. Die allerdings sind - besonders Kindern - nicht leicht zu erklären. Weil aber nur der etwas erklären kann der es selbst begriffen hat bedarf es eines Exkurses in die Physik.

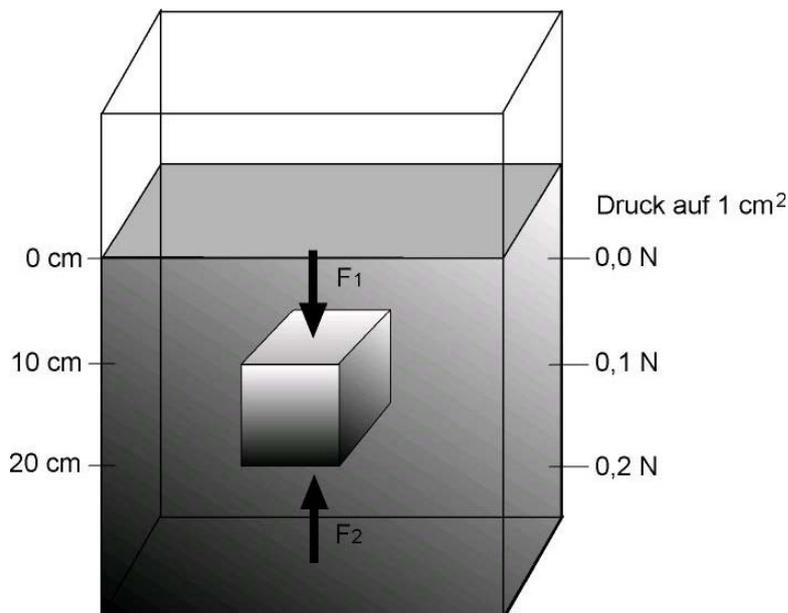
Der im letzten Abschnitt eingeführte Schweredruck wirkt nicht nur von oben: Das Wasser *neben* dem eingetauchten Körper erfährt diesen Druck ebenso weil auch auf ihm das darüber liegende Wasser lastet. Auch *unter* dem eingetauchten Körper wirkt der Schweredruck und zwar von unten. Da Wasser kaum kompressibel ist, sich also fast nicht zusammendrücken lässt, gibt es den Druck in alle Richtungen weiter. Der eingetauchte Körper wird infolgedessen von allen Seiten her unter Druck gesetzt. Daher wird ein mit einem schweren Gewicht belasteter aufgeblasener Luftballon, im Schwimmbad ins Wasser geworfen, in der Tiefe immer kleiner bis ihn der

Wasserdruck ganz zusammengedrückt hat. U-Boote und Tauchglocken müssen daher aus sehr dickem Material bestehen.

Noch einmal: Der Schweredruck im Wasser steigt mit der Wassertiefe. Das bedeutet aber auch, dass die Unterseite eines eingetauchten Körpers einem größeren Druck ausgesetzt ist als die Oberseite. Der Druck der auf die Oberseite wirkt nach unten, der Druck auf die Unterseite nach oben. Da die Kraft an der Unterseite stärker ist als die Kraft an der Oberseite erfährt der Körper eine nach oben gerichtete Kraft! Diese Kraft ist der „Auftrieb“, der Gegenstände schwimmen lässt oder sie einfach nur leichter werden lässt.

Um das etwas näher zu beleuchten, brauchen wir einige Zahlen. Wasser hat bei 20°C ein Gewicht von 1 g/cm³ oder 1000 g/dm³. Das Wort „Gewicht“ sollte besser durch das Wort **Gewichtskraft** ersetzt werden, weil das Gewicht keine Eigenschaft des Wassers selbst ist. Wasser ist auf dem Mond viel leichter, im All wiegt es nichts. Es behält aber seine **Masse** und wird auf dem Mond oder im All weder mehr noch weniger. Die Gewichtskraft eines Körpers ist abhängig von seiner Masse und von der auch als „Ortsfaktor“ bezeichneten **Schwerebeschleunigung**. Diese beträgt auf der Erde 9,81 m/s², auf dem Mond 1,62 m/s² und geht im All gegen Null (hier herrscht Schwerelosigkeit).

