



## Schulbiologiezentrum Hannover

Vinnhorster Weg 2, 30419 Hannover

Tel: 0511-168-47665/7

Fax: 0511-168-47352

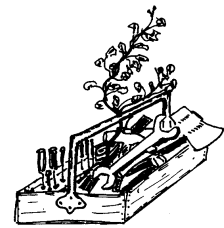
Email : schulbiologiezentrum@hannover-stadt.d

Hannover

### Unterrichtsprojekte Natur und Technik

#### 19.64

für Unterricht, Arbeitsgemeinschaften und Projektwochen:



### Keine Angst vorm Thema „Fliegen“

Physik der Schwerkraft, der Luft und des Auftriebs in der Schule



Strömender Regen auf der A5, Autobahnkreuz Frankfurt. Ein Airbus startet nach Osten und zieht steil über die Autobahn hinweg. Kurz bevor er in den tief liegenden Wolken verschwindet quellen über den Tragflächen dichte weiße Wolken empor. Das sieht gefährlich aus, ist aber bei fast 100%er Luftfeuchtigkeit völlig normal. Der Wasserdampf in der Luft kondensiert durch den über den Tragflächen geringeren Luftdruck zu unzähligen Wassertröpfchen (Wolken/Nebel). Hier wird das Prinzip

„Fliegen“ auch für das Auge begreiflich. Fliegen hat viel mit Luft unterschiedlicher Dichte und Luftdruckunterschieden und damit vor allem mit Physik zu tun. Vieles davon lässt sich mit einfachen Experimenten nachvollziehen.

Mit dieser Arbeitshilfe möchten wir eine kurze Zusammenfassung unseres Kurses „Keine Angst vorm Fliegen“ vorlegen. Zwar geht es bei diesem Thema nicht um die Flugangst, jedoch kann die Kenntnis physikalischer Prinzipien Vertrauen in die Technik und Sicherheit des Fliegens schaffen. Vögel vertrauen seit Jahrmillionen darauf!

Wir möchten Ihnen anhand vieler praktischer Beispiele zeigen, wie man das komplizierte Thema „Fliegen“ in einfachen und zum Ausprobieren anregenden Lernstationen behandeln kann. Wir haben jeden Versuch mit einer kurzen, schülergerechten Erklärung versehen. Vieles lässt sich zu Hause mit einfachen ausprobieren. Viel Spaß dabei!



# Inhalt

Der Schwerkraft ein Schnippchen schlagen.....	3
Flieger bauen.....	3
Balancierübungen mit dem Besen.....	3
Ein Flugzeug aus einem Blatt Papier, einem Trinkhalm und einer Büroklammer.....	3
Da verschlägt's dir die Sprache!.....	4
Trinken mit dem Trinkhalm ist eine richtig komplizierte Angelegenheit!.....	4
Horror vacui – „Angst vor der Leere“?.....	4
Noch einmal „Luftdruck“: Experimente mit der Spritze.....	5
Handkantenschlag für Anfänger.....	5
Wir tragen schwere Lasten mit uns herum.....	5
Durch Pusten Wasser aus einem Glas saugen...?.....	6
Verstecken gilt nicht!.....	6
Locke einen Ball aus dem Versteck.....	6
Küssende Tischtennisbälle.....	7
Werden Löffel vom Wasser angezogen?.....	7
Luft als Klebstoff?.....	7
Die Tischtennisball-Kanone.....	8
Der Pustesauger.....	8
Der Ball, der auf dem Fön tanzt.....	8
Es geht auch ohne Fön.....	9
Was passiert rund um den fliegenden Tischtennisball?.....	9
Abgehoben....(1).....	10
Abgehoben....(2).....	10
Etwas Theorie.....	10
Abgehoben....(3).....	11
Bumerang werfen!.....	12
Ein Handhubschrauber zum Selbstbau.....	12
Auftrieb und Geschwindigkeit.....	13
Brummkreisel.....	13
Seilbahn mit Rückstoß.....	13
Die Cola-Rakete.....	13
Heiße Luft und Auftrieb.....	14

**Titel:** Keine Angst vorm Thema „Fliegen“

**Arbeitshilfe Nr. 19.64**

Verfasser: Ingo Mennerich, Oktober 2006, Korrektur Juni 2020

Redaktion, Fotos,  
und Layout Ingo Mennerich

Herausgeber Landeshauptstadt Hannover  
Fachbereich Bibliothek und Schule  
Vinnhorster Weg 2  
30419 Hannover  
Tel.: 0511-168-47665/7  
Fax: 0511-168-47352  
Email: schulbiologiezentrum@hannover.de  
Internet: www.foerdereverein-schulbiologiezentrum.de

Hannover 2006

## **Der Schwerkraft ein Schnippchen schlagen...**

Fliegen ist die Überwindung der Schwerkraft. Das geschieht ansatzweise schon wenn man eine Seite dieser Arbeitshilfe zu Boden fallen lässt. Wird sie anschließend zu einer Kugel zerknüllt wird ihre Fallgeschwindigkeit erheblich größer sein. Bei beiden Versuchen hat das Papier natürlich dieselbe Masse und auf der Erde auch dasselbe Gewicht. Das ausgebreitete Papier stürzt aber langsamer herab. Und man kann man die Falldauer noch verlängern wenn man das Papier mit der Schere so bearbeitet, dass lauter Fransen entstehen und die der Luft ausgesetzte Oberfläche immer größer wird. Diese Versuche machen deutlich, dass der Raum zwischen ihm und dem Boden nicht „leer“ sondern mit Luft gefüllt ist. Auch wenn Luft unsichtbar ist und vordergründig nach „Nichts“ aussieht. Ohne Luft wäre ein Vogel nie in die Luft aufgestiegen und ein Flugzeug zum Absturz verurteilt. Fliegen heißt „Schwimmen in der Luft“ und ist nur in der Atmosphäre möglich. („Fliegen“ im Raumschiff findet unter schwerkraftarmen oder -losen Bedingungen statt)

Viele der im Folgenden vorgestellten Versuche haben daher mit der Luft und dem Luftdruck zu tun.

