

Zentrum für schulpraktische Lehrerbildung Leverkusen
Seminar für das Lehramt an Gymnasien und Gesamtschulen
Brückenstr. 10-12 — 51379 Leverkusen

Unterrichtsentwurf für den 3. Unterrichtsbesuch im Fach Physik

Studienreferendar:	Dr. Daniel J. Wieczorek
Ausbildungsschule:	Freiherr-vom-Stein-Gymnasium Leverkusen
Datum:	Donnerstag, 23.06.2016
Zeit:	3. Stunde (10:05 - 10:50 Uhr)
Lerngruppe:	8x (y Schülerinnen, z Schüler)
Hospitation seit:	14.02.2016
Unterricht seit:	21.02.2016
Raum:	
Fachlehrer:	
Fachseminarleiter:	
Kernseminarleiterin:	
Ausbildungsbeauftragter:	
Schulleiterin:	
Thema der Unterrichtsreihe:	Druck und Auftrieb in Flüssigkeiten
Thema der heutigen Stunde:	Wie viel trägt die Luftmatratze? – Untersuchung der Abhängigkeit des Auftriebs vom Volumen des eingetauchten Körpers im Schülerversuch.
Hausaufgabe zur heutigen Stunde:	keine
eingeführtes Physikbuch:	Fokus Physik 7-9

Inhaltsverzeichnis

1	Aufbau des Unterrichtsvorhabens	3
2	Lernziele und Kompetenzen	4
3	Didaktisch-methodische Überlegungen	4
3.1	Sachanalyse	4
3.2	Lernvoraussetzungen	5
3.3	Didaktische Überlegungen	5
3.4	Begründung der wesentlichen methodischen Entscheidungen	7
4	Verlaufsplan	9
5	Literatur	10
6	Erklärung	10

Bemerkung: Der Entwurf orientiert sich am Beispiel eines didaktisch-methodischen Kommentars zu diesem Thema, der dem Fachseminar Physik von M. Gerhards zur Verfügung gestellt wurde.

1 Aufbau des Unterrichtsvorhabens

Datum	Thema	Lernziel
09.06.2016	Wie funktioniert eine hydraulische Presse? Einführung des Drucks anhand eines Funktionsmodells. Druck wirkt allseitig – Demonstration mit Spritzkugel und durch Kompression eines Luftballons	Druck p als Zustand des Gepresstseins beschreiben können, der sich durch Kräfte auf Begrenzungsflächen gem. $p = F/A$ äußert, eine hydraulische Presse skizzieren und ihre Funktionsweise erklären können.
16.06.2016	Warum schmerzen die Ohren beim Tauchen? Einführung des Schweredrucks Wann fällt die Scheibe ab? Erarbeitung von $p = \rho gh$ anhand eines Versuchs	Versuche zur Allseitigkeit und zur Abhängigkeit des Schweredrucks von der Eintauchtiefe beschreiben und erklären können, $p = \rho gh$ anwenden können.
23.06.2016	UB-Stunde Induktive Herleitung des archimedischen Prinzips	s.u. Archimedisches Prinzip als Satz formulieren und die zugehörige Formel anwenden können.
30.06.2016	Deduktive Herleitung der Formel für den Auftrieb in Flüssigkeiten Erstaunliches zum Druck: Warum sinkt der Wasserspiegel, wenn man Steine vom Boot wirft? Wie sprengt man ein Fass?	Verfahren Deduktion beschreiben können, die Theorieabhängigkeit von Experimenten am Beispiel des Auftriebsversuchs beschreiben können Das archimedische Prinzip anwenden können, das hydrostatische Paradoxon erläutern können.

2 Lernziele und Kompetenzen

Durch das gewählte Lernarrangement soll als Stundenziel erreicht werden, dass die Schülerinnen und Schüler¹ einen Versuch zur Messung der Auftriebskraft auf einen Körper durchführen, beschreiben und auswerten können.

