

**aberUniversität Bielefeld
Fakultät für Physik
Physik und ihre Didaktik**

„Experimente mit PET-Flaschen zum Themengebiet Luft“

Arbeit zur Erlangung des akademischen Grades
Master of Education

Betreuung und Gutachten durch:

Frau Prof. Dr. Bärbel Fromme (Erstgutachterin)

Frau Dr. Michaela Schulz (Zweitgutachterin)

Verfasst und vorgelegt von:

Sven Graumüller

Bremer Str. 33

33613 Bielefeld

Matrikelnummer: 1863279

E-Mail: sven.graumueller@gmx.de

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	3
2. Einleitung	4
3. Allgemeine physikalische Theorie	7
4. Vermittlung der Eigenschaften von Luft	16
4.1. <i>Zu den Versuchen</i>	16
4.2. <i>Verwendetes Werkzeug</i>	16
4.3. <i>Die Abhandlung der Versuche</i>	17
4.4. <i>Eigenschaften von Luft im Experiment</i>	17
5. Versuche zum alltäglichen Einsatz und Wirken von Luft	29
5.1. <i>Druckdifferenzen physikalischer Systeme: Wirkung und Nutzen im Alltag</i>	30
5.2. <i>Rückstoß für die Fortbewegung</i>	43
5.3. <i>Von Wind und Wetter zu Arbeit und Umwandlung von Energie</i>	49
6. Fazit	62
7. Literatur	65
8. Internetquellen	66
9. Eigenständigkeitserklärung	67

1. Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde eine Versuchsreihe zum Thema Luft erarbeitet, deren Versuchsdesigns sich ausschließlich aus PET-Flaschen und weiteren Haushaltsmaterialien gestalten lassen. Dazu wurden sechzehn Versuchsaufbauten entweder selbst entwickelt oder aus Literatur und Internet vorgeschlagene Versuchsdesigns ausprobiert, durch die die Eigenschaften und das alltägliche Wirken von Luft veranschaulicht werden sollen. Zusätzlich werden vereinzelte (Begleit-) Versuche theoretisch abgehandelt, die dem Verständnis bzw. der Vertiefung dienen. Generell sind diese Versuche für den Einsatz in der 7. bis 8. Klasse der Haupt- und Realschulen konzipiert, können aber teilweise bereits in Grundschulen zum Einsatz kommen, um den Aufbau eines gewissen Grundverständnisses für physikalische Sachverhalte einzuleiten.

Unter Einbindung des Teilchenmodells, welches je nach Jahrgangstufe für die Schülerinnen und Schüler (im Folgenden als SuS abgekürzt) noch weitestgehend unbekannt und abstrakt ist, soll eine Kausalkette hergestellt werden, durch die sich eine schlüssige Vorstellung zu physikalischen Vorgängen in diesem Kontext entwickeln lässt. Im Gegenzug wird das Teilchenmodell auf sein Erklärungspotential überprüft.

Die Versuchsreihe ist zweigeteilt. Der erste Teil soll ein Verständnis der Eigenschaften von Luft (und Gasen allgemein) aufbauen und schlussendlich auf die allgemeine Gasgleichung idealer Gase hinauslaufen.

Der zweite Teil bietet Raum verschiedene Phänomene des Alltags modellhaft darzustellen, um sie dann mit dem zuvor erlangten Wissen zu erklären. Darunter fallen Auftrieb, Arbeit, Auswirkungen von Druck und Druckunterschieden sowie daraus resultierende Wetterphänomene.

Nicht allein der physikalische Hintergrund steht im Fokus dieser Arbeit, auch der potentielle Nutzen, der sich aus dem Einsatz von Haushaltsmaterialien im Unterricht ergibt, soll beleuchtet werden. Anregung zum Selberforschen und Abbau von Berührungängsten mit Physik sollen gefördert werden.

2. Einleitung

Luft ist ein Gasgemisch, welches unsere Atmosphäre bildet, indem es den Planeten komplett umhüllt. Dieses Gasgemisch setzt sich zu etwa 78% aus Stickstoff, 21% aus Sauerstoff und zu rund 2% aus Argon, Kohlenstoffdioxid, Wasserstoff und in Spuren aus weiteren Gasen zusammen. Neben diesen Bestandteilen „reiner“ Luft befinden sich zusätzlich verschiedenste Partikel aus Industrieemissionen, Staub, Wasserdampf etc. in der Atmosphäre. Letztere sollen in dieser Arbeit nicht weiter behandelt werden, da sie für das Verständnis der Sachverhalte nicht relevant sind.

Wie sämtliche Materie auf der Erde unterliegt auch die Luft der Gravitation. Das hat zur Folge, dass der Luftdruck senkrecht von der Erdoberfläche entfernend nachlässt. Da Luft kompressibel ist, gilt hier nicht die Formel für den Schweredruck, welcher beispielsweise bei Flüssigkeiten gilt. Für Gase wurde die barometrische Höhenformel aufgestellt, über die sich der Gasdruck in einer bestimmten Höhe berechnen lässt (Hänsel, H., Neumann, W.; (b) (1993); S180). Bergsteiger beispielsweise sind aus diesem Grunde oft gezwungen ab einer gewissen Höhe Atmungsgeräte zu benutzen, da der Sauerstoffgehalt (und selbstverständlich auch die Konzentrationen der restlichen Gase) in größeren Höhen spürbar abnimmt. Umgangssprachlich sagt man, dass die Luft immer dünner wird, da pro m^3 weniger Gasmoleküle vorhanden sind.

Evangelista Torricelli (1608-1647) entdeckte den Schweredruck der Luft, indem er ein Glasrohr vollständig in Quecksilber tauchte, es dann oben verschloss und beim Herausziehen bemerkte, dass das Quecksilber in dem Rohr über den äußeren Pegel des Quecksilbergefäßes stieg. Dieses Phänomen erklärte er mit dem Schweredruck der Luft, der außerhalb des Rohres auf der Oberfläche des Quecksilbers lastet. Nach ihm wurde die Einheit Torr für Druck benannt (vgl.: Hänsel, H., Neumann, W.; (a) (1993); Physik S. 180f). Manch einer mag dieses Phänomen bereits selber beobachtet haben, beispielsweise beim Spülen von Gläsern.

Nahe der Erdoberfläche ist der Luftdruck am höchsten und wir sind überall von Luft umgeben. Kein „offener“ Raum ist leer, da die Luft überall hineinströmt, wo sich ihr ein Weg bietet. Verschiebt man einen Gegenstand, so verdrängt dieser die Luft an dem Ort, wo er hin geschoben wird. An die Stelle, von der der Gegenstand wegbewegt wurde, strömt unverzüglich wieder Luft hin. Selbst beim Ausgießen einer Wasserflasche strömt sofort Luft hinein und belegt den Raum, der zuvor vom Wasser

eingenommen wurde. Deutlich wird dies, wenn man tatsächlich eine Flasche Wasser ausgießt und genau beobachtet, was dabei geschieht. Es ist zu erkennen, dass das Wasser immer in kleineren Schwallen herausfließt. Dieses ungleichmäßige Austreten des Wassers wird durch den Eintritt von Luft in die Flasche verursacht. Nun wirkt der Luftdruck von außen in vollem Maße auf die gesamte Fläche der Flaschenöffnung, was durch die relativ großen, aufsteigenden Luftblasen im Wasser sichtbar wird. Die aufsteigende Luft behindert nun den Ausfluss des Wassers. Mit dem Austritt des Wassers aus der Flasche wird im oberen Bereich der Flasche Raum frei. In diesem Raum befindet sich zunächst nur ein sehr geringes Volumen Luft (welches beim Umkippen der Flasche eintritt und auf Grund der geringeren Dichte als der des Wassers nach oben steigt). Tritt nun immer mehr Wasser aus der Flasche wird der Raum größer, das Gasvolumen bleibt aber zunächst (für einen sehr kurzen Zeitraum) unverändert, da die Luft nicht ohne eine gewisse zeitliche Verzögerung nachströmen kann. Das hat zur Folge, dass die Moleküle der Luft nun im Durchschnitt mehr Raum zur Verfügung haben, wodurch die Wahrscheinlichkeit von Zusammenstößen mit anderen Molekülen und/oder der Gefäßwand sinkt. Aus der Definition heraus (Kuchling, H.; (2004); S. 311) sinkt dort nun nach dem später im Theorieteil dieser Arbeit beschriebenen Gesetz von Boyle-Mariotte, der Gasdruck. Da die Differenz zwischen äußerem und innerem Gasdruck stetig zunimmt, wird von außen Luft in die Flasche hineingedrückt, was durch die Eigenschaften des Wassers (oder beliebiger anderer Flüssigkeit mit relativ geringer Viskosität) ermöglicht wird.

Hält man nun bei der ausfließenden Wasserflasche einen Strohhalm in die Flaschenöffnung so kann das Wasser deutlich schneller aus der Flasche austreten, da sich die einströmende Luft und das ausfließende Wasser nicht in ihrer Bewegung in der Öffnung beeinflussen.

Obwohl Luft unsichtbar und an sich für den Menschen geschmacks- und geruchlos ist, nimmt sie einen großen Einfluss auf alltägliche Phänomene. Sie dient als Überträgermedium für Schall, bietet Landlebewesen den nötigen Sauerstoff zum Atmen und kann als Sturm zu einer gewaltigen Kraft werden. Viele Eigenschaften, die die Luft ausmachen werden von Mensch und Tier auch aktiv genutzt. Vögel beispielsweise nutzen Luft auf Grund ihrer biologischen und physikalischen Beschaffenheit (die der Vögel). Diese hat sich der Mensch auch zu Eigen gemacht und mittels technischer Entwicklungen die Luft als Fortbewegungsmedium zu verwenden gelernt. Der Mensch konnte sich im Laufe der Zeit die Eigenschaften in

vielen Bereichen gezielt zu Nutze machen. Das spiegelt sich in der Luftfahrt (Heißluftballon, Thermik), Technik (Pneumatik), Haushalt (Sprühflaschen, Saugnäpfe, Staubsauger etc.) und diversen anderen Bereichen wider.

Die vorliegende Arbeit soll ein schlüssiges Bild zum Verständnis der grundlegenden Gesetzmäßigkeiten von Gasen und den kreativen Umgang mit diesem Wissen zeichnen. Mit Hilfe von gezielten Versuchen sollen die verschiedenen Eigenschaften der Luft unter bestimmten Bedingungen, also ihre Zustandsgrößen (Druck, Temperatur, Volumen, Stoffmenge etc.), logisch aufeinander aufgebaut und untereinander herleitbar, dargestellt werden. Sämtliche Versuchsaufbauten sind ausschließlich aus PET-Flaschen, Haushaltsgegenständen oder Bauteilen hergestellt, die leicht zu beschaffen sind. Das hat verschiedene Gründe: PET-Flaschen sind neben der problemlosen Verfügbarkeit leicht zu bearbeiten, äußerst robust, vielseitig verwendbar und auf Grund ihrer Transparenz ermöglichen Aufbauten aus PET-Flaschen den Aufbau von gut einsehbaren „Reaktionsräumen“. Ferner ist der Umgang mit PET-Flaschen bereits ganz jungen Kindern vertraut, wodurch das Experimentieren nicht durch eventuelle Berührungängste oder Angst vor teuren Beschädigungen gehemmt werden könnte. Das Experimentieren mit Haushaltsgegenständen soll Kinder und Jugendliche ermutigen sich mit ihrer Umwelt auseinander zu setzen, eigene Hypothesen aufzustellen und diese, unter Einbezug modellhaften Denkens, zu prüfen. Des Weiteren soll es sie befähigen ihre Gedanken technisch umzusetzen. Es werden motorisches Geschick, handwerkliche Fähigkeiten, problemlösendes Denken sowie der zweckmäßige Einsatz und Umgang mit verschiedenen Werkzeugen und Materialien geschult. Die Versuche in der vorliegenden Arbeit sind zum Teil zu komplex oder zu zeitintensiv in der Konstruktion, als dass sie im Unterricht von den Lernenden problemlos nachgebaut und in der Gruppe zweckdienlich zum Einsatz kommen könnten. Andere wiederum eignen sich sehr gut zum Selberbauen für SuS und werden in dieser Arbeit entsprechend als **SB-Versuch** gekennzeichnet.

3. Allgemeine physikalische Theorie

Um die physikalischen Vorgänge besser verstehen zu können ist es notwendig, sich vorab mit der zugrundeliegenden Theorie zu beschäftigen. Da sie für das Gesamtverständnis irrelevant sind, werden die Reibungsverluste, eventuelle Temperaturänderungen bei der Gaskompression, Hebelwirkungen und Rückstellkräfte verwendeter Materialien etc. zwar bei entsprechenden Versuchen der Vollständigkeit halber erwähnt, jedoch hier nicht näher behandelt.

Auf der Erde unterscheiden wir nach der äußeren Erscheinungsform drei Aggregatzustände: den festen, den flüssigen und den gasförmigen (vgl. Stuart, H. A., Klages, G.; (1997); S.35). In dieser Arbeit sind insbesondere die Gase im Fokus, denn bei Luft handelt es sich, wie in der Einleitung bereits erläutert, um ein Gemisch aus verschiedenen Gasen. Gase haben keine feste Gestalt und auch kein festes Volumen. Jeder zur Verfügung stehende Raum wird ausgefüllt und nur der äußere Druck hält ein Gas zusammen (vgl. Stuart, H. A., Klages, G.; (1997); S.35). Das bedeutet im Umkehrschluss, dass das Gas durch seine Ausdehnung ebenfalls Druck ausübt.

Da Gase sich in dem gesamten Raum ausbreiten der ihnen geboten wird, müssen sich deren Teilchen in diesem Raum bewegen. Für die Bewegung wird Energie benötigt. Diese entstammt der im System vorherrschenden Temperatur. In der Thermodynamik wird die Temperatur in Kelvin [K] gemessen. Sie ist das Maß der kinetischen Energie und beschreibt die Geschwindigkeit der einzelnen Teilchen zueinander in einem mikroskopischen System (vgl. Hermes, R., Kähler, D., Klaas, H.-D.; S.68). Da sich die Teilchen eines Gases frei bewegen, verteilen sie sich in dem ihnen zur Verfügung stehenden Raum. Diese Verteilung geschieht nach dem Gleichverteilungssatz der Thermodynamik. Nun ist die innere Energie pro Teilchen $\frac{U}{n}$ proportional zur Anzahl der Freiheitsgrade f und der Temperatur T . Die Proportionalitätskonstante wird als Boltzmann-Konstante k_B bezeichnet und beträgt $k_B=1,380658 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$. Somit gilt

$$\frac{U}{n} = k_B \cdot T \quad (1)$$

(vgl. Hermes, R., Kähler, D., Klaas, H.-D.; S.68). Die Freiheitsgrade der Atome und Moleküle beschreiben deren Bewegungsmöglichkeiten im Raum. Es gibt Translations-, Rotations- und Vibrationsfreiheitsgrade, letztere jedoch nur bei

mindestens zweiatomigen Gasmolekülen. Die Verteilung der Atome und Moleküle kann man sich, zwar nur mit Einschränkungen, für den Einstieg gut am Beispiel von den Geschehnissen auf einem Billardtisch vorstellen. Die Verteilung der Kugeln beim Billard nach dem Anstoß vermittelt ein deutliches Bild von den Bewegungen und den Bewegung lenkenden Aspekten. Die Bewegung in dem Beispiel geschieht jedoch nur zweidimensional und die Energiezufuhr geht lediglich von dem Anstoß mit dem Queue auf eine Kugel aus, aber die Übertragung der Energie von der einen Kugel auf das gesamte System wird deutlich. Stellt man sich vor, dass sich alle Kugeln dauerhaft bewegen, und das auch in der dritten Dimension, so ist es leicht nachvollziehbar, dass sich die Teilchen relativ schnell im gesamten zur Verfügung stehenden Raum ausbreiten. Während beim Billard die Kugeln über den Tisch rollen, kollidieren sie miteinander und stoßen auch gegen die Banden. Jede Kollision hat eine Richtungsänderung und eine Übertragung von Energie zur Folge. Die Stöße gegen die Banden entsprechen in etwa dem Entstehen des Gasdrucks in einem Gefäß (Kuchling, H.; (2004); S. 311).

In der Physik unterscheidet man zwischen idealen und realen Gasen. Ideale Gase zeichnen sich durch ein nicht merkliches Eigengewicht der Teilchen aus, die abgesehen von kurzzeitigen Stößen, keine Kräfte aufeinander ausüben (Meschede, D., (2006); S. 216). Reale Gase hingegen müssen bei höheren Dichten und Drücken, anders betrachtet werden. In diesem Fall müssen z.B. die Van-der-Waals-Kräfte berücksichtigt werden. Je langsamer sich die Teilchen bewegen oder je dichter das Gas ist, umso mehr steigen die Kohäsionskräfte in ihrem Einfluss (Kuchling, H.; (2004); S. 280). Unter Berücksichtigung dieser Faktoren kann für jedes Gas mit jeder Dichte eine Zustandsgleichung konstruiert werden, die die Stoffmenge, den Druck, das Volumen und die Temperatur verknüpft. Da die Zustandsgrößen alle in proportionalen Abhängigkeiten zueinander stehen, hat dies zur Folge, dass man bei definierter Gasmenge aus zwei der drei Zustandsgrößen p , V und T die dritte eindeutig bestimmen kann (Tipler, P. A., Mosca, G.; (2009); S. 674).

Um auch dieses Gefüge modellhaft darzustellen, kann man das Teilchenmodell zu Rate ziehen, durch das Materie und ihre Zustände erklärt werden können.

Das Teilchenmodell

Um eine Vorstellung zu bekommen wie sich Stoffe theoretisch verhalten, ist es sinnvoll vereinfachte Modelle zu betrachten. Das Teilchenmodell ist so eines. Es beschreibt Materie als Ansammlung vieler kleiner Teilchen und dient in erster Linie der Erklärung als der Vorhersage physikalischer Phänomene. Diese Phänomene umfassen beispielsweise den Aggregatzustand, den Druck und die Temperatur, welche in dieser Arbeit von tragender Rolle sind.

In diesem Modell wird davon ausgegangen, dass Materie aus Stoffteilchen besteht, die mehr oder weniger stark in Bewegung sind. Diese Bewegung ist abhängig von der Temperatur des Stoffes. Je höher die Temperatur ist, desto schneller sind die Teilchen. Anhand dieses Modells kann man erklären, wie Aggregatzustände entstehen, wie eine Übertragung thermischer Energie zwischen verschiedenen Stoffen abläuft, wie Druck entsteht und wieso man Gase komprimieren kann. Hierbei ist zu beachten, dass die einzelnen Teilchen einer gegenseitigen Anziehungskraft unterliegen (van-der-Waals Kräfte), welche die Übergänge von Materie in die verschiedenen Aggregatzustände begründet.