## **Flieger bauen...**

Es gibt eine Vielzahl von Büchern (sogar eigene Heimseiten im Internet) die sich mit Papierfliegern beschäftigen. Die meisten von uns werden ihr persönliches „Rezept“ haben. Es gibt „Jäger“, die schnell abgeworfen müssen und ruhige „Gleiter“. Entscheidend beim Bau ist ein optimales Verhältnis zwischen Gewicht, Größe und der Fläche der Tragflächen. Wer die Erfahrung gemacht hat, dass eine Büroklammer, an die richtige Stelle des Fliegers geklemmt eine „Absturzkrähe“ in einen majestätisch dahingleitenden „Schwan“ verwandeln kann weiß, das Fliegen auch eine Frage der richtig verteilten Gewichte und damit des Schwerpunkts ist.

## **Balancierübungen mit dem Besen**

Wo liegt der Schwerpunkt, zum Beispiel eines Besens? Wenn man dem Besen ein paar Tragflächen verpassen würde könnte man ein Flugzeug aus ihm machen...

Kannst du einen Besen auf einem Finger balancieren? Halte den Besen zunächst mit den Zeigefingern beider Hände in die Waagerechte. Es ist völlig egal, an welcher Stelle des Besens deine Finger liegen! Schiebe die beiden Finger nun langsam aufeinander zu und beobachte, was geschieht! Nur der eine Finger bewegt sich unter dem Besen, der andere bleibt dort wo er war.

Wenn du es langsam machst wird der Besen schließlich waagrecht liegend auf den beiden, eng bei einander liegenden Fingern liegen.

Jetzt kannst du den einen Finger vorsichtig wegziehen. Der Besen wird in seinem Schwerpunkt unterstützt und lässt sich so problemlos in der Waagerechten balancieren.

## **Ein Flugzeug aus einem Blatt Papier, einem Trinkhalm und einer Büroklammer**

Den Besen werden wir nicht so ohne weiteres zum Fliegen bringen, aber was mit einem Trinkhalm? Er braucht Tragflächen an den richtigen Stellen und einen gut gewählten Schwerpunkt. Die Tragflächen müssen leicht aber so steif sein, dass sie sich im Fluge nicht verbiegen. Viel Zeit vorausgesetzt kann man mit Kindern so lange herumprobieren bis der „Tragflächentrinkhalm“ fliegt. Viele Ideen lassen sich großen, richtigen Flugzeugen anschauen, zum Beispiel die Lage der großen Tragflächen und der Aufbau des Hecks. Entscheidend für die Flugeigenschaften ist jedoch das Profil der Tragflügel. Deren Form und Funktion muss erst in kleinen Schritten erarbeitet werden. Und wieder haben wir es mit der Luft zu tun...

## Da verschlägt's dir die Sprache!

Blase dir mit dem kräftigen Fön kalte Luft auf die Nase. Jetzt fällt das Atmen plötzlich schwer. Auch bei Sturm oder wenn du schnell Fahrrad fährst bleibt dir schnell die Luft weg! Dabei hat man das Gefühl, der Wind saugt einem die Luft aus der Nase! Woran liegt das? Der Fön oder der Wind transportieren doch zusätzliche Luft herbei!

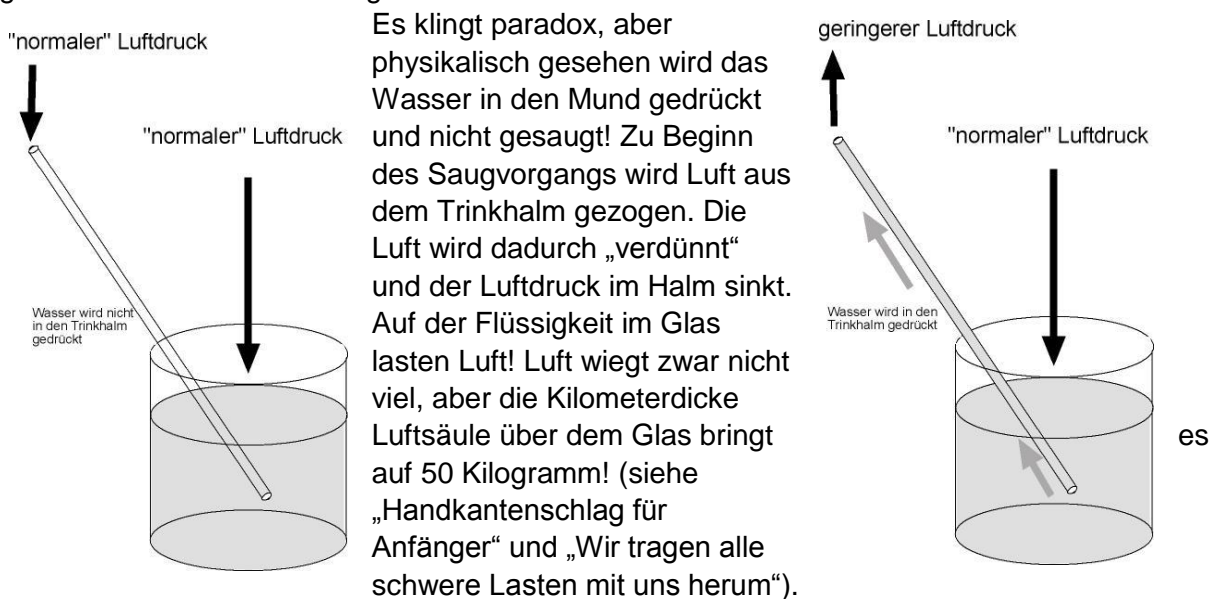
Die Luft trifft mit großer Geschwindigkeit auf die Nase und das Gesicht und reißt Luftteilchen mit sich und weit auseinander. Es entsteht ein Unterdruck der uns die Luft aus der Nase zieht. Wie man das sichtbar machen kann und was das mit dem Fliegen zu tun hat erfährst du bei den folgenden Experimenten.