Das Gewicht wird im Alltag in Gramm und Kilogramm angegeben. Die Physik dagegen bezeichnet mit Gramm die Masse eines Körpers welche – zumindest im Ruhestand – von der Schwerebeschleunigung am Ort unabhängig ist und gleich bleibt. Wenn wir umgangssprachlich von 100 g Schokolade sprechen beziehen wir uns auf das Gewicht. 100 g Schokolade bleiben – physikalisch gesehen - auch im All 100 g Schokolade. Die Gewichtskraft allerdings verändert sich mit der von Ort zu Ort unterschiedlichen Schwerebeschleunigung. Eine 100 g-Tafel Schokolade macht im All genau so satt wie auf der Erde, selbst wenn sie im Raumschiff nichts wiegt. Physikalisch korrekt ist es, Massen in kg (Kilogramm) oder g (Gramm) anzugeben, die Gewichtskraft - wie alle Kräfte - in N (Newton).



Etwas ungenau, aber für unsere Zwecke ausreichend, ist die Beziehung: Mit der **Kraft** von $F = 1 \text{ N}$ kann ich 100 g Schokolade anheben. Ein Liter Wasser hat eine vom Ort unabhängige Masse von 1000 g. Die Gewichtskraft auf der Erdoberfläche beträgt demnach 10 N. Versenken wir in Gedanken einen würfelförmigen Gegenstand mit der Kantenlänge 10 cm. Sein Volumen beträgt $10 \times 10 \times 10 = 1000 \text{ cm}^3$. Nehmen wir an, er befände in 10 cm

Wassertiefe. Dann drückt das Gewicht eines über ihm liegenden „Wasserwürfels“ von 1000 cm^3 mit einer Gewichtskraft von 10 N auf seine Oberseite. Wie groß ist die Kraft, die auf seine Unterseite wirkt? Die Unterseite liegt 10 cm tiefer als die Oberseite was zu einer um 10 N größeren Kraft führt. Es wirken also auf die

Oberseite $F_1 = 10 \text{ N}$ senkrecht nach unten und auf die Unterseite $F_2 = 20 \text{ N}$ senkrecht nach oben ein. Die Differenz von 10 N ist die nach oben gerichtete **Auftriebskraft**, die den eingetauchten Körper leichter macht oder ihn gegebenenfalls schweben oder schwimmen lässt.

Diese Kraft ist unabhängig von der Tiefe. Wenn der würfelförmige Körper auf 1 m Tiefe absinkt wirkt auf seine Oberseite eine Kraft von 100 N ein. Da die Kraft auf der Unterseite 110 N beträgt bleibt die Auftriebskraft gleich groß. Deshalb wird ein Stein oder ein Taucher mit zunehmender Tiefe nicht schwerer.

Ob ein Körper an der Oberfläche schwimmt, im Wasser schwebt oder zu Boden sinkt ist zunächst abhängig von seiner eigenen Gewichtskraft die ihn – wie alle Körper – natürlich erst einmal auf den Grund zieht. Entscheidend ist also zum Einen seine Masse. Zum Anderen ist es sein Volumen, denn dieses bestimmt die Menge und damit das Gewicht des von dem Körper verdrängten Wassers. Der Quotient aus Masse und Volumen ist die Dichte und so ist es das Dichteverhältnis zwischen Körper und Wasser die den Körper schwimmen, schweben oder untergehen lässt.

A Dichte	B Dichte	Relative Dichte
Eisen $7,96 \text{ g/cm}^3$	Wasser $1,00 \text{ g/cm}^3$	$A > B$ d.h. Eisen geht unter
Eis $0,92 \text{ g/cm}^3$	Wasser $1,00 \text{ g/cm}^3$	$A < B$ d.h. Eis schwimmt

12 Archimedes und der betrügerische Goldschmied

Dieser „Krimi“ aus dem antiken Griechenland ist ein Lehrstück angewandte Physik. Ob Archimedes diese Idee tatsächlich in der Badewanne hatte ist zwar genau so wenig gesichert wie der ihm zugeschriebene Ausruf „Heureka“. Da Archimedes aber ganz eng mit dem Thema „Auftrieb“ verknüpft ist folgen wir diesem Gedankenexperiment:

Gold hat bei gleichem Volumen eine größere Gewichtskraft als Silber.

Umgangssprachlich würden wir sagen „Gold ist schwerer als Silber“. Wenn der Goldschmied tatsächlich Gold durch Silber ersetzen will muss er die Krone etwas größer machen damit sie das gleiche Gewicht wie der Goldklumpen hat. Beim Wiegen an der Luft fällt der Betrug nicht auf.

Hätte man die Menge des durch den Goldklumpen und dann durch die Krone verdrängten Wassers gemessen wäre man ihm auch auf die Schliche gekommen.