Um der Lerngruppe vorab einen visuellen Eindruck des Teilchenmodells zu vermitteln, kann man sich einfacher Hilfsmittel bedienen. Auf die Frage, was die kleinsten Teilchen sind, die die Kinder einer Klasse des naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht – bei dem ich hospitierte – kennen, kam einmal die Antwort: „Krümel!“. Was im ersten Moment als sehr naiv und erheiternd wirkt, lässt sich jedoch gut aufgreifen und verwenden. Zerdrückt man beispielsweise ein Stück Kreide, so sieht man, dass sich dieser Feststoff aus vielen kleinen Teilchen zusammensetzt, die wiederum noch weiter zerkleinert werden können. Bläst man den Kreidestaub dann in die Luft, so schweben die Teilchen des Kreidestaubs recht lange und gut sichtbar und verbreiten sich gleichmäßig im Raum. Die Staubpartikel steigen auf und breiten sich aus. Auf diese Weise wird indirekt die Brown'sche Molekularbewegung visualisiert, da die Staubpartikel durch die Kollisionen mit den Molekülen der Luft bewegt und im Raum verbreitet werden. Dieser Sachverhalt wird später noch einmal aufgegriffen.

Um das Denken in Modellen zu fördern kann hier ergänzend ein mit Gummibällen gefülltes, größeres Einmach- oder Aufbewahrungsglas herangezogen werden. Wenn man dieses schüttelt entsteht ein erster Eindruck, wie sich die „Teilchen“ gegenseitig in ihrer Bewegung beeinflussen. Die Bewegungsenergie entstammt in diesem Modell

der mechanischen Bewegung des Glases durch die durchführende Person. An diesem praktischen Beispiel wird eine Vorstellung generiert, in der gezeigt wird, dass ein Gas aus Materie besteht, somit eine Masse hat und dass in einem abgeschlossenen Raum die Stoffmenge unverändert bleibt, da weder Gummibälle hinaus noch hinein können.

Durch widerspruchsfreies Rekonstruieren und Vorhersagen von Phänomenen fällt es der Schülerschaft leichter den Abstraktionsschritt zu bewältigen und den Teilchenbegriff zu akzeptieren (Harsch, G., Heimann, R.; (2006)). Dieses Verständnis und die Akzeptanz zu den Sachverhalten sind fundamental für das Fortschreiten im naturwissenschaftlichen Unterricht und verlangen ausreichende Aufmerksamkeit in der Vermittlung.

Die Basis für die in dieser Arbeit relevanten Aspekte des Teilchenmodells bilden die Theorien und Gesetze, die die allgemeine Gasgleichung idealer Gase zu Grunde liegt. Diese sind die Brown'sche Molekularbewegung, das Gesetz von Avogadro, das Gesetz von Boyle-Mariotte und das erste und zweite Gesetz von Gay-Lussac. Um den Zusammenhang zu verdeutlichen, werden diese nachfolgend behandelt.

Von der Brown'sche Molekularbewegung zum Gasdruck

Sämtliche Moleküle eines Körpers befinden sich durch ihre kinetische Energie in Bewegung. Die Moleküle in einem Feststoff schwingen um einen festen Platz in dem Kristallgitter, in Flüssigkeiten um eine veränderliche Momentanlage und in Gasen bewegen sie sich auf Grund der fehlenden Kohäsion relativ schnell im Raum (Kuchling, H.; (2004); S. 180). Diese Bewegungen sind, bis es zu Zusammenstößen mit anderen Molekülen oder Oberflächen kommt, geradlinig. In Flüssigkeiten und Gasen kann man diese Bewegungen indirekt beobachten, bei der Betrachtung von beispielsweise Tinte in Wasser oder dem oben genannten Kreidestaub in der Luft. Sowohl der Staub als auch die Tinte breiten sich mit der Zeit gleichmäßig in dem Medium aus (Kuchling, H. (2004); S. 180). Jedes Teilchen wird, durch die beschriebene Molekularbewegung, ständigen Zusammenstößen mit anderen Teilchen ausgesetzt. Diese Zusammenstöße erfolgen von allen Seiten. Sind die Stöße von einer Seite stärker als von einer anderen, so wird das von uns betrachtete Teilchen in die entgegengesetzte Richtung bewegt. Dieser Vorgang geschieht permanent. Mit der Zeit kommt es auf Grund der steten Bewegung und der erwähnten Richtungsänderungen zu einer Vermischung der verschiedenen Teilchen.

Ein derartiges selbstständiges Ausbreiten eines Stoffes durch einen anderen bezeichnet man als Diffusion (Natur und Technik – Chemie 7/8 – Realschule Nordrhein-Westfalen; S 21). Bei dieser Bewegung und Verteilung kommt es zu diversen Zusammenstößen zwischen den Molekülen des Gases und eventuell begrenzenden Oberflächen. Diese Zusammenstöße verursachen den Gasdruck, der umso höher wird, je höher die Energie der Moleküle und Atome ist.

Der Druck p ist als eine Kraft F zu verstehen, die auf die Oberfläche A eines Körpers in beliebigem Aggregatzustand wirkt. Es gilt:

$$p = \frac{F}{A} \quad (2)$$

(Kuchling, H. (2004); S. 150). Die entsprechende nach *Blaise Pascal (1623-1662)* benannte SI-Einheit für die physikalische Größe Druck Pascal [Pa] lautet:

$$p = \frac{N}{m^2} \quad (3)$$

wobei N die von den SI-Einheiten abgeleitete Einheit Newton ist ($1N = 1 \frac{kg \cdot m}{s^2}$) (Kuchling, H.; (2004); S. 311).

Zwischen dem Druck eines Gases und dessen Volumen erkannten die Herren *Robert Boyle (1626-1691)* und *Edme Mariotte (1620-1684)* unabhängig voneinander einen proportionalen Zusammenhang, der heute als Gesetz von Boyle-Mariotte Anwendung findet.

Das Gesetz von Boyle-Mariotte

Mit diesem Gesetz wird besagt, dass der Druck von idealen Gasen umgekehrt proportional zum Volumen ist, wenn die Temperatur und die Stoffmenge konstant gehalten werden (Kuchling, H.; (2004); S. 156; Das große Tafelwerk S. 82). Das bedeutet, dass bei der Vergrößerung des Volumens eines abgeschlossenen Gases dessen Druck verringert wird und bei Reduktion des Volumens der Druck zunimmt.

Also gilt für:

Temperatur T = konstant

Stoffmenge n = konstant

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad \text{bzw.} \quad V = \frac{c}{p} \quad \text{oder} \quad p \cdot V = c \quad (\text{konstant}) \quad (4)$$

Mit

p_1 = Anfangsdruck des Gases

p_2 = Enddruck des Gases

V_1 = Anfangsvolumen des Gases

V_2 = Endvolumen des Gases

(Kuchling, H.; (2004); S. 156; Das große Tafelwerk S. 82; Meschede, D. (2006); S.98).

Dieses Verhalten ist kennzeichnend für ideale Gase, wobei H_2 und He diese unter Normalbedingungen am besten erfüllen (Meschede, D.; (2006), S. 98).

Aus diesem Gesetz kann man sich leicht herleiten, dass eine Erhöhung der Stoffmenge die gleiche Auswirkung auf den Gasdruck hat, wie eine Verringerung des Volumens. Unter Einbezug des Teilchenmodells kann man erklären, dass die Wahrscheinlichkeit von Zusammenstößen zwischen Gasmolekülen und begrenzenden Oberflächen steigt, sobald mehr Moleküle vorhanden sind. Folglich hat eine erhöhte Stoffmenge ebenfalls eine Erhöhung des Gasdrucks zum Resultat. In diesem Zusammenhang verlangt die Kompressibilität von Gasen nach Erwähnung. Die Kombination des Boyle-Mariotte'schen Gesetzes und den Erkenntnissen aus der Brown'schen Molekularbewegung lässt diese Eigenschaft bereits vermuten. Der Druck eines Gases und dessen Dichte sind proportional zueinander (Meschede, D.; (2006); S. 98). Die Dichte ist das Verhältnis zwischen seiner Masse zu dem Volumen (hier die Ausdehnung) des idealen Gases

$$\rho = \frac{m}{V} . \quad (5)$$

Wird dieses Gas langsam isotherm komprimiert, folgt aus dem Gesetz von Boyle-Mariotte die Kompressibilität

$$\kappa = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dp} = \frac{1}{V} \frac{c}{p^2} = \frac{1}{p} , \quad (6)$$

mit einem konstanten Wert für alle idealen Gase (Meschede, D.; (2006); S. 98).

Eine weitere Abhängigkeit erkannten 1787 *Jaques Charles* (1746-1823) und 1802 *Joseph Louis Gay-Lussac* (1778-1850) für die Temperatur und das Volumen eines Gases.

Das erste Gesetz von Gay-Lussac

Dieses Gesetz sagt aus, dass ein Gas bei konstanter Stoffmenge und konstantem Druck einen zur Temperatursteigerung proportionalen Volumenzuwachs erfährt (Kuchling, H.; (2004); S. 250; Das große Tafelwerk S. 82). Ein Gas dehnt sich somit aus, wenn sich die Temperatur erhöht und zieht sich zusammen, sobald die Temperatur sinkt.

Also gilt für:

Druck p = konstant

Stoffmenge n = konstant

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{oder} \quad \frac{V}{T} = \text{konstant.} \quad (7)$$

Mit

V_1 = Anfangsvolumen des Gases

V_2 = Endvolumen des Gases

T_1 = Anfangstemperatur des Gases

T_2 = Endtemperatur des Gases

(Kuchling, H.; (2004); S. 156; Das große Tafelwerk S. 82).

Das zweite Gesetz von Gay-Lussac stellt den proportionalen Zusammenhang zwischen Druck und Temperatur her.

Das zweite Gesetz von Gay-Lussac

Mit diesem Gesetz wird besagt, dass der Druck von idealen Gasen direkt proportional zur Temperatur ist, wenn das Volumen und die Stoffmenge konstant gehalten werden (Kuchling 2004; S. 251; Das große Tafelwerk S. 82).

Also gilt für:

Volumen V = konstant

Stoffmenge n = konstant

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{oder} \quad \frac{p}{T} = \text{konstant} \quad (8)$$

Mit

p_1 = Anfangsdruck des Gases

p_2 = Enddruck des Gases

T_1 = Anfangstemperatur des Gases

T_2 = Endtemperatur des Gases

(Kuchling, H.; (2004); S. 156; Das große Tafelwerk S. 82).

Durch das Erwärmen der Luft bekommen die Gasmoleküle und Atome Energie zugeführt, was sich in der Bewegung der Moleküle niederschlägt. Es steigt die kinetische Energie (Bewegungsenergie) der Moleküle. Die erhöhte Geschwindigkeit der Moleküle hat verschiedene Auswirkungen. Die Moleküle überwinden nun in

kürzerem Zeitraum längere Strecken. Das erhöht den mittleren Abstand der Moleküle untereinander. Das Gas dehnt sich also aus bzw. der Druck des Gases wird erhöht.

Diese Gesetze beschreiben Proportionalitäten bei konstanten Stoffmengen. Das Variieren dieser Zustandsgröße nimmt jedoch – wie im Abschnitt Boyle-Mariotte bereits erwähnt – ebenfalls Einfluss auf die Zustandsgröße Gasdruck. Diesen Zusammenhang hat vermutlich die gesamte Schülerschaft des naturwissenschaftlichen Anfangsunterrichts beim Aufblasen von Ballons oder dem Aufpumpen von Fahrradreifen gemacht, womit man einen geeigneten Alltagsbezug zu der Erfahrungswelt der Kinder schaffen kann. Wichtige Zusammenhänge zwischen Druck und Stoffmenge entdeckte *Amadeo Avogadro* (1776-1856).

Das Gesetz von Avogadro

Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro (kurz Amedeo Avogadro) definierte die heute als SI-Einheit verwendete Einheit der Stoffmenge $[n] = \text{Mol (mol)}$ als die Stoffmenge, die ebenso viele Teilchen enthält wie 12g des Kohlenstoffisotops ^{12}C . Somit ist die Stoffmenge 1 mol bei allen Stoffen gleich und enthält $N_A = 6,02214 \cdot 10^{23}$ Teilchen (Kuchling, H.; (2004); S. 256). Avogadro fand heraus, dass das molare Volumen

$$V_m = \frac{V}{n} \quad (9)$$

bei einer konstanten Temperatur und einem konstanten Druck für alle Gase dasselbe ist. Das bedeutet, dass jedes Gas, welches bei einer bestimmten Temperatur einen bestimmten Druck aufweist, über dieselbe Anzahl Teilchen verfügt (Mortimer, C. E.; (1986); S. 136f). Daraus lässt sich schließen, dass nicht nur die Temperatur eine Variation des Drucks hervorruft, sondern auch eine Veränderung der Stoffmenge.

Die molare Masse M eines Stoffes beschreibt das Verhältnis zwischen der Masse eines Stoffes zu seiner Teilchenanzahl, wobei Teilchen sowohl Moleküle, Atome, Ionen als auch Elektronen etc. sein können (Kuchling, H.; (2004); S. 256). Sie berechnet sich aus

$$M = \frac{m}{n}, \quad (10)$$

wobei m die Masse des Stoffes und n dessen Stoffmenge ist.

Nun wurde bis hier erarbeitet, dass Druck, Temperatur, Stoffmenge und das Volumen sich gegenseitig beeinflussen und die Eigenschaften eines Gases bestimmen. Um diese Zustandsgrößen zusammenzufügen, werden die bisherigen

Erkenntnisse genauer betrachtet. Der Druck eines Gases ist gleich dem Produkt der Gasmenge und dem Quotienten von Temperatur und Volumen.

Über die Energie erhält man aber durch die Summe der kinetischen Energien der Bestandteile eines Gases (Atome und Moleküle) die nötigen Informationen. Um Temperatur, Stoffmenge und entsprechende Energie miteinander zu verknüpfen, kommt demgemäß die universelle Gaskonstante R hinzu. Diese ist das Produkt aus der Avogadrozahl N_A und der Boltzmannkonstante k_B und beträgt $R = 8,31 \frac{J}{K \cdot mol}$. Als Formel bedeutet das:

$$p = \frac{m \cdot R \cdot T}{V} \quad \text{oder} \quad p \cdot V = m \cdot R \cdot T. \quad (11)$$

Dies ist die allgemeine Gasgleichung idealer Gase für die Variabilität aller Zustandsgrößen (vgl.: Das große Buch der Physik; Gascha, H., Pflanz, S.; Sonderausgabe; S. 182).

Arbeit

Im Bereich der Mechanik ist die Größe Arbeit W_A von bedeutendem Einfluss. Dieser Begriff entwickelte sich aus dem Studium von Kraftübertragung durch Hebel, Seile und Rollen. Es zeigte sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen der aufzubringenden Kraft und der Strecke, die zurückgelegt werden soll. Dabei stellte man fest, dass man zum Bewegen einer Last durch eine geeignete Übersetzung Kraft „einsparen“ kann, dafür aber eine längere Strecke überwinden muss. Umgekehrt bedeutet das, um Weg „einzusparen“, muss mehr Kraft aufgebracht werden (Meschede, D.; (2006); S.20). Somit ist Arbeit (für den am einfachsten vorstellbaren Fall) die Verschiebung eines Massepunktes m durch die konstante Kraft F_1 vom Punkt P_1 auf Punkt P_2 , längs einer Geraden um die Strecke

$$s = s_2 - s_1. \quad (12)$$

Die Verschiebungsrichtung s stimmt mit der Richtung der konstanten Kraft F überein. Die Größe

$$W_A = F_1 \cdot s \quad (13)$$

ist somit die von der Kraft verrichtete Arbeit bei der Verschiebung (vgl.: Hänsel, H., Neumann, W.; (b) (1993); S. 83f). Arbeit W_A lässt sich für eine geradlinige Bewegung mit veränderlicher Kraft F_v als die Fläche unter der Kurve F_v darstellen. Daraus ergibt sich die Einheit

$$1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2} = 1Nm = 1Joule = 1J. \quad (14)$$

Dieser Arbeitsbegriff lässt sich auch auf die Verschiebung von Körpern übertragen.

Trifft dieser Massepunkt während der Verschiebung (für den idealen Fall senkrecht) auf einen anderen Körper, so übt er auf eine begrenzte Fläche des Körpers eine Kraft aus, was wiederum als Druck p bezeichnet wird

$$p = \frac{|\vec{F}_\perp|}{A}. \quad (15)$$

(Stuart, H. A.; Klages, G. (1997); S.46).

4. Vermittlung der Eigenschaften von Luft

4.1. Zu den Versuchen

Alle diese theoretischen Grundsteine können bei den folgenden Experimenten lediglich qualitativ erarbeitet werden. Eine möglichst exakte Bestimmung der zur Berechnung benötigten Werte der Zustandsgrößen ist kaum umsetzbar. Die Versuche der vorliegenden Arbeit wurden alle selbst gebaut. Bei der Entwicklung wurde besonderer Wert darauf gelegt, nur Materialien und Werkzeuge zu benutzen, die man relativ leicht beschaffen kann, um eine Umsetzung auch im privaten Bereich gewährleisten zu können. Ebenso wurden die verwendeten Werkzeuge nach Möglichkeit so gewählt, dass die Verarbeitung der Materialien in diesem durchgeführt werden kann.

4.2. Verwendetes Werkzeug

Um die Versuchsaufbauten zu gestalten, wurden folgende Werkzeuge benutzt:

- schnelldrehendes Multifunktionswerkzeug der Marke Top Craft mit verschiedenen Aufsätzen zum Bohren, Fräsen, Schleifen und Sägen,
- Heißklebepistole mit Heißkleber der Marke Pattex,
- Alleskleber der Marke Pattex,
- Handsägen,
- Feilen,
- Hammer,
- Bohrmaschine,
- Zangen verschiedener Variationen.

Das Verkleben von PET ist nicht völlig problemlos. Mit den verwendeten Klebersorten konnten sämtliche Verbindungen zwischen den Materialien effektiv umgesetzt werden.