## Trinken mit dem Trinkhalm ist eine richtig komplizierte Angelegenheit!

Wie funktioniert das Trinken mit einem Trinkhalm eigentlich? Die einfache Erklärung, dass man das Wasser aus dem Glas saugt ist zu einfach. Denn wenn du beginnst zu saugen ist der Trinkhalm doch leer, oder? Nein, leer ist das falsche Wort, denn im Halm ist ja Luft. Interessant wäre in diesem Zusammenhang die Überlegung, welchen Sinn ein Trinkhalm im luftleeren Raum, etwa auf dem Mond machen würde. Bevor die Flüssigkeit den Mund erreicht müssen wir zunächst die Luft aus dem Trinkhalm saugen. Aber warum folgt das Wasser der von dir herausgesaugten Luft?

## Horror vacui – „Angst vor der Leere“?

Früher glaubte man, dass ein Raum Angst vor der Leere (Vakuum) hätte. Man nannte das „Horror vacui“. Man meinte, dass er sich aus dieser „Angst“ von selbst füllen würde. Heute gibt es eine andere Erklärung:



Es klingt paradox, aber physikalisch gesehen wird das Wasser in den Mund gedrückt und nicht gesaugt! Zu Beginn des Saugvorgangs wird Luft aus dem Trinkhalm gezogen. Die Luft wird dadurch „verdünnt“ und der Luftdruck im Halm sinkt. Auf der Flüssigkeit im Glas lasten Luft! Luft wiegt zwar nicht viel, aber die Kilometerdicke Luftsäule über dem Glas bringt auf 50 Kilogramm! (siehe „Handkantenschlag für Anfänger“ und „Wir tragen alle schwere Lasten mit uns herum“).

Sobald beim Ansaugen der Druck im Trinkhalm sinkt wird das Wasser gegen die Schwerkraft in den Halm gedrückt.

Eine Pipette funktioniert nach dem gleichen Prinzip: Beim Drücken auf die Gummikappe wird Luft aus der Pipette gedrückt. Tauchst du das Röhrchen ins Wasser und lässt die Gummikappe los wird die Luft in der Pipette verdünnt. Ist keine Pipette zur Hand kannst du auch eine Plastikflasche zusammendrücken und mit der Öffnung ins Wasser tauchen. Lässt du die Flasche los, steigt das Wasser in sie hinein.

Trinkhalm und Pipette funktionieren nur, wenn das Glas offen ist. Versuche es einmal mit einer geschlossenen und vollen Glasflasche! Dazu bohrst du, wenn kein passender, bereits durchbohrter Gummistopfen mit Glasröhrchen vorhanden ist, ein Loch in einen Korken und passt den Trinkhalm luft- und wasserdicht ein. Fülle die Flasche vollständig mit Wasser und

setze den Korken drauf. So sehr du auch am Trinkhalm saugst, das Wasser bleibt in der Flasche!

Ein Flugzeug fliegt, weil über den Tragflächen die Luft so verdünnt wird, dass der Luftdruck es von unten her anheben kann. Dazu mehr in den folgenden Abschnitten.

### **Noch einmal „Luftdruck“: Experimente mit der Spritze**

Halte den Daumen fest auf die Öffnung einer „leeren“ Spritze (ohne Kanüle natürlich!).

Drücke den Kolben fest herunter. Wenn du den Daumen wirklich fest auf die Öffnung drückst kannst du den Kolben nicht ganz auf dem Boden drücken.

Die Luft in der Spritze wird zusammengedrückt. Wir sagen der Luftdruck steigt. Und irgendwann ist der Luftdruck stärker als du! Wenn du die Öffnung der Spritze vorher in Seife bohrst kannst du mit dieser „Seifenpistole“ ziemlich weit schließen!

In einem zweiten Experiment drückst du den Kolben der Spritze fast ganz herunter und tauchst ihre Öffnung ins Wasser. Jetzt halte den Daumen fest auf die Öffnung und ziehe den Kolben langsam heraus! Die wenigen Luftteilchen in der Spritze werden auseinander gezogen, die Luft wird „verdünnt“. Sobald du die Öffnung freigibst schießt das Wasser nach dem gleichen Prinzip wie beim Trinkhalm – gegen die Schwerkraft – in die Spritze hinein.

Auch wenn du den Daumen nicht auf die Öffnung presst kannst du so Wasser in die Spritze saugen. Auch dann, wenn du sie mit durchgedrücktem Kolben ins Wasser tauchst.

Entscheidend ist, dass kein oder ein nur geringer Gegendruck vorhanden ist.

### **Handkantenschlag für Anfänger.**

Lege ein dünnes, schmales und langes Brett, z.B. einen Holzstreifen aus einer Obstkiste auf den Tisch und lasse es eine Handbreit über die Tischkante hinausragen. Schlage mit dem Handkanten kräftig auf die freie Seite. Pass gut auf, dass dich das Brett nicht trifft, denn es wird in hohem Bogen durch die Luft fliegen.



Beginne von vorne aber breite jetzt eine Zeitungsdoppelseite über den Tisch aus, so dass sie die auf dem Tisch liegende Seite des Bretts bedeckt. Schlage jetzt noch einmal kräftig und schnell (!) auf das freie Ende des Bretts. Es wird abbrechen, statt die Zeitung anzuheben oder zu zerreißen!

Wenn die Zeitung zusammengefaltet wird klappt der Trick nicht, obwohl sie die immer noch selbe Masse hat. Das Gewicht der Zeitung spielt überhaupt keine Rolle sondern das Gewicht der Luftsäule die auf der

Zeitungsfläche lastet. Das Gewicht der Luft, das mehrere Tonnen beträgt (siehe unten!) und die Trägheit, mit der die Luft zur Seite abfließt lassen das Brett durchbrechen!