Teilziele:

1. beschreiben können, dass die Auftriebskraft eine nach oben (der Gewichtskraft entgegen) gerichtete Kraft ist, die entsteht, wenn ein Körper in eine Flüssigkeit eintaucht
2. erläutern können, dass die Auftriebskraft proportional zum Volumen des eingetauchten Körpers ist

3 Didaktisch-methodische Überlegungen

3.1 Sachanalyse

Wenn ein Körper im Schwerfeld in eine Flüssigkeit eintaucht, wirkt auf ihn eine entgegen der Schwerebeschleunigung gerichtete Kraft – der Auftrieb. Ursache hierfür ist der Schweredruck $p_s = \rho_F g z$, der für eine gegebene Flüssigkeit mit Dichte ρ_F nur vom senkrechten Abstand z von der Flüssigkeitsoberfläche abhängt. Für einen beliebig geformeten Körper K erhalten wir den Auftrieb durch Integration einer Kraftdichte über den Rand ∂K des Körpers:

$$F_A = \rho_F g \int_{\partial K} z (e_x dy \wedge dz + e_y dz \wedge dx + e_z dx \wedge dy) .$$

Die Anwendung des allgemeinen Satzes von Stokes ergibt

$$\begin{aligned} F_A &= \rho_F g \int_K d(z (e_x dy \wedge dz + e_y dz \wedge dx + e_z dx \wedge dy)) \\ &= \rho_F g \int_K e_z dx \wedge dy \wedge dz = \rho_F g V e_z . \end{aligned}$$

Der Betrag des Auftriebs ist somit proportional zum Volumen des eingetauchten Körpers und zur Dichte der Flüssigkeit; m.a.W. entspricht der Auftrieb betraglich gerade dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit (Prinzip des Archimedes). Dieses Ergebnis kann für den Spezialfall eines Quaders, dessen Boden- und Deckfläche parallel zur Flüssigkeitsoberfläche liegen, durch Betrachtung der Druckdifferenz an

¹Im folgenden Text wird zur besseren Lesbarkeit nur die Formulierung “Schüler” verwendet; es sind jedoch stets sämtliche Geschlechter gemeint.

diesen beiden Flächen auch im Unterricht hergeleitet werden. Die für einen beliebigen Körper durchgeführte Integration kann elementarisiert werden, indem darauf verwiesen wird, dass sich jeder Körper beliebig gut durch eine Vereinigung “kleiner” Quader Q_i , für die allesamt $|F_{A,i}| = \rho_F g V_i$ gilt, approximieren lässt.

Die resultierende Kraft aus Auftrieb und Gewicht ist

$$F_R = F_A + F_G = (\rho_F - \rho_K)gV e_z .$$

Im Unterricht soll der Auftrieb direkt gemessen werden, indem verschieden geformte Tauchkörper mit einem Federkraftmesser über eine Umlenkrolle unter die Flüssigkeitsoberfläche gezogen werden. Zur Elementarisierung wird der Beitrag des Gewichts dabei ignoriert. Dies kann offenbar nur dann sinnvoll gelingen, wenn $\rho_K \ll \rho_F$ gilt; die Tauchkörper werden daher aus Styropor hergestellt.

3.2 Lernvoraussetzungen

Zum Erreichen des Lernziels müssen die Schüler

- wissen, dass eine Umlenkrolle nur die Richtung, aber nicht den Betrag einer Kraft ändert,
- einen Federkraftmesser verwenden können,
- von entsprechenden Messwerten / deren graphischer Darstellung auf einen proportionalen Zusammenhang schließen können.

Die ersten beiden Voraussetzungen sind für alle Schüler erfüllt, die dritte wurde bei der Betrachtung des Zusammenhangs zwischen zugeführter Energie und Temperaturänderung für unterschiedliche Wassermengen ($\Delta E = cm\Delta T$) zwar ausgiebig im Unterricht thematisiert, einige Schülerinnen waren aufgrund des Girl's Days allerdings in dieser Stunde abwesend. Die Auswertungsphase bedarf daher einiger Aufmerksamkeit durch den Lehrer, um hier ggf. Hilfestellungen zu geben.