4.3. Die Abhandlung der Versuche

Luft zeichnet sich – wie bereits festgehalten – im Allgemeinen nicht durch ihre Auffälligkeit aus. Man kann sie riechen, wenn sie verschmutzt ist. Man merkt, wenn sie sehr warm oder kalt ist. Im Winter kondensiert der Atem an kleinsten Partikeln in der Luft, und spüren kann man sie, wenn sie als Wind in Bewegung geraten ist. Diese Selbstverständlichkeit, dass Luft einfach überall ist und ihr scheinbar „unauffälliges Verhalten“ lässt vergessen, dass sie an vielen Stellen des alltäglichen Lebens wirkt und wir Menschen uns dieses Wirken auch mehr oder weniger bewusst zu Nutzen machen. Um diese Einflüsse der Luft im Alltag aktiv wahrnehmen zu können, muss zunächst ihre Existenz sowie die physikalischen Eigenschaften unter verschiedenen Rahmenbedingungen bekannt sein. Da man die Eigenschaften von Gasen, wie beispielsweise die Ausdehnung bei Erwärmung, nicht direkt sehen kann, zeigen alle Versuche nur indirekt, wie sich Gase verhalten. Zur Einleitung der Versuchsreihe soll auf sehr einfachem Wege die allgegenwärtige Existenz von Luft sowie die Tatsache, dass die menschliche Wahrnehmung nur bedingt zuverlässig ist, präsentiert werden.

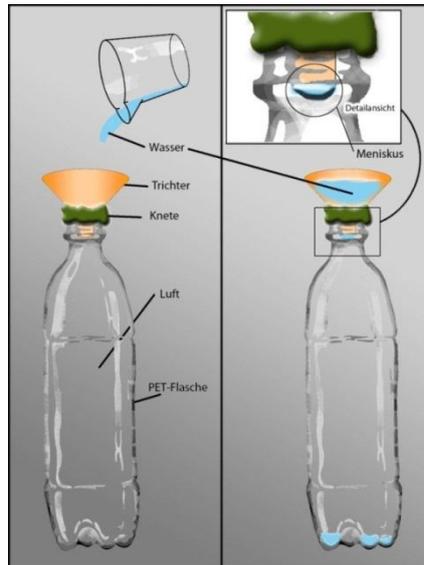
4.4. Eigenschaften von Luft im Experiment

In den folgenden Versuchen werden die grundlegenden Eigenschaften erarbeitet, um ein allgemeines Verständnis der Thematik schrittweise aufzubauen. Mit diesen Einstiegsexperimenten sollen nicht nur die physikalischen Fakten vermittelt werden, die SuS werden ebenso gefordert genau zu beobachten, was für Reaktionen während der Durchführung ablaufen. Kausales Denken soll gefördert werden, um darauf aufbauend die anschließenden Experimente zu verschiedenen Alltagsphänomenen, auf Basis der oben genannten Gesetzmäßigkeiten, selbstständig verstehen und erklären zu können. Zunächst sollen aber die relevanten Zustandsgrößen erarbeitet und erkannt werden, die sich für das Verhalten von Gasen verantwortlich zeigen. Diese sind Masse, Stoffmenge, Druck, Temperatur und Volumen.

Versuch 1: >>Die „leere“ Flasche<<

Quelle: ERLEBNIS Physik/Chemie 2; 7./8. Schuljahr; S. 119

Abb. 1.



Die Abbildung 1 stellt den Versuchsaufbau zu dem Versuch >>„leere“ Flasche<< dar. Dieser Versuch soll verdeutlichen, dass Luft Materie ist und somit Raum benötigt.

Ziel:

Mit diesem Versuch soll zunächst verdeutlicht werden, dass Luft Materie mit einer Masse ist, Raum einnimmt und daher mit anderen Stoffen und Körpern wechselwirken kann. Ferner soll die Beobachtungsgabe der SuS insofern sensibilisiert werden, dass Einflüsse, die in der alltäglichen Wahrnehmung herausgefiltert werden, bewusst Beachtung finden. Fragt man die Schülerschaft vorab, ob die Flasche voll oder leer ist, so werden sie mit hoher Wahrscheinlichkeit mit >leer< antworten. Der Erwartungsrahmen der SuS wird in diesem Zusammenhang nur eine mit Flüssigkeit gefüllte Flasche als voll definieren. Das spiegelt auch sehr eindrucksvoll wider, dass die stete Gegenwart von Luft in der Wahrnehmung oft keine Rolle zu spielen scheint und Luft als Nichts akzeptiert wird.

Versuchsaufbau:**Material:**

- 0,5 Liter PET-Flasche
- Trichter
- Knete/Kleber
- Behälter mit Wasser

Aufbau:

Der Trichter wird zunächst in die Öffnung der PET-Flasche gesteckt (vgl. Abb. 1). Um bei der Durchführung einen seitlichen Luftaustritt zu verhindern, wird der Raum zwischen Trichter und PET-Flasche entweder mit Knete abgedichtet oder dicht verklebt.

Der Vorteil der Knete liegt in der problemlosen Demontage des Aufbaus und somit der leichten Wiederverwendbarkeit der Materialien. Ferner bietet sich diese Variation eher an, wenn man den Versuch mit SuS nachbauen möchte, denn das Verkleben würde zusätzliche Zeit zum Trocknen des Klebers fordern. Ferner sehen die SuS, dass die verwendeten Materialien unverändert sind und es sich nicht um einen „Trick“ handeln kann.

Wird der Trichter doch in die Öffnung geklebt, bietet es sich an, den Boden mit einer Öffnung zu versehen, die man mit einem Gummistopfen dicht verschließen kann, um später das hineingeflossene Wasser wieder heraus zu bekommen. Der Vorteil dieser Bauweise liegt darin, dass man den gesamten Versuchsaufbau stets kompakt zur Hand hat.

Durchführung und Beobachtung:

Man gießt vorsichtig, aber zügig das Wasser aus dem Behälter in den Trichter.

Es ist zu beobachten, dass das Wasser nicht ungehindert in die Flasche strömen kann, sondern dem Wasser ein Widerstand entgegen wirkt. Das wird durch aufsteigende Luftblasen oder totales Ausbleiben des Durchflusses sichtbar.

Erklärung:

Die in der Flasche befindliche Luft hat nach dem Abdichten des Trichter-Flaschen-Übergangs nur eine Öffnung, aus der sie austreten kann. Wird dann das Wasser in den Trichter gegossen, werden Wasser und Luft an ihrem Austausch gehindert (vgl. das Ausgießen einer Wasserflasche in der Einleitung). Auf Grund der Aggregatzustände von Wasser und von Luft kann die Luft das Wasser durchdringen, dehnt sich jedoch dabei soweit aus, bis der Widerstand, also der statische Druck des Wassers dem entgegenwirkt und es zu einem Kräftegleichgewicht kommt. Durch die geringere Dichte der Luft steigen im Wasser Luftblasen auf und es fließt im Gegenzug Wasser in die Flasche.

In dem Fall, dass sich das Wasser komplett im Trichter staut, wirkt am unteren Ende des Trichters zusätzlich die Oberflächenspannung des Wassers. Nach dem Gesetz von Boyle-Mariotte steigt der Gasdruck in der Flasche leicht an, da in dem dünnen Trichterhals der Schweredruck des Wassers die Luft komprimiert. Je nach Durchmesser des Trichterhalses ist die Oberflächenspannung groß genug, um dem Schweredruck des Wassers standzuhalten und das Durchdringen von Luft zu verhindern. Die Oberflächenspannung des Wassers spielt jedoch für diesen Versuch zur Verdeutlichung der Eigenschaften von Luft keine tragende Rolle, hilft jedoch eindrucksvoll bei der Darstellung.

Das Wasser kann also nicht in die Flasche fließen, weil diese bereits voll ist und es wird deutlich, dass Luft Platz benötigt und wegen des entgegenwirkenden Drucks aus Materie bestehen muss.

Um das folgende Zusatzbeispiel verständlich durchführen zu können, sollte vorab erläutert werden, was beim Aufblasen eines Ballons geschieht. Diese Erläuterung dient der Begriffsbildung und der Hilfestellung zum weiteren Verständnis der Thematik und der folgenden Versuche. Luftballons sind elastisch. Liegen sie beispielsweise schlaff auf einem Tisch, befinden sie sich in der Ruhelage. Wenn man sie dehnt, entsteht eine Spannung und das Material befindet sich nicht mehr in der Ruhelage. Der Ballon strebt diese an, in dem sich das Material zusammenzieht. Diese Kraft nennt man Rückstellkraft. Das Material kann sich jedoch nur soweit zusammenziehen, wie es der innere Luftdruck bzw. der Zug von außen zulässt. Bläst man ihn nun auf, dehnt sich der Ballon, bis sich der innere Luftdruck mit dem äußeren Luftdruck und der Rückstellkraft des Ballons im Gleichgewicht befindet. Daher ist der Luftdruck innen immer etwas höher als der Druck außen. Die Rückstellkraft findet in den weiteren Versuchen Erwähnung und ist daher für das Verständnis von Bedeutung.

Als Zusatzversuch (bzw. Variation) kann an dieser Stelle versucht werden, einen Luftballon in einer „leeren“ Flasche aufzublasen (vgl. Versuch 6). Der Versuch wird früh scheitern, da die Luft im Inneren der Flasche durch die Ausdehnung des Ballons komprimiert wird und schnell einen Druck erreicht, gegen den ein Mensch nicht mehr „anpusten“ kann. Die Flasche ist demzufolge nicht „leer“ gewesen.

Die Bestimmung der Masse von Luft durch wiegen vervollständigt die Erkenntnisse der Vorgängerversuche. Verschiedene Versuche, einen aus Haushaltsgegenständen konstruierten Aufbau zu gestalten, ließen sich nicht zufriedenstellend umsetzen. Eine weitere, jedoch nur theoretische Umsetzung, lässt sich eventuell durch den Einsatz von TetraPaks[®] mit Schraubverschluss realisieren, da sie sich bei der Evakuierung leichter zusammenlegen. Das Volumen des Gefäßes sinkt gegen Null und die Evakuierung mit einem Staubsauger (auch mit geringer Leistung) ist gewährleistet. Diese Getränkeverpackungen sind auch deshalb geeignet, da sie von Werk aus luft- und wasserdicht konzipiert sind. Das Einkleben eines Ventils aus einem Vakuum-Kleiderbeutels ermöglicht – theoretisch – eine einfache Evakuierung über einen handelsüblichen Staubsauger. Diese Ventile lassen sich auseinander bauen und sollten relativ problemlos in eine der Wände einzukleben sein. Bei diesen Ventilen gibt es jedoch Unterschiede. Es gibt weniger gut geeignete Exemplare, die man manuell auf- und wieder zuschrauben muss. Während des Schraubprozesses kann wieder ein Druckausgleich entstehen, was den Versuch zu Nichte machen würde. Das besser geeignete Modell eines Ventils öffnet und schließt sich selbstständig durch den vom Staubsauger verursachten Luftstrom und die entstehende Druckdifferenz. Mit einem solchen Ventil kann das Getränkepaket evakuiert werden. Durch den Schraubverschluss kann der Aufbau jederzeit durch Hineinpusten von Luft wieder gefüllt werden.

Der Aufbau wird dann einmal luftgefüllt und einmal evakuiert gewogen. Aus der Differenz ergibt sich die Masse von Luft, unter den zu diesem Zeitpunkt vorherrschenden Bedingungen.

Diese neuen Erkenntnisse können mit der Schülerschaft diskutiert werden. Die erste Sensibilisierung hat stattgefunden und es bietet sich dazu ein Erfahrungsaustausch an, wann die SuS zum Beispiel bereits Berührungen mit der Luft wahrgenommen haben.

Die häufigsten Erfahrungen werden mit bewegter Luft in Bezug gebracht werden, was zum zweiten Versuch überleitet, anhand dessen überprüft werden soll, was passiert, wenn man Luft aktiv „verschiebt“.

Versuch 2: >>kommunizierende Spritzen<<

Quelle: Übernommen aus dem Programm des TeutoLab Physik der Universität Bielefeld.

Abb. 2.



Die Abbildung 2 zeigt den Versuchsaufbau zu dem Versuch >>kommunizierende Spritzen<<. Dieser Versuch soll verdeutlichen, dass Luft Materie ist, die man verschieben kann.

Ziel:

Anhand der kommunizierenden Spritzen kann man demonstrieren, dass Luft, so wie jede andere Materie auch, bewegt werden kann und sich dabei - gegebenenfalls sichtbar - auf die Umgebung auswirkt. Ferner kann mit diesem Versuch auf plausiblen Weg der Begriff Druck eingebracht werden, welcher für den weiteren Verlauf dieser Arbeit von tragender Bedeutung sein wird. Auch das Phänomen der Komprimierbarkeit von Gasen kann von scharfen Beobachtern entdeckt werden.

Versuchsaufbau:**Material:**

- Zwei Spritzen
- Gummischlauch, der dicht mit den Düsen der Spritzen abschließt

Aufbau:

Bei einer Spritze wird der Kolben komplett hinein gedrückt, bei der anderen Spritze zieht man den Kolben einmal bis zur Arretierung aus dem Zylinder heraus. Der Gummischlauch wird dann mit seinen Öffnungen auf die Düsen der beiden Spritzen gesteckt (siehe Abbildung 2).

Durchführung und Beobachtung:

Drückt man nun bei der (in Abbildung 2) linken Spritze den Kolben in den Zylinder, schiebt sich der Kolben der (in Abbildung 2) rechten Spritze aus dem Zylinder heraus. Diese Reaktion tritt nicht unmittelbar mit dem Zusammendrücken der Spritze

auf. Der erste Kolben muss erst ein ganzes Stück bewegt werden, bis es zu einer Bewegung des zweiten Kolbens kommt.

Erklärung:

Wird der Kolben langsam und gleichmäßig in den Zylinder gedrückt, ist die Temperatur der Luft in der Spritze konstant. Somit gilt hier $p \cdot V = \text{konstant}$. Also tritt hier das Gesetz von Boyle-Mariotte in Kraft und die Volumenverkleinerung bewirkt eine Druckerhöhung. Daraus resultiert eine Kraft, die auf den Kolben der zweiten Spritze wirkt. An einem bestimmten Punkt ist der Gasdruck hoch genug, um die Reibung mit dem Zylinder am zweiten Spritzenkolben zu überwinden und dieser verursacht eine Verschiebung des Kolbens, bis der Druck wieder kleiner gleich dem Reibungswiderstand und dem äußeren Luftdruck ist.

Bei genauer Beobachtung kann in diesem Versuch erkannt werden, dass man das Volumen erst ein deutliches Stück verringern muss, bevor es an der zweiten Spritze zu einer Reaktion kommt. Dies leitet zu einer weiteren Eigenschaft von Gasen über: der Komprimierbarkeit. Diese lässt sich an diesem Aufbau schnell verdeutlichen, indem man beide Kolben gleichzeitig in die Zylinder drückt (An dieser Stelle ist es wichtig, dass der Gummischlauch dicht um die Düsen der Spritzen liegt, um ein plötzliches Absprengen zu verhindern).

Dieser Versuch bietet einen guten Aufhänger, den Druckbegriff eingehender zu thematisieren und zu konkretisieren. Abhängig von der Jahrgangsstufe sollte das Gesetz von Boyle-Mariotte auch formal eingebracht werden. In der Grundschule ist es ratsamer, die Thematik allgemein zu halten. Nimmt man wieder das Glas mit den Gummibällen zur Hand, kann man dessen Inhalt einfach in ein kleineres Glas füllen und schütteln. Dabei kann man sehen und ggf. hören, welche Folgen die Volumenverringerng mit sich bringt.

Um eine Druckerhöhung bei steigender Stoffmenge zu erklären, kann man an dieser Stelle einfach nur einen Luftballon aufblasen. Auch hier spielt das Verhältnis von Volumen zu Stoffmenge eine große Rolle. Dieser Sachverhalt sollte den SuS aus dem Alltag beispielsweise beim Aufpumpen von Fahrrad- oder Autoreifen sowie von Luftmatratzen und Hüpfburgen bekannt sein (diese Beispiele eignen sich auch sehr gut, um im Rahmen dieser Versuchsreihe einen verständlichen und bekannten Praxisbezug einzubringen, der zudem aus der Erfahrungswelt der Kinder entstammt).

Mit jedem Mal pusten wird mehr Luft in den Ballon hinein gebracht und er wird gedehnt. Diese Ausdehnung wird vom Gas im Inneren des Ballons verursacht. Mit einem derart simplen Zwischenversuch bringt man die Begriffe Raumbedarf und Ausdehnung ein, welche eine gute Überleitung zu den Gesetzen von Gay-Lussac bieten, die sich auch damit befassen. Hierbei spielt jedoch die Temperatur besonders mit rein. Im Theorieteil wurde bereits kurz angesprochen, dass nicht allein die Stoffmenge des Gases den Raumbedarf bestimmt, sondern auch die Temperatur Einfluss auf Druck und Ausdehnung nimmt, wie es in den Gesetzen von Gay-Lussac beschrieben ist. Dafür kann der, zuvor zur Demonstration der Veränderung des Gasdrucks bei Änderung der Stoffmenge, aufgeblasene Ballon verknotet und dessen Umfang gemessen werden. Die Luft im Inneren des Ballons wird im nächsten Schritt mit einem Föhn erwärmt oder unter kaltem Wasser abgekühlt, mit erneuter anschließender Umfangsmessung, (ist der Ballon bereits prall gefüllt, so kann eine Erwärmung zum Reißen der Ballonhaut führen). Hier tritt das 2. Gesetz von Gay-Lussac in Kraft.

Um jedoch einen deutlicheren, visuellen Effekt zu erhalten, bietet sich der folgende Versuch an, bei dem explizit gezeigt wird, dass sich ein Gas, nach der Brown'schen Molekularbewegung, gleichmäßig in alle Richtungen ausbreitet. Diese Ausdehnung wird in folgendem Versuch deutlicher, da die Veränderung der Spannungsveränderung in der Ballonhaut (von schlaff zu gestrafft) sichtbarer ist.

SB-Versuch

Versuch 3: >>Temperaturbedingte Druckveränderungen<<

Quelle: modifiziert nach:
http://www.leifiphysik.de/web_ph08_g8/heimversuche/05ausdehnung/warmeluft.htm

Abb. 3.



Die Abbildung 3 demonstriert die Versuchsaufbauten zur Visualisierung des Verhaltens von Luft auf Temperaturveränderungen.