### **Wir tragen schwere Lasten mit uns herum...**

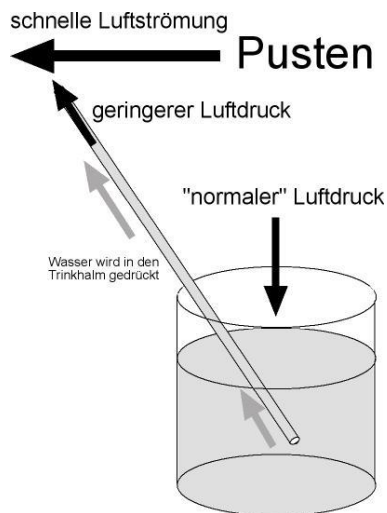
Pascal Altklug weiß, wie man sich mit schlaun Worten um das lästige Tragen von Einkaufsstützen herumdrückt. „Auf einem Quadratmeter der Erdoberfläche lastet ein Luftdruck von etwa 1000 Hektopascal. Das sind ungefähr 10 Tonnen Gewicht. Meine Schultern müssen etwa ein Achtel davon tragen, also ungefähr das Gewicht eines Autos. Einem Kind sollte man nicht mehr zumuten!“ Pascal hat richtig gerechnet:

1 Pa (Pascal) entspricht einer Gewichtskraft von 1 N (Newton) auf einem Quadratmeter Fläche. 1 N ist die Gewichtskraft, die – auf der Erdoberfläche - eine Masse von etwa 100 g ausübt. 1 hPa (Hektopascal) sind 100 Pa. Der „normale“ Luftdruck auf Meereshöhe variiert

zwischen etwa 960 und 1040 hPa. 1000 hPa = 100000 Pa entspricht einer Gewichtskraft von etwa 100000 N oder – auf der Erdoberfläche – der Gewichtskraft von 10000 kg Masse, also 10 Tonnen. Auf  $1\text{cm}^2$  lastet etwa 1 kg.

Auf das Trinkglas mit etwa  $50\text{cm}^2$  Oberfläche bezogen sind das 50 kg!

### Durch Pusten Wasser aus einem Glas saugen...?



Kannst du mit einem Trinkhalm Wasser aus einem Glas saugen, ohne ihn zu berühren? Ja, das geht, vorausgesetzt, du hast viel Puste: Stelle einen durchsichtigen Trinkhalm in ein mit Wasser gefülltes Glas. Puste kräftig über das obere Ende des Trinkhalms hinweg. Achte auf das Wasser: Mit etwas Übung steigt es im Halm hoch.

Der Grund dafür ist jetzt einfach einzusehen. Die beim Pusten schnell bewegte Luft reißt einen Teil der Luft aus dem Trinkhalm heraus, die Luft im Trinkhalm wird „verdünnt“. Jetzt kann der „normale“, auf dem Wasser lastende Luftdruck das Wasser gegen die Schwerkraft aus dem Trinkhalm herausdrücken.

### Verstecken gilt nicht!



Stelle eine brennende Kerze hinter eine senkrecht aufgestellte Flasche. Puste kräftig auf die Flasche. Die Kerze geht aus, obwohl sie hinter der Flasche steht... Wenn du die Flasche anpustest weichen die Luftteilchen dem Hindernis nach links und nach rechts aus. Auf der Rückseite, also im „Windschatten“ herrscht geringerer Luftdruck und die an der Flasche entlang sausenden Luftteilchen werden in diesen Bereich hinein gesaugt. Du kannst den Weg der Luftteilchen nachzeichnen wenn du feines Mehl vor die Flasche legst und das Mehl gleichmäßig in Richtung Flasche pustest. Dann wirst du das Mehl auch hinter der Flasche wieder finden! Mit einem ruhig gehaltenen Fön klappt das noch besser! Bei starkem Sturm führen kräftige Böen manchmal dazu, dass im Windschatten von Häusern Fenster heraus gesogen werden! Auch hier führt der Windstau auf der

Vorderseite zu einem Unterdruck auf der Rückseite. Auch im „Windschatten“ einer Litfasssäule weht einem der Sturm noch ganz schön um die Ohren...

Wenn du die Flasche mit feinen Papierstreifen beklebst und die Flasche mit dem Fön anpustest werden diese sich auch im „Windschatten“ an die Flasche schmiegen.

### Locke einen Ball aus dem Versteck

Stelle das Papprohr einer Toilettenpapierrolle senkrecht auf den Tisch und lasse einen Tischtennisball hineinfallen. Kannst du ihn aus dem Rohr herausholen, ohne das Rohr anzuheben und ohne den Ball zu berühren?

Es geht ganz leicht: Puste schräg über die Öffnung des Rohrs hinweg, der Ball wird im Rohr hochsteigen und über den Rand fallen. Mit etwas Übung kannst du ihn sogar über dem Rohr tanzen lassen!



Du kannst auch mehrere Eierbecher hintereinander stellen und den Tischtennisball durch Pusten von Eierbecher zu Eierbecher hüpfen lassen!

Warum das so ist, hast du am Beispiel des angepusteten Trinkhalms erfahren. Hier kommt zusätzlich noch die Form des Balls zum Tragen.

### Küssende Tischtennisbälle...



Lege zwei Tischtennisbälle nebeneinander auf eine Modelleisenbahnschiene und puste in den Zwischenraum hinein. Statt auseinanderzuweichen und der Luft Platz zu schaffen bewegen sie sich aufeinander zu und „küssen“ sie sich!

Wenn du zwei Tennisbälle nebeneinander aufhängst und dazwischenpustest bringst du auch sie zusammen.

Die zwischen die Bälle gepustete Luft muss durch einen engen Zwischenraum hindurch. So wie das aus einem

Wasserhahn laufende Wasser beschleunigt wird und weit durch den Raum spritzt wenn du den Daumen auf den Hahn drückst so wird in diesem „Engpass“ auch die Luft beschleunigt und „verdünnt“. Dadurch sinkt der Luftdruck zwischen den Bällen und sie werden vom äußeren, „normalen“ Luftdruck in den Zwischenraum geschoben.