3.3 Didaktische Überlegungen

Die Behandlung des Stundenthemas ist unmittelbar durch die konzeptbezogene Kompetenzerwartung W9-5 “Schweredruck und Auftrieb formal beschreiben und in Beispielen anwenden” des Kernlehrplans legitimiert [1]. Die Verwendung von Wasserbällen oder Luftmatratzen dürfte vielen Schülern aus ihrer Freizeit ebenso bekannt sein wie die Erfahrung, dass der eigene Körper beim Schwimmen leichter erscheint. Diese Phänomene können durch den Auftrieb in Flüssigkeiten erklärt

werden, sodass ein unmittelbarer Alltags- und Gegenwartsbezug gegeben ist. Zukünftig wird die Möglichkeit einer auch physikalisch geprägten Weltbegegnung erweitert, indem die Schüler nun einen erweiterten Ausschnitt der Welt – man denke etwa an Schiffe, Heissluftballons, schwimmende Fische oder die Funktionsweise eines Aräometers – wissenschaftlich erklären können. Nach der deduktiven Herleitung des archimedischen Prinzips, die auch einen Anknüpfungspunkt für die Behandlung von Teilaspekten der “Nature of Science” bieten könnte, wird diese Sichtweise sogar bereichert durch die Erkenntnis, dass die genannte Vielfalt von Phänomenen auf sehr wenige Prinzipien zurückgeführt werden kann. Dem didaktischen Prinzip “vom Konkreten zum Abstrakten” entspricht dabei, dass die experimentelle Illustration der Herleitung vorgelagert ist.

Die Stunde beginnt mit einem Videoausschnitt, in dem mehrere Menschen versuchen, nacheinander auf eine im Wasser liegende Luftmatratze zu steigen. Die Schüler dürften daher von selbst eine Problemfrage wie z.B. “Wie viele Menschen trägt die Luftmatratze?” oder “Wovon hängt es ab, wie viel eine Luftmatratze tragen kann?” formulieren. Die Alltagserfahrung zeigt, dass es von der “Größe”, d.h. physikalisch vom Volumen, abhängt, sodass diese Hypothese ohne Schwierigkeiten von den Schülern formuliert werden kann. Fehlvorstellungen zum Einfluss der Form der Luftmatratze (oder der “Fläche”) können im Rahmen eines qualitativen Schülerdemonstrationsversuchs aufgegriffen werden; neben der Demonstration, dass zum Untertauchen eines Basketballs im Vergleich zu einem Tischtennisball eine große Kraft erforderlich ist, kann exemplarisch auch ein asymmetrischer Styroporquader in verschiedenen Stellungen untergetaucht werden. Sollte eine Massenabhängigkeit vermutet werden, so kann ein Eisennagel versenkt werden – dieser hat eine geringere Masse als eine Luftmatratze, geht aber trotzdem unter. Inwiefern die Dichte bereits durch die Schüler thematisiert werden wird, ist nicht abzusehen. Sofern ein Impuls (“Ändert sich etwas, wenn die Luftmatratze im Meer verwendet wird?”) nicht fruchtet, kann der Lehrer diesen Aspekt durch Fotos von Menschen im toten Meer und eines auf Quecksilber schwimmenden Nagels illustrieren. Die Abhängigkeit von der Schwerebeschleunigung werden die Schüler mutmaßlich nur nennen, wenn sie das archimedische Prinzip bereits kennen und verstanden haben². Der Verzicht auf g ist in dieser Phase unproblematisch, da es als Proportionalitätskonstante bei der Auswertung der Messung auftaucht.