Ziel:

Anhand dieses einfachen Versuches soll gezeigt werden, welchen Einfluss die Temperatur auf die Ausdehnung der Luft nimmt. Der Aufbau gestattet zusätzlich eine Verdeutlichung der gleichmäßigen Ausdehnung in alle Richtungen.

Versuchsaufbau:

Material:

- 0,5 Liter PET und/oder 0,2 Liter Glasflasche
- Luftballon (vorab einmal aufgeblasen, um ihn zu dehnen)
- Föhn und/oder kochendes/heißes und kaltes Wasser

Aufbau:

Der Luftballon wird über die Öffnung einer der beiden Flaschen gestülpt. Zudem muss bei Bedarf das heiße/kalte Wasser vorbereitet sein. Um die Versuche ohne große Verzögerung durchführen zu können, ist es besonders für den Unterricht hilfreich, das Wasser mit entsprechenden Temperaturen in Thermoskannen bereit zu haben.

Durchführung und Beobachtung:

Version 1: Der Luftballon wird über die Öffnung der PET Flasche gestülpt. Mit dem Föhn wird die Luft im Inneren der Flasche erwärmt. Dabei kann man die Flasche mit der Öffnung in alle Richtungen halten.

Version 2: Der Luftballon wird über die Öffnung der Glasflasche gestülpt. Die so präparierte Flasche wird mit der Öffnung nach oben in das kochende Wasser gehalten.

Nach beiden Versionen kann man die Flasche zusätzlich in kälteres Wasser halten um zu zeigen, dass unmittelbar beim Abführen der Wärmeenergie auch der Gasdruck sinkt.

In beiden Versionen des Versuchs sieht man, dass sich der Luftballon bei Wärmezufuhr aufbläht. Während des Bades im kalten Wasser „zieht sich der Ballon wieder zusammen“.

Anmerkung:

Die Version 1 des Versuchs bietet sich im Allgemeinen eher an, da auf diesem Wege gezeigt werden kann, dass sich die Luft wirklich in alle Richtungen gleichmäßig ausbreitet. Sollten die SuS bereits wissen, dass warme Luft aufsteigt, könnte dies als Erklärungsargument bei der zweiten Version des Versuchs (Flasche senkrecht mit Öffnung oben) herangezogen werden, was die Realität jedoch nur eingeschränkt erklären würde.

SICHERHEITSHINWEIS: Beim Umgang mit kochendem Wasser sollte stets ein Betreuer in der Nähe sein, um Gefahrenpotentiale auszuschließen.

Erklärung:

In diesem Versuchsaufbau bietet der Luftballon den geringsten Widerstand für die Moleküle. Das Verhalten der Ballonhaut bei der Ausdehnung eines darin befindlichen Gases wurde bereits erläutert. Der Ballon dehnt sich bei Erwärmung des Gases deutlich aus.

Wird die Flasche dann in kaltes Wasser gehalten, so geht die Wärmeenergie auch auf das Wasser über und die Luft in der Flasche kühlt ab. Den Molekülen in der Flasche fehlt dann die Energie, sich weiterhin mit vorheriger Geschwindigkeit zu bewegen. Die Moleküle werden langsamer und legen pro Zeiteinheit auch nur noch kürzere Strecken zurück, die Ausdehnung des Gases nimmt ab. Die Rückstellkraft der Ballonhaut und der äußere Luftdruck sind dann größer als der Innendruck im Ballon und dieser geht zurück in seine Ruhelage. In diesem Experiment wirken die Gesetze von Gay-Lussac.

An den bisherigen Versuchen konnte gezeigt werden, dass Luft eine Masse besitzt (die „leere“ Flasche) und sich je nach Temperatur entsprechend ausdehnt. Ausdehnen und Komprimieren kann anhand des Teilchenmodells verständlich erklärt werden. Außerdem wurde gezeigt, dass Luft einen Druck auf andere Oberflächen ausübt. Dieser Druck wird durch das Volumen (kommunizierende Spritzen) und die Temperatur (Temperaturbedingte Druckveränderungen) bestimmt.

Für den folgenden Versuch ist bedeutend, dass gezeigt wurde, dass sich ein Gas nach dem 1. Gesetz von Gay-Lussac bei Temperaturerhöhung ausdehnt. Diese Ausdehnung schlägt sich in der Dichte eines Gases nieder, also in welchem Abstand sich die einzelnen Atome und Moleküle eines Gases zueinander bewegen. In einem

abgeschlossenen Luftballon kann man sich das gut modellhaft vorstellen. Da der Ballon zu ist, kann die Stoffmenge nicht verändert werden. Es kommen keine Teilchen hinzu und es werden keine entfernt. Die gleiche Anzahl Teilchen verbreitet sich im dehnbaren Ballon. Je größer die Ausdehnung, umso größer sind die mittleren Entfernungen der Teilchen zueinander. Die Auswirkung der Dichteveränderung wird mit dem folgenden Versuch verdeutlicht.

SB-Versuch

Versuch 4: >>Thermik<<

Quelle: modifiziert nach: Aulas, F., Dupré, J.-P., Gibert, A.-M., Leban, P., Lebeaume, J., (2005); Erstaunliche Experimente – Spielerisch Wissen entdecken., S. 24

Abb. 4.



Die Abbildung 4 zeigt den Versuchsaufbau zur Veranschaulichung der physikalischen Eigenschaft der Luft, dass sie nach Erwärmung aufsteigt.

Ziel:

Nachdem in Versuch 3 gezeigt wurde, dass sich Luft bei Zufuhr von Wärme ausdehnt, soll weiter verdeutlicht werden, dass wärmere Luft aufsteigt. Dieser Effekt ist auch im Alltag leicht zu beobachten. Besonders im Winter, wenn die Heizungen eingeschaltet werden, ist über den Heizkörpern zu beobachten, dass sich Vorhänge oder darüber hängende Gegenstände bewegen. Aus dem Versuch >>kommunizierende Spritzen<< ist an dieser Stelle bereits bekannt, dass die Energie bewegter Luft auch auf andere Gegenstände übertragen werden kann.

Versuchsaufbau:

Material:

- Leere, aufgesägte Silikon Flasche
- Schaschlik-Spieße aus Holz
- Nähgarn
- Papier für den Rotor
- Teelicht

Aufbau:

In die Silikonflasche werden in einem Abstand von etwa einem halben Zentimeter vom Rand rundherum Löcher gebohrt, um später dem Teelicht eine ausreichende Sauerstoffzufuhr gewährleisten zu können. An der anderen Öffnung wird ein Gestell aus den hölzernen Schaschlik-Spießen angebracht, welches als Aufhängung für den Rotor dient. Dieses Gestell sollte mindestens die Höhe von 2 Spießen haben.

Aus dem Papier wird zunächst ein Kreis ausgeschnitten, dessen Durchmesser etwa dem der Silikonflasche entspricht. Dieser Kreis wird dann spiralgig eingeschnitten, wie es in der Abbildung 4 ersichtlich ist. In der Mitte des nun entstandenen Rotors wird das Nähgarn befestigt. Die Länge des Fadens ist so zu wählen, dass der Rotor rund zwei Zentimeter über der Öffnung der Silikonflasche hängt. Das andere Ende des Fadens befestigt man oben am Gestell. Da die Spieße nicht völlig gerade sind, muss hinterher das Gestell mit dem Rotor gegebenenfalls noch etwas ausgerichtet werden, damit der Rotor mit dem Großteil der Fläche über der Öffnung hängt.

Durchführung und Beobachtung:

Entzündet man das Teelicht, wird danach der gesamte Aufbau über die Kerze gestellt. Nach kurzer Zeit setzt sich der Rotor in Bewegung und fängt an sich zu drehen. Hier ist es von Bedeutung, dass das Gestell, welches den Rotor trägt, die im Absatz „Aufbau“ beschriebene Mindestlänge nicht unterschreitet. Durch die Rotation wird der Faden verdreht und es entsteht eine wachsende Spannung auf dem Seil. Irgendwann reicht der Druck der aufsteigenden Luft nicht mehr aus um den Rotor weiter zu bewegen und es besteht die Gefahr, dass das Papier entzündet wird.

Erklärung:

Nach dem ersten Gesetz von Gay-Lussac ist bekannt, dass sich Luft ausdehnt, sobald sie erwärmt wird. Diese Ausdehnung bringt eine Verringerung der Dichte mit sich, weil die einzelnen Gasmoleküle sich, durch die höhere kinetische Energie, schneller und weiter bewegen können. Die gleiche Anzahl Moleküle, also dieselbe Masse wie zu Beginn des Versuchs, nimmt nun mehr Raum ein, wenn nicht entsprechende Barrieren (wie beispielsweise Gefäßwände) dieser Ausdehnung Einhalt gebieten. Die vergleichsweise kühlere Luft der Umgebung hat eine höhere Dichte und ist somit schwerer. Die leichtere, erwärmte Luft verdrängt nun die kühleren, welche sich beim Aufsteigen der wärmeren Luft nach unten bewegt. Es kommt zu einem Luftaustausch.

Die Bewegung des Rotors kann nun mit den Ergebnissen aus Versuch 2 erklärt werden.

Die ersten vier Versuche haben zunächst die generellen Eigenschaften von Luft dargestellt. Mit Hilfe des Teilchenmodells sollten die physikalischen Grundlagen auch soweit verständlich vermittelt werden können, um ein Erklärungsmodell zur Hand zu haben, um alltägliche Naturerscheinungen logisch erklären zu können. In den folgenden Abschnitten sollen solche Phänomene an einzelnen, aber übertragbaren Beispielen erarbeitet werden.

5. Versuche zum alltäglichen Einsatz und Wirken von Luft

Nachdem nun das nötige Grundwissen experimentell erarbeitet wurde, werden in den folgenden Kapiteln Versuche dargeboten, die sich als vereinfachte Modelle auf Beispiele aus dem Alltagsleben übertragen lassen. Darunter fallen Hilfsmittel aus dem Haushalt, biologische Funktionsweisen sowie der gezielte Einsatz in der Technik. Das folgende Kapitel stellt nun eine Reihe von Versuchen vor, die sich zunächst mit den Phänomenen von Druckunterschieden zwischen physikalischen Systemen befassen. Das erste Unterkapitel bietet Versuche, welche sich auf das Gesetz von Boyle-Mariotte stützen. Sie sollen das Prinzip vertiefen und helfen einen Bezug zur eigenen Erfahrungswelt zu finden. Weitere Beispiele können im Nachhinein mit der Schülerschaft erarbeitet und diskutiert werden. Darunter fallen beispielsweise Luftpumpen, Ventilatoren, Fahrrad- und Autoschläuche sowie Tiefenmesser von Tauchern.

Im zweiten Unterkapitel werden Experimente vorgestellt, die sich mit dem Rückstoß und der daraus resultierenden Wechselwirkung physikalischer Systeme (hier als Bewegung) befassen.

Das dritte und letzte Unterkapitel bietet Versuche zur Festigung der Gay-Lussac'schen Gesetze mit Bezug auf das Wetter.

5.1. Druckdifferenzen physikalischer Systeme: Wirkung und Nutzen im Alltag

SB-Versuch

Versuch 5: >>Der Taucher<<

Quelle: Aulas, F., Dupré, J.-P., Gibert, A.-M., Leban, P., Lebeaume, J., (2005); Erstaunliche Experimente – Spielerisch Wissen entdecken., S.13

Abb. 5.



Die Abbildung 5 zeigt die Luftblase in dem Backaromafläschchen, welches hier als Taucher fungiert.

Ziel:

Anhand dieses Versuches soll gezeigt werden, dass sich Luft komprimieren lässt. Auf Grund der Tatsache, dass sich die Moleküle in einem Gas frei bewegen können, kann durch äußere Einwirkung der Abstand zwischen den Molekülen verringert werden (vgl. Abschnitt zu Boyle-Mariotte).

Versuchsaufbau:

Material:

- PET-Flasche mit Schraubverschluss
- Fläschchen von Backaroma oder Parfumprobe als Taucher
- Wasser entsprechend dem Flaschen Volumen

Aufbau:

Die Flasche wird zunächst randvoll mit Wasser gefüllt. Dann wird das Fläschchen leer (also nur mit Luft gefüllt) und unverschlossen mit der Öffnung nach unten in die Flasche gesteckt. Nun muss die PET-Flasche fest mit dem Schraubverschluss verschlossen werden.

Durchführung und Beobachtung:

Wird die Flasche nun kräftig mit beiden Händen zusammen gedrückt, so sinkt der Taucher hinab. Es ist zu beobachten, dass die Luftblase in dem Fläschchen bei Druckerhöhung von außen kleiner wird. Reduziert man den Druck auf die Flasche, so steigt der Taucher wieder auf und man kann eine Vergrößerung der Luftblase im Inneren des Fläschchens sehen.

Nun kann man versuchen die Geschwindigkeit des Tauchers zu kontrollieren und gegebenenfalls probieren, den Taucher auf einer bestimmten Position zu halten.

Erklärung:

Durch das Zusammendrücken der PET-Flasche verringert sich deren Volumen. Wasser kann, im Gegensatz zu Gasen, auf Grund seiner Dichte nicht nennenswert komprimiert werden. Wenn nun der Druck von außen erhöht wird, kann dieser durch Luftkompression in dem Taucher ausgeglichen werden. Es wird mehr Wasser hinein gedrückt, wodurch die Luft darin komprimiert wird. Da nun mehr Wasser in dem Fläschchen ist als zuvor, wird von dem Fläschchen selbst und von der Luft weniger Wasser verdrängt. Dies hat wiederum zur Folge, dass das Fläschchen bei gleichem Auftrieb eine größere Gewichtskraft erhält. Ab dem Punkt, an dem die Gewichtskraft des Fläschchens größer ist als die des verdrängten Wassers, sinkt es zum Boden der Flasche.

Wird der Druck von außen wieder verringert, so kann sich die Luft in dem Fläschchen wieder ausdehnen. Der Gasdruck verdrängt das Wasser wieder aus dem Fläschchen, bis die Kräfte ausgeglichen sind. Hier ist in erster Linie das Gesetz von Boyle-Mariotte bedeutend.

Dieses Prinzip ist in der Fischerei bekannt, da Fische über eine Gasgefüllte Schwimmblase verfügen, die über die Auswirkungen des Auftriebs entscheidet.

Anmerkung:

Sollte nicht beobachtet werden, dass sich beim Zusammendrücken der PET-Flasche die Luftblase im Inneren des Fläschchens verkleinert, kann man einen einfachen Zwischenversuch einbinden, der das Verständnis der Geschehnisse erleichtert.

Zwischenversuch: Kompressibilität von Wasser und Luft

Man benötigt zwei Spritzen. Die eine Spritze wird mit Luft aufgezogen, die zweite Spritze füllt man komplett mit Wasser. Wenn man nun die mit Wasser gefüllte Spritze an der Düse zu hält und versucht den Kolben hinein zu drücken, stellt man schnell fest, dass sich das Wasser nicht komprimieren lässt. Wiederholt man dies nun mit der luftgefüllten Spritze, so kann trotz des Verschlusses der Düse der Kolben ein ganzes Stück in den Zylinder geschoben werden. Wenn diese Eigenschaften auf den Taucher übertragen werden, kann das Phänomen des Flaschentauchers erklärt werden.

Versuch 6: >>Der magische Ballon<<

Quelle: modifiziert nach: Faszinierende Experimente für Kinder, Genehmigte Sonderausgabe, S. 116.

Abb. 6.



Die Abbildung 6 zeigt, dass der Luftballon in der Flasche aufgeblasen bleibt, obwohl er oben offen ist.

Ziel:

Der sechste Versuch dient der indirekten Veranschaulichung von Druckunterschieden zwischen zwei physikalischen Systemen, sowie deren „verwunderliche“ Auswirkungen.

Versuchsaufbau:

Material:

- 1 große 2 Liter PET-Flasche
- 2 Kunststoffschläuche
- Gummistopfen oder Korken der die Flaschenöffnung dicht verschließt
- Draht oder Kordel
- Länglicher Luftballon
- Kleiner Stopfen zum Verschließen eines der Schläuche

Aufbau:

Der große Gummistopfen wird der Länge nach in der Mitte durchbohrt. Das Loch sollte einen minimal kleineren Durchmesser als der Kunststoffschlauch haben, damit der Übergang von Schlauch zum Stopfen ohne weiteren Einsatz von Materialien abgedichtet wird. Somit muss der Schlauch durch das Loch in dem Stopfen geschoben werden und unten etwa 2 cm rausschauen. Der Ballon wird nun mit seiner Öffnung über den überstehenden Schlauch am unteren Ende des Stopfens mit Kordel oder Draht befestigt.

Im nächsten Schritt bohrt man ein Loch mit einem Durchmesser entsprechend dem zweiten Kunststoffschlauch (ca. 5mm, je nach Schlauch) am Boden der PET-Flasche. Den Schlauch schiebt man in das Loch und verbindet Schlauch und Flasche luftdicht mit Heißkleber.

Der Luftballon an dem Schlauch wird nun in die Flasche gesteckt und diese mit dem Stopfen dicht verschlossen.

Durchführung und Beobachtung:

Verschließt man nun die Öffnung des Schlauchs am Flaschenboden, kann zunächst wiederholend gezeigt werden, dass Luft Widerstand ausüben und komprimiert werden kann (vgl. Zusatzversuch: Ballon in einer Flasche aufblasen).

Öffnet man danach den Schlauch im Boden der Flasche, kann man den Ballon problemlos aufblasen (bei richtiger Wahl von Flaschen- und Ballonform wird der Raum zwischen Flasche und Ballonhaut soweit reduziert, dass die Flasche nahezu evakuiert wird). Jetzt kann man, ohne die Luft aus dem Ballon entweichen zu lassen (also das Mundstück im Mund behalten und den Druck kontrollieren), den Schlauch

im Boden wieder verschließen. Dann lässt man das Mundstück los und der Ballon in der Flasche bleibt aufgeblasen.

Erklärung:

Bläst man den Ballon mit geöffnetem Bodenschlauch auf, wird die Luft durch den sich beim aufblasen ausdehnenden Luftballon aus der Flasche verdrängt. Diese kann nun durch den Schlauch entweichen (daher die Notwendigkeit, den Schlauch im *Boden* der Flasche zu montieren, damit dessen Öffnung nicht frühzeitig von dem Ballon verdeckt werden kann). Verschließt man nun den Schlauch, ohne dass dabei die Luft aus dem Ballon entweichen kann, hat man zwei Räume mit eigenem Gasdruck. Zum einen besteht ein Raum zwischen Ballonhaut und der Flasche (R1) und zum anderen die Außenwelt/Atmosphäre (R2).