Auch hier spielt die Form der Bälle eine wichtige Rolle. Mit Bauklötzen klappt das nicht!



### Werden Löffel vom Wasser angezogen?



Für dieses Experiment brauchst du einen Wasserhahn mit kräftigen Strahl und einen Löffel. Drehe den Wasserhahn ganz auf. Halte den Löffel ganz locker zwischen den Fingerspitzen so dass er frei hängen kann und bringe ihn mit der gewölbten Rückseite in die Nähe des Wasserstrahls. Mit Schwung wird der Löffel in den Wasserstrahl hineingezogen!

Bei einem ähnlichen Experiment, verbiegt ein geriebener, elektrisch aufgeladener Plastiklöffel einen dünnen Wasserstrahl. Hier jedoch geht es nicht um Elektrostatik: Jeder Löffel, egal ob aus Plastik, Holz oder Metall wird in den Wasserstrahl hineingezogen.

Die Erklärung dieses Phänomens: Der Wasserstrahl reißt Luftteilchen mit nach unten, dadurch fällt der Luftdruck zwischen Wasserstrahl und Löffel. Auf der anderen, konkaven

Seite des Löffels herrscht höherer („normaler“) Luftdruck. Der Löffel wird also nicht in den Wasserstrahl hineingesaugt, sondern von der anderen Seite her hineingeschoben.

### Luft als Klebstoff?

Nimm zwei Blätter Papier in die Hände, halte sie senkrecht vor den Mund und puste kräftig in den Raum zwischen den Blättern. Eigenartigerweise bewegen sich die Blätter aufeinander zu und scheinen aneinander zu „kleben“.

Auch hier wird die beschleunigte Luft „verdünnt“ und der Luftdruck zwischen den Papierseiten verringert. Der äußere, „normale“ Luftdruck drückt die Seiten zusammen.

## Die Tischtennisball-Kanone

Für dieses erstaunliche Experiment brauchst du nur einen Tischtennisball und einen Trichter. Wie hoch kannst du den Tischtennisball mit dem Trichter senkrecht in die Luft schießen? Die Form des Trichters ähnelt fast einem Kanonenrohr oder einer Raketenabschussbasis! Lege den Ball in den Trichter und blase kräftig hinein!

Leider wirst du den Ball nicht aus dem Trichter blasen können!

Auch wenn du den Trichter in die Waagerechte bringst und ständig weiter bläst bleibt der Ball im Trichter. Wenn du ganz kräftig pustest gelingt es sogar, kannst du den Trichter sogar senkrecht nach unten halten. Der Ball bleibt am Trichter „kleben“!

Wenn du pustest, muss die Luft durch den schmalen Spalt zwischen Trichter und Ball hindurch, wird dadurch beschleunigt und „verdünnt“. Der Luftdruck sinkt hier stark ab und der äußere, „normale“ Luftdruck drückt den Ball in den Trichter. Ob die Tischtennisball-Kanone wohl auf dem Mond funktioniert?

## Der Pustesauger



Wetten, dass du einen auf dem Tisch liegenden Bierdeckel durch Pusten vom Tisch heben kannst? Für diesen Trick brauchst du zwei Bierdeckel, ein Blatt Papier und etwas Klebstoff. Schneide ein Blatt Schreibpapier in der Mitte der Länge nach durch und rolle es zu einer stabilen Röhre zusammen. Etwas Klebstoff hilft dabei. Bohre ein kreisrundes Loch in die Mitte des einen Bierdeckels, stecke das Rohr hinein und verklebe es gut. Achtung: Das Rohr darf auf der Unterseite nicht überstehen und dicht schließen! Lege den zweiten Bierdeckel vor dich den Tisch,

decke ihn mit dem mit dem Rohr versehenen zweiten Bierdeckel ab und puste kräftig in das Rohr hinein.

Der untere Bierdeckel scheint am oberen festzukleben!

Übrigens: Mit einer Garnrolle, die du mit einer Seite auf ein kleines Blatt Papier stellst klappt das auch! Die Erklärung ist die gleiche wie bei der Tischtennisball-Kanone.

## Der Ball, der auf dem Fön tanzt



Halte einen eingeschalteten Fön so, dass er senkrecht nach oben bläst. Lege einen Tischtennisball oder einen Luftballon in den Luftstrom. Mit etwas Geschick kannst du sie dort schweben lassen.

Vielleicht kannst du sogar zwei Bälle gleichzeitig in der Luft tanzen lassen! Sie werden sich allerdings bald gegenseitig aus dem Luftstrom herausschlagen. Wenn du zwei unterschiedlich schwere Bälle nimmst klappt das besser!

Auch wenn du den Fön etwas neigst wird der Ball in der Luft bleiben. Je stärker der Fön ist, desto schräger kannst du ihn halten ohne dass der Ball aus dem Luftstrom herausfällt. Wenn man sich ein „Tor“ aus Draht biegt kann man so „Luftball“ spielen.

Die Erklärung, dass der Ball vom Fön nur nach oben gestoßen wird greift zu kurz. Warum weicht er dem Luftstrom nicht seitwärts aus und fällt herunter. Warum schwebt der Ball auch wenn der Fön schräg gehalten wird? Hier wäre doch zu erwarten, dass der Ball aus dem



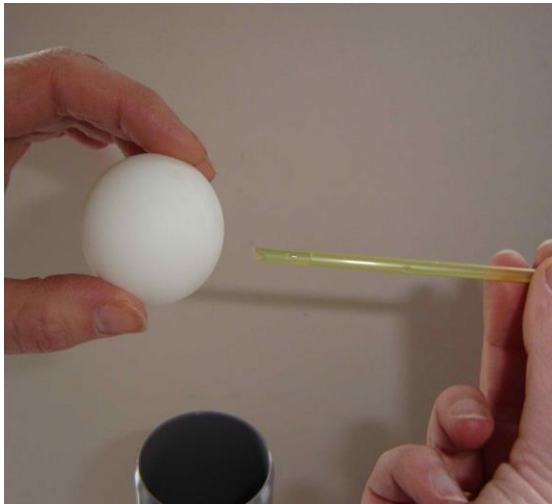
Luftstrom herausgetragen wird! Natürlich hat das alles wieder mit höherem und niedrigeren Luftdruck zu tun, aber dazu unten mehr.