Ein zentraler Aspekt des Begriffs Auftrieb ist es, dass er eine nach oben gerichtete Kraft ist. Dies kommt in den üblichen Versuchen zur “Gewichtsreduktion” beim Untertauchen nur indirekt zur Geltung, da man die Auftriebskraft erst durch eine mathematische Manipulation aus den Messergebnissen erhält. Um aber im Sinne des kumulativen Lernens den Begriff mit einer Erfahrung zu verknüpfen, nimmt

²Dazu ist die Verknüpfung von g mit dem Gewicht des verdrängten Wassers erforderlich.

das Phänomen einen großen Raum im Verlauf der Stunde ein: Einerseits kann die Lerngruppe es im Rahmen eines Schülerdemonstrationsexperiments miterleben, wie es schwer es ist, einen Basketball im Vergleich zu einer kleinen Styroporkugel unter Wasser zu drücken, andererseits können alle Schüler die Erfahrung, dass man einen Styroporkörper unter Wasser *ziehen* muss, auch selbst im Messexperiment machen.

Die Planung von Experimenten tritt in dieser Stunde bewusst in den Hintergrund. Auf die Idee, eine Umlenkrolle zur Kraftmessung zu verwenden, werden die Schüler kaum selbst kommen. Es wird daher auf ein für die Schüler demotivierendes “Herausfragen” im Sinne eines katechisierenden Unterrichts zugunsten einer kurzen Erklärung des Aufbaus durch den Lehrer verzichtet. Dabei wird darauf abgehoben, dass man eine Masse an einem Federkraftmesser *hochziehen* muss, um die nach *unten* wirkende Gewichtskraft zu messen. Will man die nach *oben* wirkende Auftriebskraft messen, muss der Körper also am Federkraftmesser *heruntergezogen* werden. Um den Kraftmesser nicht zu fluten, wird eine Umlenkrolle eingesetzt.

Nach Muckenfuß [2] handelt es sich zudem auch beim Schülerversuch nicht um ein wissenschaftliches Experiment im weitesten Sinne, sondern um einen *Demonstrationsversuch*, da er den Schülern veranschaulichen soll, dass der Auftrieb proportional zum Volumen des eingetauchten Körpers ist und ihnen die direkte Erfahrung des Auftriebs als nach oben gerichtete Kraft ermöglicht. Diese Sichtweise wird dadurch gestützt, dass als didaktische Reduktion der Grund für die Wahl von Styropor als Material für die Herstellung der Tauchkörper nicht diskutiert werden soll – doch gerade diese Wahl setzt nach den theoretischen Ausführungen in Abschnitt 3.1 eigentlich bereits eine Einsicht in das erst zu gewinnende Ergebnis voraus. Der Versuch eignet sich im Anschluss an die deduktive Behandlung des Auftriebs daher eher zur Illustration der Theorieabhängigkeit experimenteller Aufbauten .

3.4 Begründung der wesentlichen methodischen Entscheidungen

Die Stunde folgt dem methodischen Prinzip des problemorientierten Unterrichts, dessen Vorzüge von Bleichroth et al. [3] diskutiert werden.

Der Einstieg erfolgt über einen kurzen Videoausschnitt, bei dem mehrere Personen nacheinander auf eine Luftmatratze steigen, die dadurch immer tiefer im Wasser liegt. Die reale Durchführung würde einen Schwimmbadbesuch erfordern und ist daher im Physikunterricht nicht durchführbar, wohingegen ein Realexperiment mit einem kleinen Schwimmkörper von den Schülern nicht oder zumindest nicht so gut mit einem Kontext verbunden werden könnte, der ihnen aus dem Alltag bekannt ist.

Im Schülerdemonstrationsexperiment wird für die gesamte Klasse deutlich, wie viel Kraft es erfordert, den Basketball unter Wasser zu drücken, sodass für den qua-

litativen Versuch auch mehr Zeit zur Verfügung steht. Sofern der Wunsch besteht, können die Schüler in der Pause immer noch selbst probieren, wie schwer das Untertauchen des Balls ist. Die kognitiven Lernziele könnten zwar auch mit einem zweiten Demonstrationsversuch am Pult erreicht werden, jedoch wird unterstützt das Schülerexperiment auch prozessbezogene Kompetenzen (Erkenntnisgewinnung, Kommunikation) und führt verbindlicher zu einer sachbezogenen Schüleraktivität, als dies in einer weiteren Plenumsphase möglich wäre. Um aufgrund der in 3.2 geschilderten Lernausgangslage noch einmal für alle Schüler die Sicherheit herzustellen, dass die proportionale Zuordnung erkannt wird, soll trotz des eingeschränkten Hypothesensuchraums³ von der Schülern eine Vermutung zum Zusammenhang zwischen Kraft und Volumen geäußert werden.