Archimedes löste den Fall in der Geschichte aber so:

Er wog die Krone mit Gold auf und tauchte Gold und Krone in zwei Waagschalen liegend ins Wasser. Das Gold, das an der Luft genau so schwer war wie die Krone tauchte im Wasser tiefer ein als die Krone. Der Goldschmied wird nicht verstanden haben wie Archimedes ihn überführte. Das Experiment liefert aber einen eindeutigen Beweis und wird ihn wohl seinen Kopf gekostet haben.

Die Auftriebskraft die auf einen Körper einwirkt ist stets gleich der Gewichtskraft des verdrängten Flüssigkeitsvolumens. Eine bestimmte Masse Gold verdrängt auf Grund seiner hohen Dichte weniger Wasser als die gleiche Masse Silber. Dadurch wirkt auf das Silber ein größerer Auftrieb ein. Die Waagschale mit dem Silber taucht weniger tief ins Wasser ein.

Gold hat eine Dichte von $19,3 \text{ g/cm}^3$, Silber $10,5 \text{ g/cm}^3$. Beide Stoffe gehen unter weil ihre Dichte größer ist als die des Wassers ($1,00 \text{ g/cm}^3$). Silber ist im Wasser „leichter“ als Gold, denn die auf beide Materialien wirkende – und gleiche (!) – Auftriebskraft

schlägt beim „schweren“ Gold lange nicht so stark zu Buche wie beim Silber. Ein Goldwürfel mit einem Volumen von 10 cm^3 „wiegt“ –umgangssprachlich ausgedrückt – 19,3 kg. Physikalisch korrekt formuliert wirkt eine Gewichtskraft 193 N auf ihn ein. Ein gleich großer Würfel Silber bringt 10,5 kg auf die Waage. Seine Gewichtskraft beträgt 105 N. Die Gewichtskraft des entsprechenden „Wasserwürfels“ ist 10 N. Das Gewicht des Goldes verringert sich im Wasser um $193 \text{ N} - 10 \text{ N} = 183 \text{ N}$, d.h. auf 94,8 %, die des Silbers um $105 \text{ N} - 10 \text{ N} = 95 \text{ N}$, d.h. auf 90,5%.

13 Das Märchen vom geizigen Kaufmann und dem armen Schiffbauer



In diesem frei erfundenen Märchen überlistet ein armer Schiffbauer durch kluges Nachdenken einen geizigen Kaufmann der davon überzeugt ist, dass keiner in der Lage ist, ohne Wasser ein Schiff zu bauen das schwimmen und schwere Lasten tragen kann. Der Schiffbauer verfügt gerade einmal über so viel Wasser, dass er die Trockenzeit überstehen kann. Das reicht aus um das Gewicht des Wassers mit dem des Goldes vergleichen zu können. Der Becher dient als Modell für ein Schiff. Zunächst untersucht er,

wie viel Wasser der in einer mit Wasser gefüllten Schale schwimmende Becher tragen kann ohne unterzugehen. Der Becher darf natürlich nicht randvoll gefüllt werden weil er ein Eigengewicht hat. Die zulässige „Last“ (hier das Wasser) richtet sich nach dem Verhältnis des Bechergewichts zum Gewicht des von ihm verdrängten Wassers. Ein leichter Kunststoffbecher mit der Dichte von Wasser kann vollständig mit Wasser gefüllt werden, ein Trinkglas nicht, weil Glas pro Volumeneinheit schwerer ist als Wasser.

Wie tief taucht der Becher ins Wasser ein? Gibt er zu wenig Wasser hinein kippt er um, gibt er zu viel hinzu geht es unter. Sobald er die ideale, auch im Sturm sichere Eintauchtiefe gefunden geht er zum Kaufmann und wiegt das Wasservolumen mit Gold auf. Da Gold pro Volumeneinheit viel schwerer ist als Wasser kann der Schiffbauer nur wenig Gold in den zweiten Becher geben.

Er bringt das Wasser und das Gold ins Gleichgewicht und weiß: Das Gewicht des Goldbechers entspricht dem Gewicht des vom Goldbecher beim Schwimmen verdrängten Wasservolumens. Und er weiß: So tief wird der Goldbecher im Wasser eintauchen. In Kenntnis dieses Zusammenhangs kann er sich an die Konstruktion eines seetüchtigen Schiffes machen.

14 Der „weggezauberte“ Auftrieb

Beim Fallenlassen der Flasche bleibt der Korken am Boden! Was ist mit dem Auftrieb geschehen?