### Es geht auch ohne Fön

Nimm einen Knicktrinkhalm, biege das kurze Ende nach oben und versuche, durch Pusten einen Tischtennisball in der Luft zu halten. Wahrscheinlich ist der Ball zu groß und zu schwer, dann forme Kügelchen aus Aluminiumfolie oder Papier.

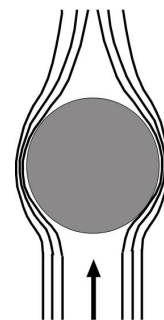
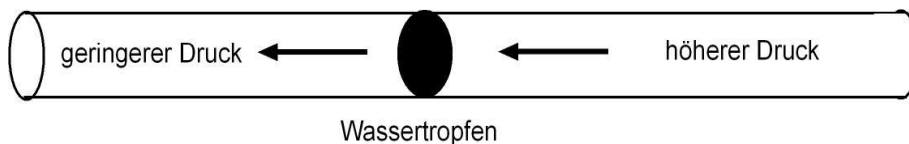
Mit einem Stück Wasserrohr, das an einer Seite mit einer Kappe verschlossen und mit einem kurzen „Schornstein“ versehen ist kannst du „Luftball“ spielen: Du musst nur einen Ring aus Draht über dem „Schornstein“ anbringen der dann als „Tor“ dient.

### Was passiert rund um den fliegenden Tischtennisball?



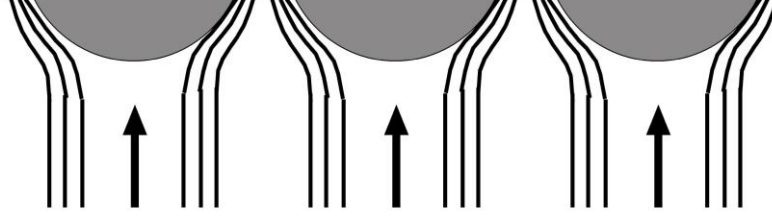
Sauge etwas Wasser in einen Trinkhalm hinein und bringe das Wasser durch Hin- und Herschaukeln in die Mitte des Halms. Halte den Tischtennisball in den Luftstrom des Föns. Halte den Trinkhalm waagerecht und bringe das eine Ende ganz nahe an den Tischtennisball. Der Ball scheint das Wasser anzuziehen! Achte auf das pfeifende Geräusch! Es wird immer höher je näher das Wasser an den Ball heranrückt. Der Ball scheint das Wasser anzuziehen und herauszusaugen! Und wieder hat es mit dem Luftdruck zu tun: Der Luftstrom des Föns trifft auf den Ball und an diesem Hindernis müssen die Luftteilchen vorbei. Dabei werden sie

beschleunigt so wie Wasserteilchen beschleunigt werden, wenn man einen laufenden Wasserhahn mit dem Daumen fast zudrückt. Die beschleunigte Luft reißt die Luft aus dem Trinkhalm heraus. Hier „fehlen“ jetzt Luftteilchen und der Luftdruck fällt. Auf der anderen Seite passiert das nicht, der Luftdruck bleibt „normal“. Der höhere „normale“ Luftdruck verschiebt das Wasser im Trinkhalm zum Ball hin.



Mit diesem einfachen „Luftdruckmesser“ kannst du die Umgebung des Wasserstrahls (s. o.) und später die Druckverhältnisse an Flugzeugflügeln untersuchen!

Die Strömungsverhältnisse rund um den Tennisball verhindern, dass er aus dem Luftstrom herausfällt: Zum einen schiebt ihn der Luftstrom nach oben. Darüber hinaus bildet sich über dem Ball, ähnlich wie hinter der angepusteten Flasche eine Zone geringeren Luftdrucks die den Druck von unten unterstützt. Droht der Ball nach rechts zu fallen wird seine linke Seite stärker angeströmt. Dadurch fällt der Druck auf der linken Seite und der Ball wird vom „normalen“ äußeren Luftdruck von rechts in die stabile Ausgangslage zurückgedrückt. Fällt



### Abgehoben....(1)

Halte ein Blatt Papier waagrecht vor deinen Mund. Puste kräftig über das Papier hinweg. Das Papier wird angehoben und flattert waagrecht im Wind.

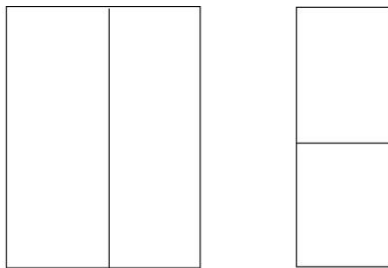
Auch dieser Versuch lässt sich mit dem unterschiedlichen Luftdruck über und unter dem Flügel erklären. Beim Pusten werden die Luftteilchen schnell über den Flügel hinweggeblasen. Der Luftdruck auf der Oberseite sinkt und der höhere („normale“) Luftdruck auf der Unterseite hebt den Flügel an.

### Abgehoben....(2)

Für den Bau eines Tragflügels brauchst du ein Blatt Papier (A4), zwei Knick-Trinkhalme, ein Brett, zwei dünne Stricknadeln, Klebstoff, Kneifzange.

Die Trinkhalme sollen gut über die Stricknadeln hinweggleiten können!

Knicke ein Blatt Schreibpapier (A4) der Länge nach in zwei gleiche Hälften. Verklebe die Kanten. Knicke den so entstandenen Papierstreifen entlang der kurzen Seite in zwei Teile.



Schiebe die obere Seite etwas zurück und verklebe den kurzen Rand der Ober- und Unterseite.