In der Flasche wirkt der Luftdruck aus R1 zusammen mit der Rückstellkraft des Ballons gegen den Gasdruck in R2. Da R1 nahezu vollständig evakuiert werden kann, ist die Stoffmenge des Gases dort sehr gering. Damit steht dem Luftdruck in R2 fast nur noch die Rückstellkraft des Ballons entgegen. Lässt man das Mundstück los, zieht sich der Ballon zuerst ein kleines Stück zusammen. Das Zusammenziehen des Ballons führt in R1 zu einer Volumenvergrößerung und es kommt nach Boyle-Mariotte zu einer Absenkung des Gasdrucks. Der äußere Luftdruck ist nun ausreichend viel höher, so dass der Luftballon aufgeblasen bleibt. Es wird keine Luft hinausgedrückt, obwohl der Schlauch zum Aufblasen offen ist. Allein der äußere Luftdruck ist hoch genug, um den Ballon zu dehnen. Eine andere Weise der Demonstration liegt im Auspumpen der Flasche. Dazu kann man entweder an dem Ablaufschlauch „saugen“ oder die Luft mit einer entsprechenden Vakuumpumpe evakuieren. Dabei nimmt man dem Außendruck den Widerstand, den die Luft im Inneren bietet und kann beobachten, wie der Ballon sich aufbläht.

Wie die Wechselwirkungen zwischen zwei Systemen im Haushalt genutzt werden kann, verdeutlicht der nächste Versuch.

Versuch 7: >>Saugnapf<<

Quelle: Erstellt nach eigenem Konzept

Abb. 7



Die Abbildung 7 zeigt die Konstruktion des PET-Saugnapfes anhand derer das Prinzip veranschaulicht werden kann.

Ziel:

Der Versuch Saugnapf wurde konkret gewählt um verdeutlichen zu können, dass Druckunterschiede bereits in der Funktionsweise banaler Haushaltsgegenstände ausgenutzt werden. Saugnäpfe sind aus den meisten Haushalten bekannt. An dieser Stelle soll ferner ein Gefühl dafür entwickelt werden, dass Bereiche niedrigeren Luftdrucks nicht „saugen“, der höhere Luftdruck, durch das Streben nach Druckausgleich, viel mehr „drückt“. Saugnapf ist dem zu Folge ein gängiger Begriff der Umgangssprache, nach physikalischem Verständnis jedoch nicht korrekt. Auch hier wird demonstriert, dass sich der Gasdruck gleichmäßig in alle Richtungen auswirkt.

Versuchsaufbau:

Material:

- Saugnapf
- 0,5 Liter PET-Flasche aus dünnem Kunststoff
- Durchbohrter, kegelstumpfförmiger und kegelförmig ausgefräster Gummistopfen

Aufbau:

Der Gummistopfen wird zunächst zentral der Länge nach durchbohrt. Anschließend wird er von dem Bohrloch aus nach außen hin konzentrisch ausgefräst, so dass sich eine Art Trichter bildet. Um für ein dichtes Abschließen mit glatten Oberflächen möglichst glatte Kanten am Rand zu erhalten, sollte dies mit

einem feinkörnigen Fräsaufsatz durchgeführt werden (vgl. Abb. 7). Diesen Stopfen steckt man dann mit der schmaleren Seite in die Flaschenöffnung.

Durchführung und Beobachtung:

Zunächst verdrängt man durch Zusammendrücken der PET-Flasche die darin vorhandene Luft. Dann hält man die andere Hand waagrecht vor sich, mit der Handfläche nach unten. Presst man nun die zusammengedrückte Flasche mit der Öffnung nach oben fest an die Handfläche, so bleibt die Flasche mit Stopfen daran hängen, sobald man ihn loslässt.

Erklärung:

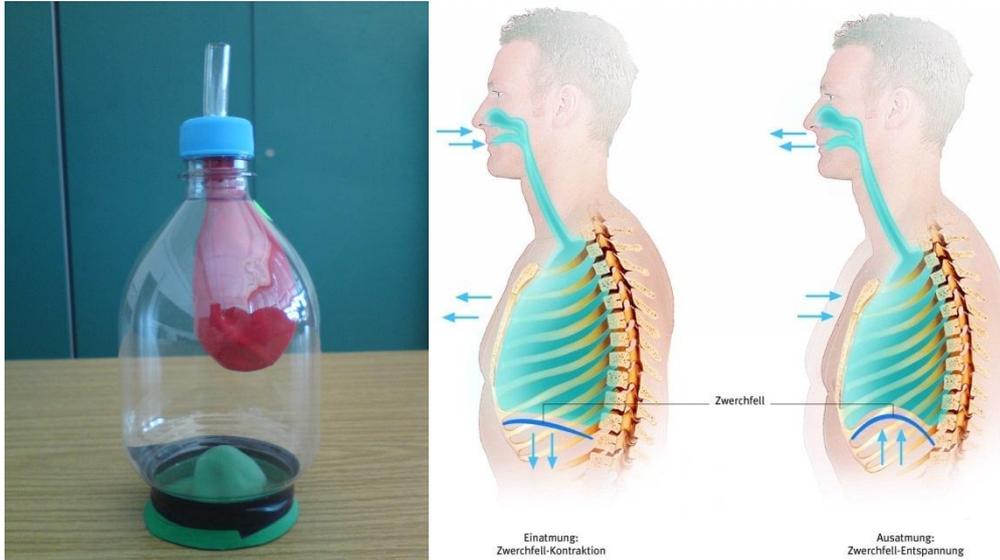
Drückt man die PET-Flasche zusammen, wird das Volumen verringert und die in der Flasche vorhandene Luft wird verdrängt. Hält man sie nun so an eine möglichst glatte Oberfläche, so dass an dem Gummistopfen keine Luft zurück in das Innere der Flasche gelangen kann, bleibt die Flasche hängen. Das Zusammendrücken der Flasche bringt das Gefäß aus seiner Ruhelage (vergleichbar mit einem Luftballon). Das Material strebt nach dem Loslassen durch die Rückstellkraft eine Rückversetzung in diese Lage an. Soweit diese Rückstellkraft größer ist als der äußere Luftdruck, entsteht im Inneren der Flasche eine Volumenvergrößerung. Nach Boyle-Mariotte sinkt dort nun der Gasdruck. Der äußere Luftdruck ist somit höher und drückt die Flasche fest an die Oberfläche (hier die Handinnenseite). Da die Flasche unter der Hand hängt, wird in diesem Versuch noch einmal unterstrichen, dass sich ein Gas gleichmäßig ausdehnt, die Flasche also auch von unten nach oben gegen die Fläche drückt.

In der Einleitung wurde schon einmal angesprochen, dass Luft ein für den Menschen lebensnotwendiges Element beinhaltet, den Sauerstoff. Um genügend Sauerstoff aufnehmen zu können, müssen wir atmen. Mit jedem Atemzug wird die Lunge mit Luft und somit auch mit Sauerstoff gefüllt. Beim Ausatmen werden die Lungenflügel wieder frei gemacht und Kohlenstoffdioxid ausgestoßen. Das Prinzip der Atmung beruht auf eben diesen Phänomenen, die in diesem Kapitel behandelt wurden. Die Vorgänge der Atmung können auf wahrlich beeindruckende Art und Weise modellhaft dargestellt werden.

Versuch 8: >>Lunge<<

Quelle: Aulas, F., Dupré, J.-P., Gibert, A.-M., Leban, P., Lebeaume, J., (2005); S. 44

Abb. 8.



Die Abbildung 8 zeigt modellhaft die Funktionsweise der Lunge. Man kann an diesem Modell gut sehen, dass das Einatmen ein aktiver und das Ausatmen ein passiver Vorgang ist.

Quelle rechtes Bild: <http://www.bertelsmann-bkk.de/meine-gesundheit/lexika/gesundheitslexikon/z.html>

Ziel:

Neben dem Verständnis für die Funktionsweise des eigenen Körpers, mit thematischem Bezug zu dieser Arbeit, soll anhand des Versuchs >>Lunge<< verdeutlicht werden, dass die Atmung ein auf Druckunterschieden beruhender Vorgang ist, der durch einen Wechsel zwischen aktivem und passivem Vorgang gekennzeichnet ist.

Versuchsaufbau:

Material:

- 1,5 Liter PET-Flasche mit Schraubverschluss
- Kunststoffschlauch
- 2 Luftballons
- Draht oder Kordel
- Isolierband

Aufbau:

Am besten eignet sich eine PET-Flasche, die nach dem oberen Drittel eine Verjüngung hat (vgl. Abb. 8). Knapp unter der Verjüngung wird die Flasche abgesägt,

so dass ein Stück über bleibt, an dem die Flasche wieder breiter wird. Dadurch wird dem Ballon ein besserer Halt geboten. Einem der Luftballons wird der Hals abgeschnitten und dann über die Sägeöffnung der Flasche gestülpt. Mit Isolierband wird der Ballon fixiert.

In den Schraubverschluss bohrt man ein Loch mit dem Durchmesser des Kunststoffschlauches. Den Schlauch steckt man durch das Loch, so dass dieser etwa vier Zentimeter auf der Innenseite übersteht. An dem Stück des Schlauches befestigt man den zweiten Ballon mit Draht oder Kordel. Es ist ratsam den Ballon vorab einmal komplett aufzublasen, damit er sich später besser dehnen lässt.

Den Ballon steckt man nun in die Flasche und schraubt den Verschluss auf die Öffnung (siehe Abb. 8). Sollte die Konstruktion nicht luftdicht sein, müssen die undichten Stellen noch abgedichtet werden. Den Schlauch-Deckel-Übergang beispielsweise mit Kleber verschließen.

Durchführung und Beobachtung:

Der Ballon in der Flasche stellt die Lungenflügel dar und der Ballon, der nun den Flaschenboden bildet, ist das Zwerchfell. Wird jetzt am Zwerchfellballon gezogen, kann man beobachten, dass sich der Lungenflügelballon aufbläht. Wenn man den Zwerchfellballon wieder in seine Ausgangslage zurück bringt, so erschlafft ebenfalls der Lungenflügel Ballon.

Wird der Zwerchfellballon von unten in die Flasche hinein gedrückt, so wird der Lungenflügelballon noch weiter komprimiert.

Erklärung:

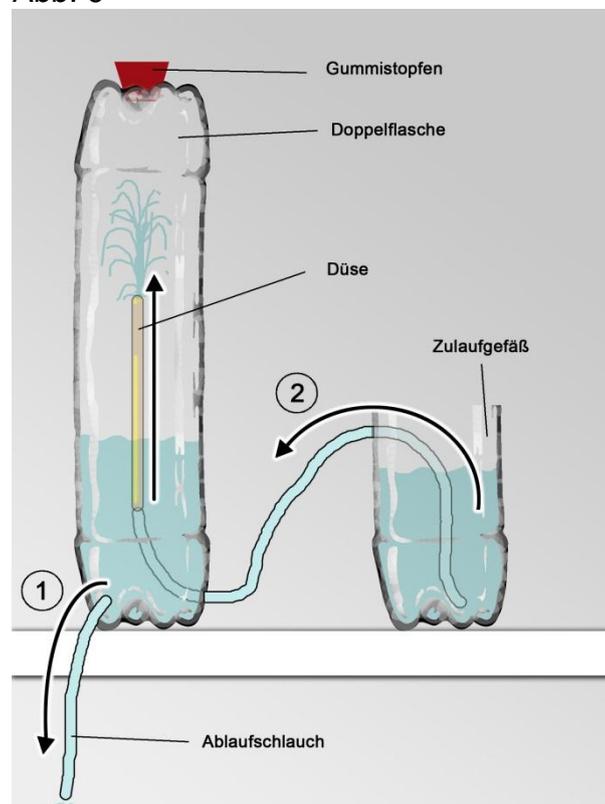
Auch hier spielt das Gesetz von Boyle-Mariotte die tragende Rolle. Dehnungen des Zwerchfellballons verursachen entsprechende Veränderungen des Volumens und somit des Gasdrucks. Zieht man an ihm, so sinkt der Druck, wird er in die Flasche hineingedrückt, so steigt er. Überträgt man dieses Modell auf den menschlichen Körper und achtet auf die eigene Atmung, so kann man spüren, dass in der Regel zum Einatmen der Einsatz von Muskulatur gebraucht wird und das Ausatmen automatisch durch das Entspannen dieser Muskeln erfolgt. Durch weiteren Muskeleinsatz kann man aber noch weiter ausatmen. Im Versuch wird es durch das Drücken des Zwerchfellballons in die Flasche dargestellt.

Nicht allein die Atmung basiert auf Druckdifferenzen, sondern auch das Trinken mit Strohhalm. Dieses Prinzip zeigt sich in folgendem Versuch.

Versuch 9: >>Heronsbrunnen<<

Quelle: modifiziert nach: Wikipedia-Artikel Heronsbrunnen
(<http://de.wikipedia.org/wiki/Heronsbrunnen>)

Abb. 9



Die Abbildung 9 stellt schematisch den Aufbau eines Heronsbrunnens dar. Die Pfeile geben die Fließrichtung des Wassers an und sind von links nach rechts zu lesen. Zu Beginn fließt das Wasser aus der Flasche, die die Fontäne des Brunnens beinhaltet. Danach strömt es aus dem Zulaufgefäßes durch den Schlauch in die Düse für die Fontäne.

Ziel:

In diesem Versuch soll auf sehr anschauliche und interessante Weise gezeigt werden, dass sich der Einfluss von Druckunterschieden vielseitig nutzen lässt und auch in anderen Bereichen praktische Anwendungen für den alltäglichen Gebrauch liefert.

Versuchsaufbau:

Material:

- 3 dickwandige PET-Flaschen (sehr gut geeignet sind die Flaschen der Coca-Cola Company®)
- 2 Kunststoffschläuche (transparent)

- Glas- oder Metallrohr als Düse mit einem Durchmesser \leq dem Durchmesser des Schlauchs
- Gummistopfen
- Wasser
- Auffanggefäß (Topf, Eimer, etc.)
- Ggf. 1 Korke (am besten Kunststoff)
- Ggf. Schaschlik-Spieße

Aufbau:

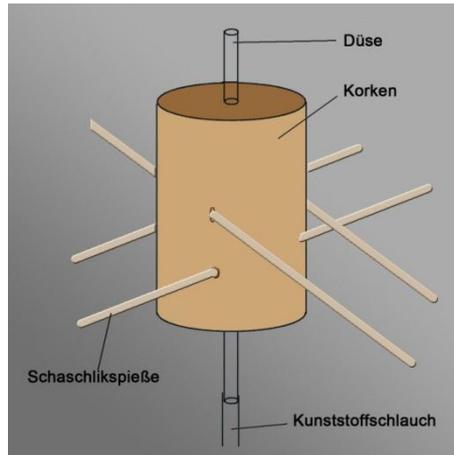
Zunächst werden zwei der drei Flaschen horizontal durchgesägt. Dabei ist darauf zu achten, dass sie nach Möglichkeit auf der gleichen Höhe und gerade durchgesägt werden. An diesen Schnittkanten sollen die Flaschen später verbunden werden, weshalb eine hohe Passgenauigkeit die spätere Funktionsweise deutlich verbessern kann.

In eine der Flaschen bohrt man seitlich und gegenüberliegend in eine Höhe von etwa drei Zentimetern zwei Löcher mit dem Durchmesser des Kunststoffschlauchs. In die zweite Flasche fräst man ein größeres Loch mittig in den Boden. Das Loch sollte sauber rund ausgefräst werden, damit man diese Öffnung später dicht mit dem Gummistopfen verschließen kann (vgl. Abb. 9).

Ein Kunststoffschlauch wird mit der Glas- oder Metalldüse verbunden und in der ersten Flasche (die mit dem seitlichen Loch) montiert. Das Ende des Schlauches wird durch die eine Seitenöffnung geschoben. Das nun außenliegende Ende des Schlauches sollte vorerst eine Länge von mindestens 20 Zentimetern haben, die Länge kann später noch angepasst werden.

Damit die Düse in der Flasche fixiert ist, wird der Korke der Länge nach durchbohrt. Das Bohrloch sollte dem Düsendurchmesser entsprechen. Zusätzliche Löcher, dem Durchmesser der Schaschlik-Spieße entsprechend, werden von der Seite, an der Längsbohrung vorbei, in den Korke gebracht. Den Korke schiebt man auf die Düse und positioniert die Schaschlik-Spieße in die dafür vorgesehenen Löcher (siehe Abb. 9.2.). Die Spieße werden dann in der Länge gekürzt, dass man den gesamten Fixateur in die Flasche klemmen kann und die Düse mittig festgehalten wird.

Abb. 9.2



Die Abbildung 9.2 zeigt schematisch, wie die Konstruktion zur Fixierung der Düse in der Flasche aussehen kann.

Der Übergang von Flasche zu Kunststoffschlauch wird mit Heißkleber wasserdicht verbunden.

Am zweiten seitlichen Loch wird der zweite Kunststoffschlauch wasserdicht mit Heißkleber verklebt und hängt lose hinunter. Dieser dient als Ablauf.

Die zweite Flasche wird kopfüber auf die erste Flasche gestellt und möglichst luftdicht mit Isolierband verbunden.

Die dritte Flasche dient als Zulaufgefäß. Diese kann man ebenfalls kürzen, ist aber nicht nötig. Wichtig ist hier, dass der Rest des mit der Düse verbundenen Schlauchs bis auf den Boden des Zulaufgefäßes reicht. Dort wird er hineingehängt und gegebenenfalls fixiert.

Durchführung und Beobachtung:

Für die Vorbereitung sollte der Ablaufschlauch mit einer Klemme oder einem kleinen Stopfen verschlossen werden. Unter die Öffnung des Schlauchs wird ein Auffangbehälter gestellt, um das ablaufende Wasser aufzufangen. Nun gießt man so viel Wasser in die Doppelflasche mit der Düse, so dass die Düsenöffnung noch deutlich aus dem Wasser ragt. Hier weisen die Flaschen der Coca-Cola Company® einen weiteren Vorteil auf. Der Boden ist so beschaffen, dass er nun als Trichter wirkt und ein sauberes Befüllen der Flasche ermöglicht. Ist ausreichend Wasser im Brunnen (Doppelflasche), wird die obere Öffnung dicht mit dem Gummistopfen verschlossen. Als letztes muss das Zulaufgefäß mit Wasser gefüllt werden.