Erinnern wir uns: Der Auftrieb ist das Ergebnis des mit der Tiefe zunehmenden Schweredruckes einer Flüssigkeit. Im freien Fall ist die Gewichtskraft des Wassers Null. Damit entfällt der Schweredruck. Ohne Schweredruck kein Auftrieb. So einfach ist das!

Dazu noch ein vertiefendes Gedankenexperiment: Ein Goldfisch schwimmt in einem geschlossenen mit Wasser gefüllten Gefäß. Er nimmt an einer Expedition ins All teil. Was geschieht beim Start, im All und bei der Rückkehr?

15 Der „verflixte“ Auftrieb: Etwas zum Grübeln und Ausprobieren

Der ins Wasser eingetauchte Finger erhöht das Gewicht des Wassereimers. Die Wassermenge wird durch den Finger weder erhöht noch verringert (sofern der Eimer vorher nicht randvoll gefüllt war).

Bleibt zu fragen und zu prüfen: Wird der Wassereimer um das Gewicht des Fingers oder um das Gewicht des vom Finger verdrängten Wassers schwerer?

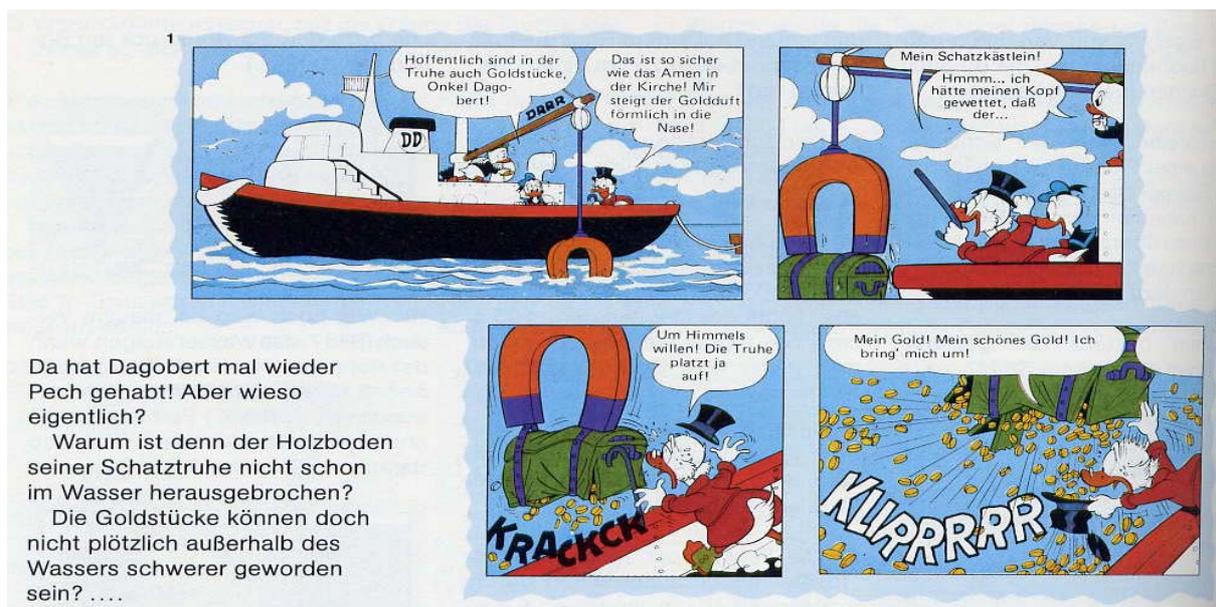
Der eingetauchte Finger erhöht das Gewicht des Wassereimers und im gleichen Maße werde ich leichter was mit einer Körperwaage leicht feststellbar ist.

Erinnern wir uns: Im Wasser wird ein Körper um das Gewicht des verdrängten Wasservolumens leichter. Senke ich einen Stein an einem Faden ins Wasser geschieht das gleiche als wenn ich einen Finger ins Wasser tauche. Der Finger – ein Teil meines Körpers – wird leichter und damit verringert sich mein Gesamtgewicht.

Material

Wasser
Tafelwaage, Gewichte
Schalenwaage
Feinwaage (elektronisch)
Kraftmesser
Steine
Sand
Schrauben, Muttern
Eimer
Marmeladengläser
Plastikbecher

Trinkgläser
kleine Aquarien
flache Dosen (Fischkonserven)
Plastikflaschen
Korken
Faden
Trichter
Plastikschlauch (durchsichtig)
Luftballon
Schere



Ingo Mennerich, April 2004