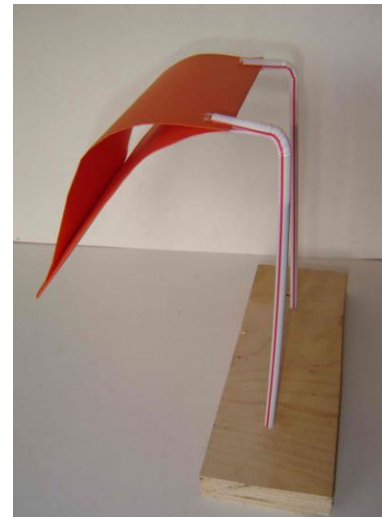
Lasse den Flügel gut trocknen.

Bohre zwei Löcher in das Brett. Die Größe der Löcher sollte etwas geringer als die Stärke der Nadeln sein. Der Abstand der Löcher sollte der Länge der Flügel-Vorderkante entsprechen.



Trenne mit der Kneifzange die Köpfe der Stricknadeln ab und stecke sie senkrecht in das Brett.

Schneide die kurzen Enden der beiden Knick-Trinkhalme so ein, dass ein Schnabel entsteht. Setze sie auf die Stricknadeln, bringe das kurze Ende in die Waagerechte und befestige die Vorderkante des Flügels mit etwas Klebstoff.



Jetzt puste über die Oberkante des Flügels hinweg. Mit etwas Geschick kannst du den Flügel so hoch steigen lassen, dass die Trinkhalme über die Stricknadeln hinausgleiten!

### Etwas Theorie...

Zwei Luftteilchen, nennen wir sie einmal „A“ und „B“, liegen in großer Höhe beieinander, „A“ etwas höher als „B“. Da trennt sie ein schnell bewegter Flugzeugflügel. „A“ wird unter den Flügel gezogen, „B“ rast über den Flügel hinweg.

Nun könnte man denken: Weil der Flügel ja oben stärker gewölbt ist, ist „B“'s Weg etwas länger als „A“'s. Bei gleicher Geschwindigkeit wäre „A“ dann früher am Ende des Flügels. Andere Leute könnten meinen, dass „B“ schneller wird, um „A“ am einzuholen.

Es ist alles viel komplizierter und selbst unter Fachleuten umstritten.

Wenn man die beiden unsichtbaren Luftteilchen, die viel zu winzig sind um sie mit den besten Mikroskopen der Welt verfolgen zu können farbig anmalen könnte, würde man feststellen können: „B“ ist, trotz des längeren Weges, schneller als „A“. Und damit nicht genug. Wenn „A“ an der Hinterkante des Flügels angekommen ist hat „B“ sich schon längst daran vorbeibewegt.

So einfach wie in dieser Geschichte ist das Ganze natürlich nicht, denn „A“ und „B“ sind nicht allein. Es unzählbar viele Luftteilchen da oben. Der die Luft zerschneidende Flügel nimmt ihnen Platz weg. Das gilt besonders für die "B"s weil die Oberseite des Flügels gebogen ist. Hier wird es eng und sie müssen sich gemeinsam um diese Kurve herumdrängeln. Dabei passiert genau das, was mit einem Fluss geschieht, wenn er plötzlich um eine Kurve fließen muss. Dort wo sich das Ufer dem fließenden Wasser in den Weg stellt wird es schneller! Bei dieser Beschleunigung wird der Abstand zu den nachfolgenden Teilchen größer mit der Folge, dass die Dichte abnimmt.

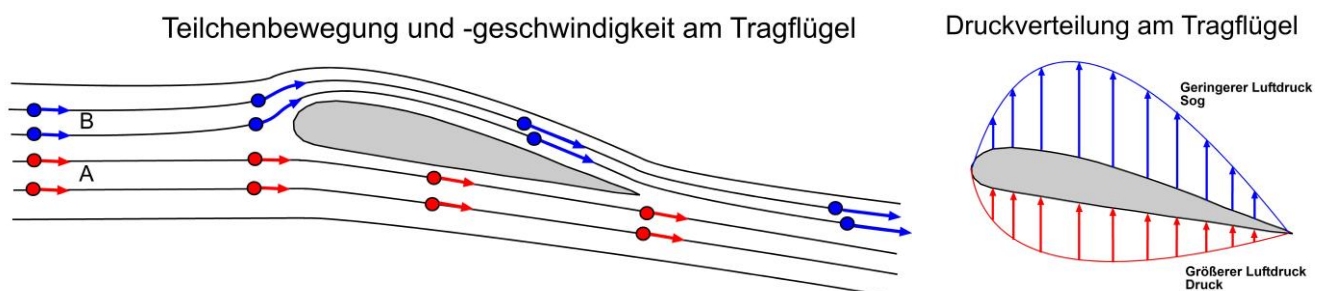
Größerer Abstand von Luftteilchen heißt nichts anderes als geringerer Luftdruck!  
 Die „A“s werden weniger aus ihrer Bahn gelenkt. Sie sind etwas langsamer und werden nicht so weit auseinander gerissen. Der Luftdruck unter dem Flügel ist daher etwas größer!  
 Der Flügel durch den geringeren Luftdruck nach oben gezogen.  
 Soweit, vereinfacht dargestellt, der nach einem Schweizer Mathematiker und Physiker Daniel Bernoulli 1700 - 1782) benannte Effekt.

Nicht nur die "B"-Teilchen, auch die "A"-s- tragen zum Auftrieb bei, denn alle sie werden durch den schräg angestellten Flügel nach unten abgelenkt und wirken so wie eine abwärts gerichtete Düse. Der nach unten gerichtete Druck bewirkt einen nach oben gerichteten Gegendruck (Newton: Actio et reactio). Hier unterstützt der Coanda-Effekt demzufolge schnell am Tragflügel vorbeibewegte Teilchen an dessen Oberfläche anschniegen und selbst seinem gekrümmten Verlauf folgen.