Um den Brunnen in Betrieb zu nehmen wird der Verschluss des Ablaufschlauches gelöst. Es ist zu beobachten, dass das Wasser aus der Doppelflasche durch den

Ablaufschlauch in den Auffangbehälter fließt. Mit kurzer zeitlicher Verzögerung entsteht an der Öffnung der Düse eine Wasserfontäne, die aus dem Zulaufgefäß gespeist wird. Die Fließrichtung kann man durch die transparenten Kunststoffschläuche beobachten.

Erklärung:

Der absinkende Wasserspiegel in der eigentlichen Brunnen-Doppelflasche sorgt für eine Veränderung des Volumens und somit des Gasdrucks. Auch hier ist das Gesetz von Boyle-Mariotte zur Erklärung heranzuziehen. Im Verhältnis steigt also der Luftdruck von außen, der über die Oberfläche des Zulaufgefäßes auf das System wirkt. Die Differenz Innen und Außen wächst stetig bis der Außendruck hoch genug ist, um das Wasser aus dem Zulaufgefäß durch den Zulaufschlauch in die Doppelflasche zu drücken. Das Wasser tritt in einer Fontäne aus der Düse und sorgt dabei für eine Volumenverringerng. Da zeitgleich das Wasser weiter aus dem Ablaufschlauch austreten kann, wird der Druckunterschied solange aufrechterhalten, bis sämtliche Flüssigkeit aus dem Zulaufgefäß ihren Weg durch den Brunnen genommen hat. Der Brunnen läuft solange bis eines der Gefäße kein Wasser mehr beinhaltet. Auch in diesem Versuch nehmen weitere Größen wie Reibung und Schweredruck des Wassers Einfluss. Da sie für das Verständnis bezüglich des Gesetzes von Boyle-Mariotte keine Bedeutung tragen, werden sie hier vernachlässigt.

Anmerkung:

Um aus diesem Versuch zusätzlich einen Alltagsbezug herzustellen, kann man den gesamten Prozess auf das Trinken durch einen Strohhalm übertragen. Darauf wurde direkt vor dem Versuch schon einmal hingewiesen. Das Erklären dieser Analogie ist eine sinnvolle Wiederholung des Erlernten inklusive Überprüfungsmöglichkeit, ob der Sachverhalt vollständig und richtig verstanden worden ist. Als einer der wichtigsten Aspekte ist auch hier die Tatsache anzusehen, dass physikalisch gesehen nicht „gesaugt“ wird, die Luft viel mehr von außen „drückt“. Es liegt eine weitere Vertiefung zu den Inhalten des >>Saugnapf<<-Versuches vor.

Die Druckunterschiede in zwei physikalischen Systemen haben sich die Menschen also technisch und evolutionär zum Vorteil machen können. Ein weiterer technischer Aspekt ist der Rückstoß beim Druckausgleich zweier physikalischer Systeme. Darauf wird in dem folgenden Kapitel gesondert eingegangen.

5.2. Rückstoß für die Fortbewegung

Bläst man einen Ballon auf und lässt ihn dann los, kann man deutlich hören, wie die Luft aus dem Ballon entweicht und ihn dabei unkontrolliert durch den Raum fliegen lässt. Druckdifferenzen zweier physikalischer Systeme spielen also auch hier eine Rolle. Dieses Prinzip nutzen z.B. Tintenfische und Raketen für die Fortbewegung. Ballistiker kennen es auch durch die Nutzung von Feuerwaffen. Es geht um den Rückstoß. Der Rückstoß wurde in der Newton'schen Axiomatik beschrieben, welche sich mit den Wechselwirkungen physikalischer Systeme auseinandersetzt (Hänsel, H., Neumann, W.; (1993); S. 50).

Ein aufgeblasener Ballon übt auf die Luft darin eine Kraft aus, die die Luft aus dem Ballon drängt. Die Luft wirkt dann mit gleicher Kraft dagegen. Isaac Newton (1643-1727) formulierte es in seinem 2. Axiom „Kraft gleich Gegenkraft“. Dieses besagt, dass wenn ein physikalisches System a auf ein physikalisches System b eine Kraft F_{ab} ausübt, dann übt das System b eine Kraft F_{ba} auf das System a aus. Es gilt:

$$F_{ab} = -F_{ba} \quad (16)$$

Nun wird die Luft mit einer bestimmten Kraft aus unserem Ballon ausgeschleudert und eine gleichgroße, aber entgegengesetzte Kraft treibt den Ballon vorwärts (Hänsel, H., Neumann, W.; (1993); S. 50). Wie man die Bewegung des Ballons kontrollieren kann, zeigt der Versuch >>Seilbahn<<.

Dieses Axiom ist von allgemeiner Bedeutung. In den folgenden Versuchen dient es vor allem der Erklärung der Vorgänge und wurde deshalb erst an dieser Stelle eingeführt. Da es für die Erklärung in anderen Versuchen nicht von unmittelbarer Bedeutung ist, findet es dort keine Beachtung.

Versuch 10: >>Seilbahn<<

Quelle: Übernommen aus dem Kontext eines Seminars.

Abb.10.



Die Abbildung 10 zeigt die Konstruktion der Seilbahn in der Aufsicht. Das Seil sollte für die Durchführung möglichst straff gespannt sein.

Ziel:

Der Versuch Seilbahn dient der Veranschaulichung der Rückstoßauswirkungen.

Versuchsaufbau:**Material:**

- Langes Stück Paketband
- Luftballon
- Strohhalm
- Klebeband

Aufbau:

Der Strohhalm wird auf das Paketband aufgefädelt. Dann wird die Schnur beispielsweise zwischen zwei Bäumen oder Nägeln in gegenüberliegenden Wänden gespannt. Der aufgeblasene Luftballon (er kann auch zugeknotet sein) wird dann mit dem Klebeband unter den Strohhalm geklebt, so dass die Öffnung bzw. der Knoten entgegengesetzt der gewünschten Fahrtrichtung zeigt (vgl. Abb. 10).

Durchführung und Beobachtung:

Um die Seilbahn fahren zu lassen, muss der Ballon einfach losgelassen bzw. der Knoten vorsichtig abgeschnitten werden. Dabei ist darauf zu achten, dass man den Ballon zuhält und die Finger zwischen Ballon und Schnittbereich liegen, damit er nicht platzt.

Sobald die Luft aus dem Ballon austreten kann, bewegt sich die Seilbahn über das Seil.

Erklärung:

In der Einleitung zu diesem Unterkapitel wurde das Prinzip bereits erklärt. Die Rückstellkraft des Ballons treibt die Luft hinaus. Mit gleicher, jedoch entgegengesetzter Kraft wird die Seilbahnkonstruktion vorangetrieben. Da der Ballon an dem Strohhalm fixiert ist, der wiederum mit dem Seil eine feste Führungsschiene hat, wird die Bahn in gewünschte Richtung „fahren“.

SB-Versuch

Versuch 11: >>Luftkissenboot<<

Quelle: Faszinierende Experimente für Kinder, Genehmigte Sonderausgabe, S. 105.

Abb. 11.



Die Abbildung 11 zeigt den Aufbau des >>Luftkissenbootes<<.

Quelle des rechten Bildes: http://www.electrobeans.de/archiv/2007/09/hov_pod_luftkissenboot_fuer_je.html

Ziel:

Anhand des Versuchs 11 wird das Prinzip eines Luftkissenfahrzeuges nachgebildet.

Versuchsaufbau:

Material:

- PET-Flasche von Speiseöl mit Klappverschluss
- Luftballon

Aufbau:

Für diesen Versuch ist es wichtig, dass man eine Speiseölflasche benutzt, da diese deutlich weniger Gewicht mit sich bringt. Die Flaschen sind dünnwandiger und der Verschlussmechanismus ist weniger robust, verglichen mit Getränkeflaschen.

Die Flasche wird am oberen Viertel abgeschnitten. In die Mitte des Klappverschlusses wird ein Loch gebohrt, das ungefähr den Durchmesser eines Strohhalmes hat. Der Luftballon wird dann, wie in Abbildung 11 zu sehen ist, über den Verschluss gestülpt.

Durchführung und Beobachtung:

Der Luftballon wird durch die Öffnung in der Flasche aufgeblasen. Dazu kann man den ganzen Aufbau über den Mund drücken und ihn aufblasen (ist der Ballon noch ganz neu, bietet es sich an ihn vor dem Befestigen an der Flasche einmal komplett aufzublasen, damit er sich später leichter dehnen lässt).

Stellt man den Aufbau mit dem nun aufgeblasenen Ballon, wie in Abbildung 11, auf den Tisch, so „fährt“ das Luftkissenboot über die Oberfläche.

Erklärung:

Die Grundprinzipien sind dieselben wie im Vorgängerversuch. Hält man den Ballon zu, so ist der Außendruck gleich dem Druck in dem abgeschnittenen Flaschenstück. Öffnet man den Ballon, so strömt die Luft zunächst in die Flasche, wodurch sich dort der Luftdruck erhöht. Das System „Luftkissenboot“ übt eine Kraft auf den Untergrund aus. Diese erfährt das Luftkissenboot zurück und wird entgegen der Schwerkraft angehoben. Luftströmungen außerhalb des Luftkissenbootes können dafür sorgen, dass sich das Gefährt zusätzlich in der Horizontalen bewegt.

Eine Variation und leichte Weiterentwicklung des „Luftkissenbootes“ ist der „Luftkissenrotor“. Wie der Name bereits vermuten lässt, kommt in dem Versuch eine zusätzliche Rotationsbewegung zustande.

Versuch 12: >>Luftkissenrotor<<

Quelle: modifiziert nach: Spaß mit Physik: Kreative Experimente für Schule und Freizeit.

Abb. 12.



Die Abbildung 12 zeigt, wie der Luftkissenrotor aufgebaut ist.

Ziel:

Der Luftkissenrotor ist lediglich eine Weiterentwicklung, die über ein steuerndes Element für zusätzliche Bewegung verfügt. Es soll gezeigt werden, dass durch kontrollierte Luftströme auch die Richtung einer Bewegung kontrolliert werden kann. Mittels des folgenden Versuchs kann die grobe Funktionsweise des in Abbildung 11 (rechte Seite) dargestellten Luftkissenfahrzeuges hergeleitet werden.

Versuchsaufbau:

Material:

- CD
- PET-Flasche
- Strohhalm
- Luftballon
- Pappe (beispielsweise einer Karteikarte)

Aufbau:

Man nimmt eine PET-Flasche und schraubt sie feste zu. Dann schneidet man sie etwa zwei bis drei Zentimeter unter dem Rand des Verschlusses ab. Mit einem Bohrer bohrt man ein Loch oben in die Mitte des Schraubverschlusses und ein weiteres mit dem Durchmesser des Strohhalms seitlich in den Verschluss. Vom Strohhalm werden zwei bis drei Zentimeter abgeschnitten. Dieses Stück verklebt man mit dem seitlichen Loch im Verschluss so, dass durch den Deckel Luft über den Strohhalm nach außen strömen kann.

Das Stück der Flasche mit dem Deckel wird kopfüber in die Mitte der CD geklebt (auf Grund der Materialien am besten mit Heißkleber), so dass das obere Loch im Deckel einen Durchgang mit dem Loch im Zentrum der CD bildet (siehe Abbildung 12). Aus einem etwa 1x4 Zentimeter großen Pappstreifen faltet man per Zickzackfalz einen T-förmigen Windschild. Dieser wird mit Klebeband in einem etwa 45° Winkel zur Verlaufsrichtung des Strohhalms vor dessen Öffnung auf die CD geklebt.

Durchführung und Beobachtung:

Der Ballon kann in diesem Versuch nur beschwerlich aufgeblasen werden, wenn er sich auf der Konstruktion befindet. Man sollte ihn getrennt von dem Aufbau aufblasen, zuhalten und mit etwas Geschick, wie in Abbildung 12 ersichtlich, über die Flasche stülpen. Ist der Ballon befestigt, kann man ihn loslassen. Es ist zu beobachten, dass sich die CD wie das Luftkissenboot über den Tisch bewegt und jetzt noch zusätzlich in Rotation versetzt wird.

Erklärung:

Vergleichbar mit Versuch 11 wird in Versuch 12 durch die ausströmende Luft unter dem Aufbau ein „Luftkissen“ aufgebaut, welches den gesamten Aufbau anhebt und eine reibungsärmere Bewegung ermöglicht. Hier nimmt jedoch die zusätzliche Seitenöffnung im Schraubverschluss Einfluss auf die Bewegung. Es tritt nun die Luft nicht nur nach unten aus, sondern auch seitlich. Die seitlich austretende Luft wird mit dem Strohhalm recht gebündelt auf den Windschild geleitet. Dieser Druck reicht jetzt aus, die CD in Rotation zu versetzen, da das „Luftkissen“ unten die Reibung zwischen CD und Untergrund reduziert hat. Auch hier spielt das 2. Newton'sche Axiom eine wahrlich „tragende“ Rolle.

Bis hier konnten verschiedene Anwendungen des Gesetzes von Boyle-Mariotte eingebracht werden, wie sie in verschiedenen Formen die Erfahrungswelt der Schülerschaft einbeziehen. Das folgende Kapitel befasst sich nun mit globaleren Erscheinungen, die sich auf die gesamte Atmosphäre beziehen. Da sich die Atmosphäre um den gesamten Globus erstreckt, sind die Einwirkungen auf die Luft lokal sehr unterschiedlich. Es beginnt bereits mit der Tatsache, dass die Erde immer eine sonnenabgewandte Seite hat. Die Luft wird also nur von einer Seite durch die Sonneneinstrahlung erwärmt. Auf der sonnenzugewandten Seite des Planeten

können Wolken, die geographische Lage, Jahreszeiten und die Beschaffenheit der Erdoberfläche die Erwärmung der Luft, sowie deren Druck beeinflussen. Somit macht es für das Klima einen entscheidenden Unterschied, ob man sich in der Nähe eines Pols befindet oder in der Nähe des Äquators, über Land oder auf dem Wasser. Die Sonneneinstrahlung trifft in unterschiedlichen Winkeln auf die Atmosphäre und auf die Oberfläche der Erde, was sich in unterschiedlichen Erwärmungsmöglichkeiten äußert und für unser Wetter mitverantwortlich ist. Um Temperatureinflüsse auf die Luft der Atmosphäre soll es nun auch gehen, die durch die Gesetze von Gay-Lussac beschrieben werden.

5.3. Von Wind und Wetter zu Arbeit und Umwandlung von Energie

Veränderungen des Luftdrucks in der Atmosphäre können mannigfaltige Ursachen haben. Absinkende Luftmassen sorgen für adiabatische Gaskompressionen, wodurch sich die Luft erwärmt (<http://de.wikipedia.org/wiki/Hochdruckgebiet>). An solchen Orten liegt dann in Bodennähe ein sogenanntes Hochdruckgebiet vor. Da die Luft abgesunken ist, sinkt in der Höhe der Druck und es kommt zu Druckdifferenzen in vertikaler Richtung. Dort, wo in der Höhe der Luftdruck sinkt, wird aus benachbarten Bereichen mit höherem Luftdruck Luft hinbewegt, um den Unterschied auszugleichen. Dadurch entstehen Höhenwinde.

Erwärmt die Sonneneinstrahlung die bodennahe Luft, so sinkt in diesen Bereichen der Luftdruck. Im Versuch >>Thermik<< wurde gezeigt, dass warme Luft aufsteigt und eben dieses geschieht auch in der Atmosphäre. Durch dieses Aufsteigen der Luft sinkt in Bodennähe der Luftdruck (<http://de.wikipedia.org/wiki/Tiefdruckgebiet>). Diese Unterschiede im Luftdruck bei aufeinandertreffenden Luftmassen verursachen die Entstehung von Winden und man kann sie mit einfachen Mitteln nachweisen. Mit hochwertigen Barometern können sie selbstverständlich auch konkret gemessen werden. Der folgende Aufbau erlaubt lediglich einen qualitativen Nachweis des Luftdrucks und die Funktionsweise ist auch nur bedingt überzeugend. Um einigermaßen zuverlässige Angaben zu erhalten ist es zwingend nötig an dessen Standort konstante Temperaturen aufrechtzuerhalten, was in der Regel schwer umsetzbar ist. Zur generellen Darstellung der Sachverhalte ist der Versuch Barometer jedoch ausreichend gut geeignet und wie sich zeigt auch vielseitig einsetzbar.

Versuch 13: >>Barometer<<

Quelle: modifiziert nach: Ucke, C., Schlichting, H.-J.; (1993); Das Goethe-Barometer. Physik in unserer Zeit. Nr. 24, S. 91-92.

Abb. 13.



Die Abbildung 13 gibt einen möglichen Aufbau des (Goethe-)Barometers wieder.

Ziel:

Mit Hilfe dieses Versuchs kann gezeigt werden, dass die Luft, die einen umgibt, Druck auf die Umwelt ausübt. Dieser Druck hat jedoch keinen festen Wert, sondern variiert mit den herrschenden Außenbedingungen.

Versuchsaufbau:**Material:**

- PET-Flasche (Hier: 0,75 Liter, bauchige Flasche mit Klappverschluss)
- Glasrohr oder Strohhalm (semi- oder volltransparent)
- Ggf. Tinte
- „Skala“
- Wasser

Aufbau:

In das untere Viertel der Flasche wird vorsichtig ein Loch gebohrt, dessen Durchmesser den des Rohres nicht viel überschreiten sollte. Man steckt nun das

Glasrohr in die neue Öffnung und verklebt das Rohr mit der Flasche luftdicht. Das Rohr muss gegebenenfalls noch stabilisiert werden, um ein ungewolltes Ablösen mit darauffolgendem Flüssigkeitsaustritt zu vermeiden.

Durch die reguläre Ausgießöffnung wird die Flasche mit Wasser gefüllt. Die Füllhöhe muss natürlich oberhalb der Bohrung liegen. Je nach Belieben kann das Wasser noch mit Tinte eingefärbt werden. Die Flasche muss nun dicht verschlossen werden, das Rohr jedoch oben offen bleiben.

Durchführung und Beobachtung:

Solange die Flasche offen ist, wirkt der gleiche Luftdruck auf die Oberfläche in der Flasche wie auf die Oberfläche im Steigrohr (welches oben ebenfalls offen ist). Somit sind die Pegelstände im Rohr und in der Flasche auf exakt demselben Level. Verschließt man die Flasche, ist der Luftdruck in der Flasche vom äußeren Luftdruck getrennt und wir haben wieder zwei physikalische Systeme, die interagieren. Nach dem Verschließen der Flasche muss sich das Barometer erst „einstellen“. Abhängig vom Außendruck sinkt der Wasserstand im Glasrohr ab oder er steigt.