Das Arbeitsblatt zum Schülerversuch stellt die wichtigsten Informationen konzis und übersichtlich zusammen und ermöglicht durch die vorstrukturierte Tabelle einen schnellen Ergebnisvergleich. Die Sicherung der Schülerergebnisse erfolgt in Form einer Präsentation, die durch eine OHP-Folie der Arbeitsblatts unterstützt wird. So können die präsentierenden Schüler auch ihre graphische Auswertung zügig für die gesamte Klasse verfügbar machen. Zur inneren Differenzierung dient ein zweites Arbeitsblatt, das Schülern die Möglichkeit gibt, aus Messreihen für andere Flüssigkeiten auf die doppelte Proportionalität $F_A \sim \rho \cdot V$ zu schließen, wenn sie bereits mit dem vorhergehenden Versuch fertig sind.

³Den Schülern sind eigentlich nur proportionale und antiproportionale Zusammenhänge bekannt, und letzterer scheidet aufgrund der Vorversuchs bereits aus.

4 Verlaufsplan

Phase	Lernschritt/Unterrichtsinhalt (Impulse, Schlüsselfragen, geplantes Lehrerverhalten, erwartetes Schülerverhalten)	Lernorganisation (Sozial-/Aktionsformen, Medien)
Begrüßung	L begrüßt die Klasse und stellt den Besuch vor	
Motivation	L zeigt einen Videoausschnitt zum Auftrieb	Impuls; Projektor
Problem	S benennen das Problem (z.B. "Wie viel trägt die Luftmatratze?"), L notiert es an der Tafel	SV; Tafel
Lösung	L: "Wovon könnte das abhängen? Denkt bitte kurz nach und diskutiert mit eurem Partner!" S überlegen und besprechen sich, nennen z.B. "Größe" (dann nachhaken, was mit Größe gemeint ist), Volumen, Fläche, "Form", Masse, evtl. Dichte, L notiert Vermutungen L zeigt zur Dichte ggf. Bilder (totes Meer, Nagel in Quecksilber)/fragt, wonach man eine Matratze auswählen würde	Impuls UG; Tafel Impuls; Bilder
Tun und Ausführen (qualitativ)	L: "Die meisten Vermutungen können wir sofort überprüfen. Wer möchte das vorne ausprobieren?" S führt das Demoexperiment vor, je nach Hypothesen mit oder ohne Unabhängigkeit von der Fläche, Form oder Masse S bemerken, dass im Vergleich zur kleinen Kugel eine große Kraft erforderlich ist, um den Basketball unterzutauchen, bewerten die Vermutungen (ggf. wird nur bemerkt, dass es "schwer" sei – dann nach einem passenden physikalischen Begriff fragen), L notiert an der Tafel L definiert den Begriff "Auftrieb"	S-Demoexp. UG; Tafel LV; Tafel
Tun und Ausführen (quantitativ)	L: "Bevor wir nun <i>untersuchen</i> , wie Kraft und Volumen zusammenhängen – welche Vermutungen habt ihr dazu?" S nennen proportionalen Zusammenhang und ggf. den entsprechenden Graph, L notiert L erklärt kurz die Idee der Messung S holen Arbeitsblätter und Material, führen das Experiment durch und werten es aus L beobachtet und gibt ggf. Hilfestellungen, verteilt Lösungsfolie und ggf. Differenzierungsmaterial	Impuls SV; Tafel LV; Kraftmesser, Massenstück Schülerversuch/GA; AB
mögliche Pause		
Tun und Ausführen (quantitativ)	S präsentieren und diskutieren ihre Lösungen, L hält sich so weit wie möglich zurück (am Ende sollte als Ergebnis $F_A \sim V$ gesichert sein, evtl. werden die Schüler auch schon 0.01N/cm^3 als Proportionalitätskonstante nennen)	SV/UG; OHP

5 Literatur

- [1] Kernlehrplan für die Sekundarstufe II, Gymnasium / Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen: Physik
- [2] H. Muckenfuß, *Lernen im sinnstiftenden Kontext* (Cornelsen, 1995)
- [3] W. Bleichroth et al., *Fachdidaktik Physik* (Aulis, 1999)

6 Erklärung

Ich versichere, dass ich die Schriftliche Arbeit eigenständig verfasst, keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt und die Stellen der Schriftlichen Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder Sinn nach entnommen sind, in jedem einzelnen Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe. Das Gleiche gilt auch für beigegebene Zeichnungen, Kartenskizzen und Darstellungen. Anfang und Ende von wörtlichen Textübernahmen habe ich durch An- und Abführungszeichen, sinngemäße Übernahmen durch direkten Verweis auf die Verfasserin oder den Verfasser gekennzeichnet.

Ort, Datum

Unterschrift

Anhang

- erwartetes Tafelbild
- Arbeitsblätter / -aufträge

Wie viel trägt eine Luftmatratze?

Vermutungen: Das hängt ab von...

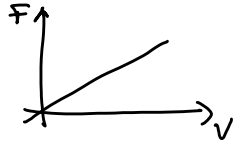
- Volumen ✓
- Fläche ✗
- Form ✗
- Masse ✗
- Dichte der Flüssigkeit

Versuch: Kleine Styroporkugel, Styroporquader, Basketball werden unter Wasser getaucht

- Ergebnis:
- Lage des Quaders unter Wasser ist egal
 - kleine Kugel: geringe Kraft nötig
 - Basketball: große Kraft nötig

Wenn man einen Körper in einer Flüssigkeit untertaucht, dann wirkt auf ihn eine nach oben gerichtete Kraft: der Auftrieb.

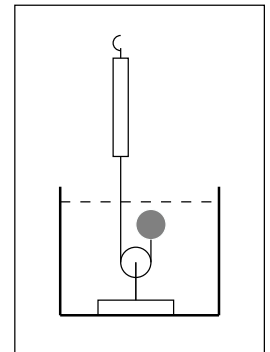
Vermutung: $F \sim V$



Wie hängen Auftriebskraft und Volumen zusammen?

Grundidee: Den Auftrieb direkt messen, indem man Gegenstände unter Wasser zieht.

Material: Wasserbehälter, Tonnenfuß mit Umlenkrolle, 6 Tauchkörper, Federkraftmesser (1 N)