Wenn man das Barometer eine Weile stehen lässt, zeigt es qualitativ den in der Umgebung herrschenden Luftdruck an. Es ist zu beobachten, dass sich der Wasserstand im Steigrohr mit der Zeit (im Verlauf von Stunden oder evtl. auch Tagen) verändert. Die Veränderungen des Wasserstandes im Steigrohr können dann über einen längeren Zeitraum dokumentiert, mit meteorologischen Daten (beispielsweise aus dem Internet oder einfach mit einem geeichten Barometer) abgeglichen und besprochen werden.

Erklärung:

Die Luft in der Flasche ist von der Luft außerhalb durch die Flasche und das Wasser abgetrennt. Somit wirkt der Druck dieser Luft von innen auf die Wasseroberfläche in der Flasche. Auf die Oberfläche im Steigrohr wirkt der äußere Luftdruck. Ist dieser sehr hoch, drückt er auf die Oberfläche und verdrängt das Wasser in die Flasche hinein. Da Luft komprimierbar ist, ist diese Verschiebung nach innen möglich. Durch die Volumenverkleinerung, die das zufließende Wasser in der Flasche verursacht, wird im Inneren der Luftdruck erhöht (vgl. Versuche 2, 5, 6 und 7). Der äußere Luftdruck verschiebt das Wasser soweit, bis ein Druckausgleich zwischen Innen und Außen hergestellt ist (Boyle-Mariotte und Gay-Lussac).

Sollte der äußere Luftdruck sinken, steigt die Flüssigkeit im Steigrohr. Je nach Pegelstand kann man erkennen, ob der Druck außen höher oder niedriger ist als innen. Das sieht man daran, dass der Pegel im Steigrohr unter oder über dem in der Flasche liegt. Bei niedrigem Luftdruck ist der Druck, den die Luft in der Flasche auf die Wasseroberfläche ausübt, verhältnismäßig hoch. Das Wasser wird dann von innen nach außen gedrückt, wodurch der Wasserstand im Steigrohr erhöht wird. Es steigt auch hier so weit, bis der Druck ausgeglichen ist. Es ist dabei nicht allein der äußere Luftdruck verantwortlich für diesen Druckausgleich. Mit steigender Wassersäule im Rohr steigt ebenfalls der Hydrostatische Druck, der in Kombination mit dem Außendruck dem Innendruck entgegenwirkt. (Dieser Druckausgleich ist allerdings nicht immer dann erreicht, wenn der Wasserstand das obere Ende des Steigrohres erreicht hat. Es kann überlaufen, was den Einsatz einer Wasserdichten Unterlage ratsam macht).

Anmerkung:

Damit dieser Aufbau tatsächlich als Barometer eingesetzt werden kann, ist es notwendig eine konstante Temperatur aufrechtzuerhalten. Nimmt man an, dass der Luftdruck konstant bleibt, gilt nach dem Gay-Lussac'schen Gesetz für den Druck p in Abhängigkeit von der Temperatur T :

$$p = p_0(1 + \alpha\Delta T) \quad (17)$$

Mit

$$p_0 = 1000hPa$$

$\alpha = \text{thermischer Ausdehnungskoeffizient von Luft}$

$$\Delta T = T - T_0$$

Sei $\Delta T = 1K$, so ergibt sich bereits allein durch Änderung der Temperatur ein Druck von $p=1004hPa$ (Ucke, C., Schlichting, H.-J.; (1993); S. 92). Das bedeutet eine sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber der Temperatur, was einen tatsächlichen Gebrauch der Konstruktion als Barometer im Grunde zu Nichte macht. Als Dekoration werden diese Wettergläser jedoch gerne eingesetzt.

Diese hohe Empfindlichkeit des Aufbaus gegenüber der Temperatur lässt sich trotzdem nutzen. Man kann diese Konstruktion also als Thermometer einsetzen. Der folgende Versuch soll das demonstrieren.

Versuch 14: >>Thermometer<<

Quelle: http://www.leifiphysik.de/web_ph08_g8/heimversuche/05ausdehnung/flaschentherm.htm

Abb. 14.



Die Abbildung 14 zeigt den Aufbau des Thermometers.

Ziel:

Das Thermometer ist prinzipiell vom Aufbau exakt dem Barometer entsprechend. Durch die einfache Veränderung des Einsatzgebietes wird der enge Zusammenhang zwischen Luftdruck und Temperatur nochmals verdeutlicht.

Versuchsaufbau:

Material:

- PET-Flasche (Hier: 0,75 Liter, bauchige Flasche mit Schraubverschluss)
- Glasrohr oder Strohhalm
- Wasser
- Tinte
- Ggf. Isolierband

Aufbau:

In den Schraubverschluss der Flasche wird ein Loch gebohrt, dessen Durchmesser dem des Glasrohres bzw. des Strohhalmes entspricht. Das Rohr wird in den Verschluss geklebt, so dass es fast bis auf den Boden der Flasche reicht. Die Flasche wird nun zu etwa einem Drittel mit Wasser gefüllt. Das Wasser kann

wahlweise mit Tinte eingefärbt werden. Dann wird der Schraubverschluss auf die Flasche geschraubt. Es ist darauf zu achten, dass sowohl die Flasche als auch die Verbindung zwischen dem Glasrohr und dem Schraubverschluss absolut luftdicht sind.

Der Aufbau des Thermometers kann allerdings genauso gestaltet werden, wie das Barometer zuvor (außen liegendes Steigrohr). In dem Aufbau mit innenliegendem Rohr läuft man jedoch nicht Gefahr, dass das Steigrohr sich bei der Handhabung löst oder abbricht.

Durchführung und Beobachtung:

Je nachdem wie die Außentemperaturen sind, steigt das Wasser im Rohr deutlich an. Um die Auswirkungen noch deutlicher zu zeigen, kann man mit einem Föhn oder mit den Händen die Luft im Inneren der Flasche erwärmen. Dadurch steigt der Wasserstand in dem Glasrohr schnell und deutlich sichtbar. Im Gegenzug kann man den gesamten Aufbau in kaltes Wasser stellen. Ein deutlicher Abfall des Pegels im Steigrohr ist zu beobachten.

Erklärung:

Geht man nun von einem weitestgehend konstanten Luftdruck außerhalb des Thermometers aus, wirkt eine Temperaturveränderung des Gases in der Flasche nach den Gesetzen von Gay-Lussac. Temperaturerhöhungen sorgen für eine Ausdehnung der Luft im Inneren und das Absenken der Temperatur wirkt entgegengesetzt. Dehnt sich die Luft aus, so wird die Flüssigkeit von dem Gas in das Steigrohr verdrängt. Sinkt die Temperatur, so sinkt auch der Druck im Inneren und der Wasserspiegel im Rohr fällt.

Die Ausdehnung der Flüssigkeit bei Temperaturerhöhung wird vernachlässigt.

Anmerkung:

Bei der Bedienung des Thermometers ist Vorsicht angebracht, da das Wasser bei sehr hohen Temperaturen oben aus dem Steigrohr austreten kann. Lässt man es also beispielsweise direkt in der Sonne stehen, sollte eine wasserdichte Unterlage darunter gelegt werden.

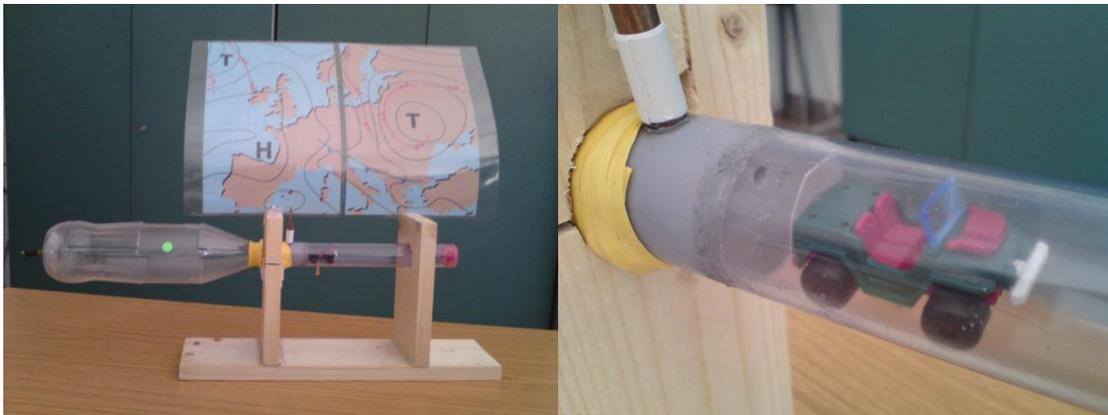
Es ist schwer bis unmöglich mit diesem Thermometer dauerhaft konkrete Temperaturen zu messen. Der Einfluss des Luftdrucks und die Verdunstung der Flüssigkeit machen genaue Messungen hinfällig. Es dient lediglich zur qualitativen Darstellung der Gesetze von Gay-Lussac.

Die beiden Vorgängerversuche konnten die Beziehungen zwischen Luftdruck, Volumen und Temperatur gut verdeutlichen. Neben dem wurde ein Bezug zum Wetter hergestellt, was in gewissem Rahmen auch Inhalt der letzten Versuche sein wird. Über die Gesetze von Gay-Lussac soll ein Zusammenhang zu der Entstehung, Wirkung und Ausnutzung von bewegter Luft hergestellt werden.

Versuch 15: >>Windkanal 1<<

Quelle: Erstellt nach eigenem Konzept.

Abb. 15.



Die Abbildung 15 zeigt den Versuch zur Erklärung der Entstehung von Wind und der Abhängigkeit von Windstärke und Druckdifferenz.

Ziel:

Mit dem Versuch 15 soll primär demonstriert werden wie Wind entstehen kann und dass die Windstärke von der Druckdifferenz der aufeinandertreffenden Luftdruckgebiete abhängt.

Versuchsaufbau:

Material:

- PET-Flasche (mindestens 1Liter) mit Schraubverschluss
- Fahrradventil samt der Halterung aus dem Fahrradschlauch
- Transparentes Kunststoffrohr mit einer Länge von mindestens 25cm

- Lufthahn (entweder aus dem Baumarkt oder selber gebaut; Details zum Selberbau im Abschnitt „Aufbau“)
- Spielzeugauto, das in das Rohr passt
- Luftpumpe

Aufbau:

In die Mitte des Bodens der PET-Flasche wird ein Loch mit einem Durchmesser von etwa 3 Millimetern gebohrt. Auch hier eignen sich die Flaschen der Coca-Cola Company® besonders gut, da der Boden trichterförmig ist. Das Fahrradventil wird in seiner Halterung mit dem Ausgang auf das Loch geklebt. Da das Ventil beim späteren Aufpumpen der Flasche viel bewegt wird, sollte die gesamte Wölbung des Flaschenbodens mit Heißkleber ausgefüllt werden. So erlangt das Ventil größtmöglichen Halt gegen entstehende Hebelkräfte. Um die Verbindung möglichst luftdicht zu bekommen, sollte ferner der Rest des Fahrradschlauches (rund um die Ventilhalterung) entfernt werden, dass nur noch ein maximal 1 cm (im Durchmesser) großes Stück erhalten bleibt. Ist der Schlauchrest größer, kann es beim Pumpen zu Ablösungen vom Kleber kommen, wodurch die Konstruktion nicht mehr dicht hält.

Der Lufthahn wird dann mit dem Rohr verbunden. Das in diesem Versuchsaufbau verwendete Rohr ist aus transparentem PVC und hat einen Durchmesser von 30 mm. Benutzt man einen fertigen Hahn, so muss dieser zwischen das Rohr und die Flaschenöffnung montiert werden. In diesem Aufbau wurde der Hahn selber hergestellt.

Konstruktion des Hahns: Für den Hahn wurde ein Gummistopfen in das Rohr getrieben. Der Gummistopfen ist an der einen Seite ebenfalls 30 mm im Durchmesser und auf der anderen Seite etwas breiter, damit er im Rohr dicht abschließt. Der Stopfen sollte so weit in das Rohr geschoben werden, dass man direkt vor den Stopfen später einen Schraubverschluss in das Rohr kleben kann (um das Einführen des Stopfens zu erleichtern, kann man ihn mit einem Schmiermittel bestreichen, beispielsweise Seife oder Vaseline). Wenn der Stopfen an der richtigen Position ist, wird er mittig der Länge nach durchbohrt. Dazu sollte man einen Holzbohrer benutzen, da diese über ein schneidendes Gewinde verfügen und man einen sauberen Durchgang erhält. Der Durchmesser sollte die 3 mm nicht überschreiten. Nun wird senkrecht zur ersten Bohrung ein weiteres Loch durch das Rohr mittig in den Gummistopfen gebohrt. Hierbei ist einiges zu beachten. In dem

hier vorgestellten Aufbau wurde als Hahn ein Kupferrohr mit einem Durchmesser von 6 mm verwendet. Somit sollte nur das Rohr (!) mit einem Bohrer durchbohrt werden, der etwas größer im Durchmesser ist, um später eine leichtere Bedienung zu erreichen. Der Stopfen selber wird dann mit einem Bohrer durchbohrt, der einen etwas geringeren Durchmesser hat als der Kupferhahn. Dadurch erreicht man eine größere Dichte zwischen Gummistopfen und Hahn. Bei dieser Bohrung muss darauf geachtet werden, dass man genau auf die Längsbohrung durch den Stopfen trifft. Der Kupferhahn wird nun ebenfalls durchbohrt. Das Bohrloch in diesem Versuchsaufbau hat einen Durchmesser von 3 mm. Da es sich um ein Rohr handelt, werden die beiden Enden mit Heißkleber dicht verschlossen, damit die Luft, die später durch den Hahn strömen soll, nicht an den Seiten abgeleitet werden kann. Das Kupferrohr wird dann in die Querbohrung im Stopfen geschoben. Auch hier kann zur Verminderung der Reibungskräfte ein Schmiermittel eingesetzt werden. Beim Einführen ist es hilfreich die Bohrung im Kupferrohr so auszurichten, dass sie dem Verlauf der Bohrung im Stopfen folgt. Mit einem Draht oder Holzstab kann man dann die Lage der Kanäle zueinander prüfen. Sobald man den Draht komplett durch den Stopfen und den Hahn schieben kann ist ein funktionierender Luftkanal entstanden. Mit Isolierband kann die Position markiert werden, in der der Hahn einen Durchgang der Luft zulässt. Durch Drehung des Hahnes sollte der Kanal verschlossen werden können.

Ist der Hahn montiert, wird ein Schraubverschluss vor den Stopfen in das Rohr geklebt, damit man die Flasche dort später hinein schrauben kann. Sollte er nicht auf Anrieb passen, kann man ihn von außen noch abschleifen und das Rohr (je nach Wandstärke) leicht ausfräsen. Im nächsten Schritt wird das Spielzeugauto im PVC-Rohr positioniert. Sollte nicht genug Rückseitenfläche des Autos vor der Öffnung des Lufthahns sein, muss man dort noch ein Stück Pappe als „Segel“ befestigen. Auf der anderen Seite des Rohres wird nun ebenfalls ein Schraubverschluss geklebt. Damit die Luft durch die Konstruktion strömen kann, müssen die beiden Schraubverschlüsse ebenfalls mittig durchbohrt werden.

Wurde das Rohr auf die Flasche geschraubt und der Hahn geschlossen, kann man mit der Luftpumpe die Flasche aufpumpen. Sollte man an dieser Stelle feststellen, dass die Konstruktion nicht ganz dicht ist, kann man noch mit Heißkleber und Isolierband nachdichten.

Durchführung und Beobachtung:

Wie in Abbildung 15 erkennbar, wird im Zusammenhang dieses Experimentes eine Isobarenkarte dargeboten. Isobarenkarten sind ähnlich wie Höhenlinienkarten, in denen alle Bereiche gleicher Höhe mit Linien dargestellt werden. Auf Isobarenkarten werden hingegen alle Bereiche gleichen (Iso) Luftdrucks (baren) mit Linien aufgeführt. Diese Karten sollten zumindest einigen SuS bereits aus dem Wetterbericht im TV bekannt sein. Neben den Isobaren werden sowohl Tief-, als auch Hochdruckgebiete angegeben. Was das im Einzelnen bedeutet soll mit diesem Versuch dargestellt werden. Bei der Erläuterung vom Zustandekommen unterschiedlicher Luftdrücke kann natürlich auch weiter ausgeholt werden. Wichtig ist zumindest darauf hinzuweisen, dass es in diesem Zusammenhang um Temperaturbedingte Veränderungen geht. Detaillierte Erklärungen zu atmosphärischer Luftzirkulation können nach Belieben vorgenommen werden.

Bei der Wahl der Karte wurde darauf geachtet, dass die Verteilung von Hoch- und Tiefdruckgebieten zum Versuchsaufbau passt. Das bedeutet, dass das Hochdruckgebiet über der aufpumpbaren Flasche zu sehen ist.

Die Flasche wird nun kräftig aufgepumpt. Aus den Vorgängerversuchen ist bekannt, dass auch dadurch der Gasdruck innerhalb der Flasche steigt und man nicht zwingend auf eine Erwärmung der Luft in der Flasche angewiesen ist. Das Spielzeugauto wird so ausgerichtet, dass es direkt vor der Öffnung im Gummistopfen steht. Wird der Lufthahn geöffnet, kann man deutlich die ausströmende Luft hören und es ist zu beobachten, dass sich das Auto in Bewegung setzt.

Jetzt kann man in mehreren Durchgängen den Druck variieren. Beispielsweise kann man mit jedem Durchgang den Druck um 10-mal Pumpen erhöhen und schauen, wie weit das Auto fährt oder, falls Material dafür vorhanden, zusätzlich die Geschwindigkeit des Autos messen.

Erklärung:

Das Prinzip dieses Versuches wurde bereits in ähnlicher Form behandelt und sollte von den SuS hergeleitet werden können. Da man durch das Aufpumpen einen Druckunterschied zwischen der Flasche und dem Rohr aufbaut, wird nach dem Öffnen des Hahns ein Ausgleich angestrebt. Die Luft hat nur den Weg durch den Lufthahn und wird somit direkt in das Rohr geleitet. Die Teilchen der Luft treffen dann direkt auf das Segel hinten am Auto. Ist der Druck des Luftstroms groß genug um die

Reibung zwischen dem Rohr und dem Auto sowie dessen Gewichtskraft zu überwinden, setzt sich das Auto in Bewegung. Durch die Variation des Luftdrucks in der Flasche zeigt sich, dass bei geringerem Gasvolumen auch der wirkende Druck geringer ist und das Auto somit eine kürzere Strecke zurücklegen kann. Mit höherem Druck fährt das Auto weiter. So kann visualisiert werden, wie die Windstärke von der Druckdifferenz abhängt.