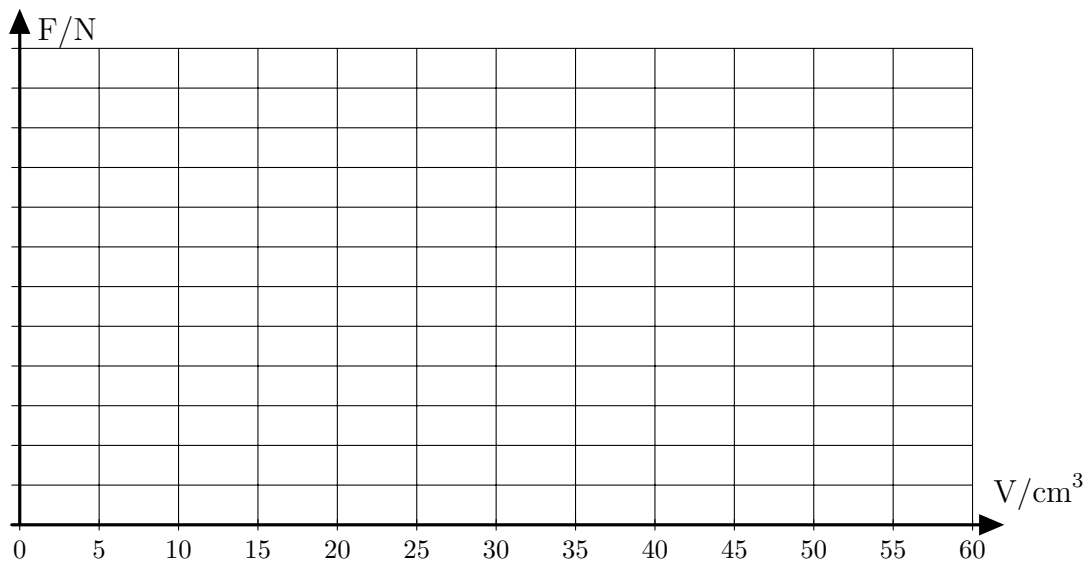


Aufbau/Durchführung: Stelle den Tonnenfuß in den Wasserbehälter. Hänge den Kraftmesser in die Öse des Tauchkörpers und lege den Faden um die Umlenkrolle. Ziehe den Körper dann vollständig unter Wasser und lies die Kraft ab.

Messwerte:

Körper	Quader			Kugel		
V/cm ³	24	36	48	8	27	58
F/N						

Auswertung: Trage die Messwerte in das Diagramm ein. Wähle dazu eine passende Einteilung für die Kraftachse. Formuliere dann ein *begründetes* Ergebnis als Antwort auf die Überschrift und zeichne in das Diagramm eine Kurve ein, die zu deiner Antwort passt.



Ergebnis:

.....

.....

.....

.....

Wie hängen Auftriebskraft und Dichte zusammen?

Du hast bereits festgestellt, dass der Auftrieb proportional zum Volumen des Körpers ist. Wenn der Versuch in Alkohol oder Zuckerwasser durchgeführt wird, erhält man folgende Messwerte:

Körper	Quader			Kugel		
V/cm ³	24	36	48	8	27	58
F/N (Alkohol)	0.19	0.29	0.38	0.06	0.22	0.46
F/N (Zuckerwasser)	0.31	0.47	0.62	0.10	0.35	0.75

Finde heraus, wie Auftrieb und Dichte zusammenhängen. Die verwendeten Flüssigkeiten haben folgende Dichten: $\rho_{Wasser} = 1\text{g/cm}^3$, $\rho_{Alkohol} = 0.8\text{g/cm}^3$, $\rho_{Zuckerwasser} = 1.3\text{g/cm}^3$.

Ergebnis:

.....

.....

.....

.....

Wie hängen Auftriebskraft und Dichte zusammen?

Du hast bereits festgestellt, dass der Auftrieb proportional zum Volumen des Körpers ist. Wenn der Versuch in Alkohol oder Zuckerwasser durchgeführt wird, erhält man folgende Messwerte:

Körper	Quader			Kugel		
V/cm ³	24	36	48	8	27	58
F/N (Alkohol)	0.19	0.29	0.38	0.06	0.22	0.46
F/N (Zuckerwasser)	0.31	0.47	0.62	0.10	0.35	0.75

Finde heraus, wie Auftrieb und Dichte zusammenhängen. Die verwendeten Flüssigkeiten haben folgende Dichten: $\rho_{Wasser} = 1\text{g/cm}^3$, $\rho_{Alkohol} = 0.8\text{g/cm}^3$, $\rho_{Zuckerwasser} = 1.3\text{g/cm}^3$.

Ergebnis:

.....

.....

.....

.....

Arbeitsauftrag: Präsentation

Ihr sollt nach Ende der Arbeitsphase euer Ergebnis präsentieren. Dabei sind folgende Punkte wichtig:

- Wie ist der Versuch aufgebaut? Wozu dient die Umlenkrolle?
- Gibt es eurer Meinung nach Messfehler? Was ist der Grund für diese Fehler?
- Was ist euer Ergebnis? Wie seid ihr darauf gekommen?