Anmerkung

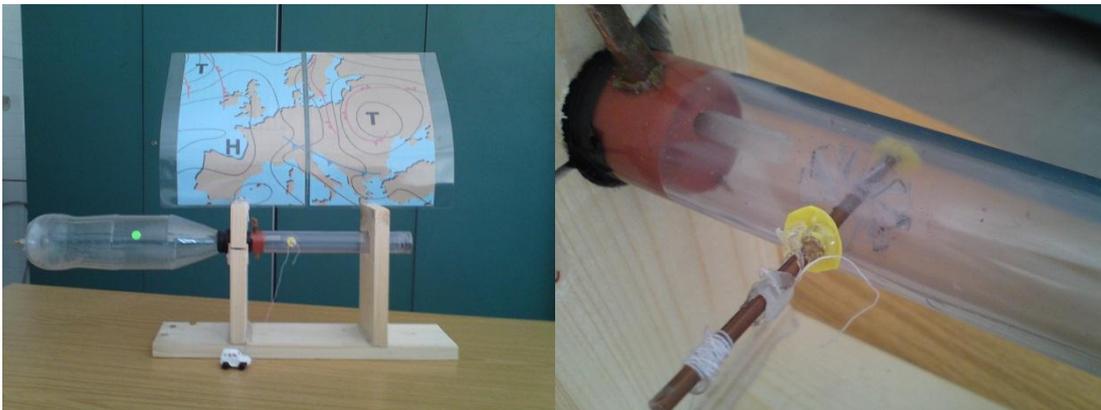
Die Druckdifferenz wurde hier durch das Erhöhen der Stoffmenge erreicht. Es sollte im Unterricht (abhängig von der Jahrgangsstufe) kurz thematisiert werden, welche Ursachen es in der Natur für die Entstehung der verschiedenen Luftdruckgebiete gibt.

Um bei der Versuchsreihe mit der sukzessiven Druckerhöhung zu guten Ergebnissen zu kommen, sollte das Rohr deutlich länger sein, da die Luftströme das Auto über große Entfernungen bewegen können. Eine Länge von einem Meter sollte ausreichen.

Versuch 16: >>Windkanal 2 – Das Windrad<<

Quelle: Erstellt nach eigenem Konzept.

Abb. 16.



Die Abbildung 16 stellt den Aufbau für das Windrad dar. Hier soll verdeutlicht werden, wie die Windenergie umgeleitet werden kann.

Ziel:

Nachdem gezeigt wurde wie Wind entstehen kann und welche Kräfte bereits in so kleinem Maßstab entstehen, soll mit dem folgenden Versuch demonstriert werden, wie sich die Menschen dieses Wetterphänomen zu Nutzen machen. Die Energie, die hinter dieser Luftbewegung verborgen ist, kann umgeleitet und zur Verrichtung von

Arbeit oder zur Gewinnung von elektrischer Energie (Windmühlen und –räder) genutzt werden.

Versuchsaufbau:

Material:

- PET-Flasche (mindestens 1Liter) mit Schraubverschluss
- Fahrradventil samt der Halterung aus dem Fahrradschlauch
- Transparentes Kunststoffrohr mit einer Länge von mindestens 15cm
- Lufthahn (siehe Versuch 15)
- Spielzeugauto
- Draht o. Ä.
- Nähgarn
- Windrad (z.B. aus dicker Kunststofffolie)

Aufbau:

Der Grundaufbau ist vergleichbar mit Versuch 15. Der Unterschied liegt in der Modifizierung des PVC-Rohres. Für diesen Versuch ist die Länge des Rohres nicht entscheidend. Sie sollte lediglich so ausgelegt sein, dass der Schraubverschluss, der Lufthahn und das Windrad Platz darin finden.

Bei dem Lufthahn ist in dieser Version wichtig, dass die Längsbohrung durch den Gummistopfen nicht mittig, sondern leicht nach oben versetzt vorgenommen werden muss, damit die Luft später das Windrad optimal in Rotation versetzen kann (vgl. Abb. 16, rechte Hälfte). Um die Luft möglichst gebündelt auf das Windrad leiten zu können, kann man eine kleine Düse in den Durchgang des Lufthahns einbauen, was in diesem Fall mittels einer Kugelschreiber-Großraummine umgesetzt wurde (vgl. Abb. 16, rechte Seite).

Das PVC-Rohr wird dann einmal quer durchbohrt, um den für das Windrad als Rotationsachse dienenden Draht dort einführen zu können (vgl. Abb. 16).

Das Windrad wurde hier aus zwei 20 Cent Stück großen Stücken einer dickeren Kunststofffolie gefertigt, welche als Deckfolien bei der Bindung von schriftlichen Arbeiten zum Einsatz kommt.

Der als Achse dienende Draht sollte an der Seite, die bei der Durchführung zum Auditorium zeigt, einige Zentimeter überstehen. Am Stück wird etwa einen Zentimeter vor dessen Ende das Nähgarn befestigt, welches bei der späteren

Rotation des Drahtes dort aufgewickelt wird. An dem anderen Ende des Nähgarns befestigt man ein möglichst leichtes Spielzeugauto (beispielsweise aus einem Überraschung-Ei).

Durchführung und Beobachtung:

Auch im Versuch 16 wird zunächst die PET-Flasche am Ventil aufgepumpt. Öffnet man den Hahn, so wird das Windrad über die vom Zentrum des Stopfens versetzte Düse in Rotation versetzt. Durch die Rotation des Windrades und somit der Achse wird das Nähgarn auf den Draht gewickelt (sollte das Garn seitlich vom Draht herunter rutschen, kann man dort eine kleine Sperre vorkleben) und das Spielzeugauto gezogen.

Erklärung:

Die Erklärung zum Druckausgleich ist dem Vorgängerversuch zu entnehmen. In diesem Versuch wird die Arbeit, die verrichtet wird um die Luft zu bewegen, auf die Rotation des Windrades übertragen. Die Luft wirkt hier nicht, wie in Versuch 15, unmittelbar auf das Auto, sondern wird hier mittelbar über die Bewegung der Achse zum Ziehen des Autos umgeleitet. Die Energie, die aus der Bewegung der Luft stammt, wird in Rotationsenergie umgewandelt, durch die ausreichend Kraft auf das Nähgarn übertragen wird, um das Auto zu bewegen (Hänsel, H, Neumann, W.; (b) (1993); S. 134 ff). Dieses Prinzip der Umwandlung in Rotationsenergie wird beispielsweise in Windrädern zur Gewinnung elektrischer Energie eingesetzt. Ein solches Windrad ließe sich konstruieren, indem man sich eine Fahrradfelge entsprechend umbaut, so dass sie wie ein Windrad arbeiten kann. Dazu können beispielsweise Pappen an den Speichen befestigt werden, die dem Wind genügend Fläche bieten, um die Felge in Rotation zu versetzen. Über einen Fahrraddynamo (z.B. Leichtlaufdynamo) kann diese Rotationsenergie in Strom umgewandelt werden, mit dem man eine Glühlampe zum Aufleuchten bringen kann. Diesen Versuch kann man an windigen Tagen im Freien präsentieren und hat einen direkten Bezug zur Umwelt aufgebaut.

6. Fazit

Das Experimentieren mit PET-Flaschen und allgemein mit Haushaltsgegenständen im Schuleinsatz ist eine sehr nützliche Methode, um Kindern und Jugendlichen einfache, anschauliche und preiswerte Wege zu demonstrieren auch außerhalb der Schule auf „Entdeckungsreise“ zu gehen. Die natürliche Neugierde der Kinder und Jugendlichen sollte gefördert werden und mit entsprechenden Mitteln kann dafür gesorgt werden, dass sie befähigt sind sich selbstständig Gedanken zu machen, Hypothesen aufzustellen und diese mit einfachen Experimenten zu überprüfen. Die Ursprünge des Erkenntnisgewinns in der Geschichte entstanden in letzter Konsequenz auch nicht mit hoch technisierten Mitteln. *Archimedes* (287 - 212 v. Chr.) beispielsweise benötigte lediglich eine volle Badewanne, um das nach ihm benannte archimedische Prinzip zum Auftrieb beim Baden zu entdecken (<http://de.wikipedia.org/wiki/Archimedes>). Aus derartigen Zufallsentdeckungen können schnell weitere Hypothesen und Theorien entstehen, deren Überprüfungen angestrebt werden sollten. Dazu ist ein gewisser Forscherdrang von Nöten, den es bei Kindern und Jugendlichen zu erwecken gilt.

Besonders in Zeiten wie heute, in denen viele Kinder und Jugendliche durch ein umfangreiches multimediales Angebot übersättigt werden, kann ihnen die Darbietung von alternativen Zeitverwendungsmöglichkeiten völlig neue Perspektiven geben. Auch Kindern sozial schlechter gestellten Familien bieten derartige Freihandexperimente Beschäftigungsbereiche, die mit geringen Finanzmitteln und großem Bildungspotential durchgeführt werden können. 2009 waren bereits 78% aller bundesdeutschen Haushalte mit einem Computer ausgestattet und 73% aller Haushalte verfügten zudem über einen Internetanschluss (Statistisches Bundesamt, Destatis 2009). Der Zugang zu entsprechenden Anregungen und Informationen ist den meisten SuS somit geboten. Durch das Umsetzen solcher Experimente im Unterricht können die Kinder angeregt werden das Internet entsprechend zur Informationsfindung in solchen Bereichen zu nutzen. Als Lehrperson kann man förderlich einwirken, indem man vorab entsprechende Seiten besucht, sie auf ihre Qualität prüft und anschließend Empfehlungen ausspricht. Das aktive Experimentieren kann damit auch ein fester Bestandteil für Hausaufgaben werden, um den eigenen Arbeitsanteil der Kinder anzuheben.

Nutzt man für Versuche den Kindern bekannte Materialien, so bekommt die Physik einen stärkeren Alltagsbezug. Den Kindern und Jugendlichen wird auf dem Wege

vielleicht ein ganz anderer Zugang verschafft, wenn sie sehen, dass Physik nicht nur ein leidiges Schulfach ist, wo die Eltern ihnen schon eingepflichtet haben, dass sie selber auch immer schlecht in Naturwissenschaften waren. Man kann ihnen demonstrieren, dass Natur sie immer und überall begleitet.

Mittlerweile ist im Internet oder auch in Buchhandlungen ein sehr umfangreiches Repertoire an Versuchen zugänglich, die auch auf einfaches Umsetzen und Handhaben abzielen. Generell sind diese Versuche erst einmal kritisch zu betrachten. Bei der Wahl und der Entwicklung der vorliegenden Versuchsreihe mussten einige der angedachten Versuche herausgenommen werden, da sie zum Teil gar nicht oder nur unter bestimmten Bedingungen funktionieren. Derartige Fehlschläge gehören selbstverständlich dazu, sind allerdings zur Motivationsentwicklung von „Neuforschern“ gegebenenfalls nicht förderlich. Dementsprechend sollten Versuche ausgewählt werden, deren Umsetzung einem selber schon gelungen sind. Im weiteren Verlauf können die Anforderungen gehoben werden und eventuelle Misserfolge dienen in letzter Konsequenz dem Aufbau einer gewissen Frustrationsresistenz, welche durchaus von der Disziplin gefordert ist.

Neben den physikalischen Inhalten bieten Heimversuche einen guten Anlass den SuS ein gewisses handwerkliches Geschick zu vermitteln, wobei mögliche Gefahrenpotentiale bedacht werden müssen. Bei der Anfertigung der Versuchsaufbauten dieser Arbeit wurde mir bewusst, dass das Verständnis der Sachlage mit jedem Handgriff wuchs. Man entwickelt eine gewisse Vertrautheit mit dem Aufbau und den Materialien, woraus viele Ideen für Modifikationen und Fehlerbehebungen entstanden. Schafft man es als Lehrperson die Kinder und Jugendlichen zu derartigen Fähigkeiten fortzubilden, bietet man ihnen die Möglichkeit durch Ehrgeiz und problemlösendes Denken eine hohe Selbstständigkeit im späteren Leben zu erreichen.

Für den Einsatz im Unterricht hingegen sollten alle Versuche, die man sich auch aus Begleitliteratur zusammenstellt, ausprobiert und im Zweifel noch optimiert werden. Sollte dennoch ein Versuch scheitern, kann man dies als Aufhänger zur gemeinsamen Ursachenforschung nehmen. Das Bilden von neuen Hypothesen und Versuchen ein Experiment zu optimieren oder zu korrigieren setzt einen ganz neuen Forschungsprozess in Gang, bei dem alles bis dahin erlernte Wissen im besten Fall einfließen kann. In der vorliegenden Arbeit ist ein relativ großes Spektrum an Versuchen dargeboten. Im Rahmen einer Projektwoche beispielsweise kann das

gesamte Programm durchgeführt werden, da dort ausreichend viel Zeit geboten ist, konsequent die einzelnen Sachverhalte zu erarbeiten und den SuS dabei die Möglichkeit zu bieten sich selbst zu üben und sie experimentieren lassen. Da pro Versuchsgruppe mehrere Versuche angeboten werden, bietet sich ebenfalls das Stationenlernen an, zumal in dem Fall die Lerngruppen kleiner sind und der Erkenntnisgewinn pro Kind gesteigert werden kann. Wichtig dabei ist der regelmäßige Erfahrungsaustausch, damit rechtzeitig bestehenden Fehlvorstellungen oder auch der Entwicklung solcher Fehlvorstellungen vorgebeugt werden kann.

Als angehender Lehrer der Naturwissenschaften ist nicht allein die reine Wissensvermittlung der wissenschaftlichen Erkenntnisse das Ziel. Vielmehr soll bei den SuS das allgemeine Interesse an den Phänomenen geweckt werden, die sie von Natur aus umgeben. Mit wachsendem Verständnis naturwissenschaftlicher Zusammenhänge entsteht ein Weltverständnis, das den SuS im weiteren Leben zu Nutzen werden kann.

Im eigenen Unterricht würde ich derartige Versuche mit Haushaltsgegenständen durchaus einbinden. Nichts desto trotz sind Versuche mit konventionellen Physik-Lernkästen und Versuchsaufbauten ein probates Mittel der Wissensvermittlung. Viele vorgefertigte Bausätze sind auf Grund ihrer leichten Bedienbarkeit und deutlich modellhaften Erscheinung gut geeignet, um ohne unnötigen Zeitaufwand das relevante Wissen zu vermitteln. Somit halte ich eine sinnvolle Kombination der Lehrmaterialien für ausgesprochen zweckdienlich. Da vermutlich die wenigsten Haushalte über derartige Experimentierkästen verfügen, gibt man den Kindern durch Experimente mit Haushaltsmitteln vielseitige Anregungen sich auch in der Freizeit spielerisch fortzubilden.

7. Literatur

- Aulas, F., Dupré, J.-P., Gibert, A.-M., Leban, P., Lebeaume, J., (2005); Erstaunliche Experimente – Spielerisch Wissen entdecken.; Bassermann- Verlag.
- Das große Tafelwerk – Formelsammlung für die Sekundarstufen I und II, (2004); Cornelsen Verlag, Berlin; Volk und Wissen Verlag, Berlin; S. 78.
- ERLEBNIS Physik/Chemie, 7./8. Schuljahr, Nordrhein-Westfalen. (2001) Schroedel Verlag, Hannover; S.119.
- Faszinierende Experimente für Kinder; Genehmigte Sonderausgabe für den Tandem Verlag GmbH, Königswinter.
- Meschede, D.; (2006); Gerthsen Physik „Die ganze Physik des 21. Jahrhundert“; Springer Verlag; 23. Auflage.
- Hänsel, H., Neumann, W.,(a) (1993); Physik-Atome, Atomkerne, Elementarteilchen; Spektrum, Akad. Verl.
- Hänsel, H., Neumann, W.,(b) (1993); Physik-Mechanik und Wärmelehre; Spektrum, Akad. Verl.
- Harsch, G., Heimann, R.; (2006); Von der Luft zu den Lüften. MNU 59/7; Seiten 406-412.
- Hermes, R., Kähler, D., Klaas, H.-D., Abitur-Box Physik, Prüfungs- und Basiswissen der Oberstufe; Tandemverlag GmbH, Königswinter.
- Kuchling, H., (2004); Taschenbuch der Physik, 18. Auflage, S. 311; Fachbuchverlag Leipzig.
- Mortimer, C. E.; (1986); Chemie – Das Basiswissen der Chemie; 5. Auflage; Georg Thieme Verlag Stuttgart.
- Natur und Technik – Chemie 7/8 – Realschule Nordrhein-Westfalen; (1998).
- Spaß mit Physik: Kreative Experimente für Schule und Freizeit; (2009); Aulis Verlag Deubner; 3. Auflage.
- Statistisches Bundesamt Destatis (2009); Wirtschaftsrechnungen Private Haushalte in der Informationsgesellschaft – Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien; S. 11.

Stuart, H. A., Klages, G., (1997); Kurzes Lehrbuch der Physik; 15. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Tipler, P. A., Mosca, G.; (2009); Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg; 6. Auflage.

Ucke, C., Schlichting, H.-J.; (1993); Das Goethe-Barometer. Physik in unserer Zeit. Nr. 24, S. 91-92.

8. Internetquellen

<http://de.wikipedia.org/wiki/Archimedes>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Heronsbrunnen>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Hochdruckgebiet>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Tiefdruckgebiet>

<http://marvin.sn.schule.de/~physik/gase/g16.php>

<http://www.bertelsmann-bkk.de/meine-gesundheit/lexika/gesundheitslexikon/z.html>

http://www.electrobeans.de/archiv/2007/09/hov_pod_luftkissenboot_fuer_je.html

http://www.leifiphysik.de/web_ph08_g8/heimversuche/05ausdehnung/index.htm

http://www.leifiphysik.de/web_ph08_g8/heimversuche/05ausdehnung/warmeluft.htm

9. Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbständig verfasst und gelieferte Datensätze, Zeichnungen, Skizzen und graphische Darstellungen selbständig erstellt habe. Ich habe keine anderen Quellen als die angegebenen benutzt und habe die Stellen der Arbeit, die anderen Werken entnommen sind - einschl. verwendeter Tabellen und Abbildungen - in jedem einzelnen Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht.

Sven Graumüller
Bielefeld, August 2010