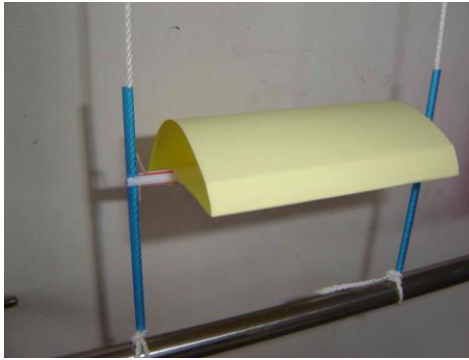
Dass wir also fliegen können liegt daran, dass unser Flugzeug mit seinen Tragflächen die Luft zerschneidet, Luftteilchen voneinander trennt und ihnen unterschiedliche Geschwindigkeiten und Richtungen verleiht. Ohne Luft kann ein Flugzeug nicht fliegen. Das viele Tonnen schwere Flugzeug, wird. zusammen mit der Besatzung, uns und unseren Koffern nach oben gezogen und oben gehalten. So dass wir nicht abstürzen. Aber nur so lange, wie es sich, durch Propeller, Düsen oder "Schwung" durch die Luft bewegt, schnell genug ist.

Segelflieger können das auch ohne Propeller oder Düsen. Beim Abwärtsgleiten nutzen sie die Thermik: Wenn die erwärmte Luft schneller aufsteigt als das Segelflugzeug sinkt wird es mit der Differenzgeschwindigkeit nach oben getragen. Andernfalls kann es beim kontrollierten Herabgleiten Geschwindigkeit aufnehmen.

*(Text und Grafiken korrigiert im Juni 2020)*



### Abgehoben....(3)



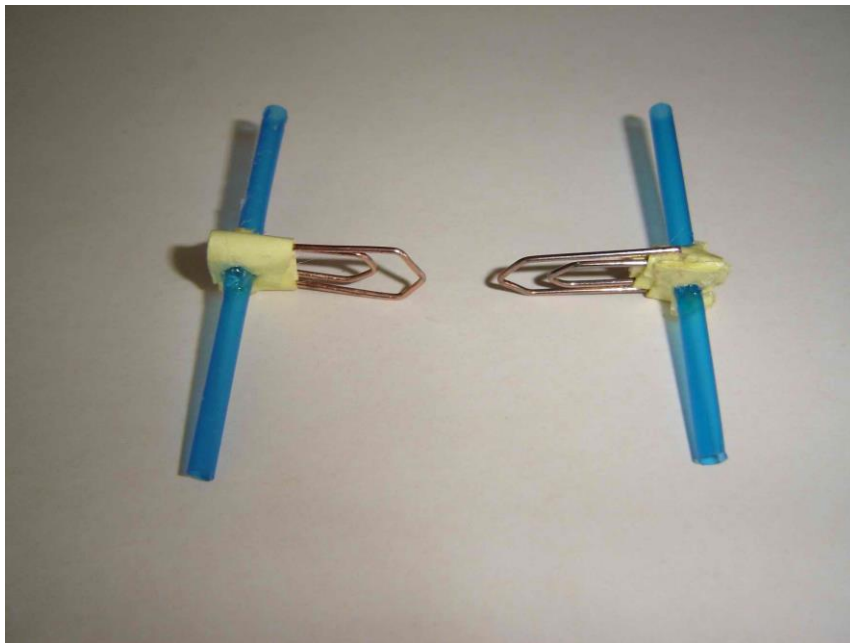
Du kannst mit deiner Puste den Tragflügel auch einen Meter oder mehr steigen lassen. Du musst ihn nur anders aufhängen:

Du brauchst zwei lange dünne Bänder, zwei einfache Trinkhalme und zwei Büroklammern.

Baue dir einen Tragflügel so wie im vorigen Abschnitt beschrieben. Ziehe jeweils ein Band durch einen Trinkhalm und befestige es am Boden und an der Decke. Mache das mit dem zweiten Band genauso. Der Abstand zwischen den Bändern sollte etwas

größer sein als die Vorderkante des Tragflügels und muss überall gleich sein.

Du kannst den Flügel auf verschiedene Weise aufhängen. Wir machen das mit Büroklammern, dann kann man den Aufhängepunkt verändern.



### Bumerang werfen!



Schau dir einen Bumerang genau an und vergleiche die Ober- und die Unterseite. Der Bumerang hat die Form eines dop-pelten Flügels und ein Teil seiner Flug-eigenschaften kannst du mit dem bekannten Flügelprofil, das heißt seiner gewölbten Ober- und seiner glatten Unterseite erklären. Warum der Bumerang, richtig geworfen, zu dir zurückkehrt ist ein kompliziertes Zusammenspiel vieler Kräfte.

Wir fertigen Bumerangs seit vielen Jahren aus dünnem Birkenlaminat mit Stich-, Laubsäge, Raspel, Feile und Sandpapier an. Hinweise dazu geben wir gerne mündlich.



## Ein Handhubschrauber zum Selbstbau



Aus einem schmalen Sperrholzbrettchen (Birkenlaminat) kannst du dir mit Hilfe einer Raspel, einer Feile und Schmirgelpapier einen „Handhubschrauber“ bauen der viele Meter hoch fliegen kann. Der „Handhubschrauber“ ist, ähnlich einem Bumerang ein Doppelflügel (Propeller).



Stecke einen angespitzten Stab in das Loch in der Mitte und drehe ihn ganz schnell. Dadurch wird der Doppelflügel in schnelle kreisende Bewegung versetzt, er gewinnt Auftrieb, löst sich vom Stab und schraubt sich in die Höhe. Eine Bauanleitung für den Handhubschrauber findest du in der Arbeitshilfe 19.03 des Schulbiologiezentrums.

### Auftrieb und Geschwindigkeit

Bisher haben wir Flügelprofile nur angepustet oder mit dem Fön zum Aufstieg gebracht. Beim antriebslosen Segelflugzeug oder Gleitdrachen kann der Auftrieb durch geschickte Nutzung von Schwerkraft (Fall) und Thermik (aufsteigende Luft) erzeugt werden. Papierflieger werden mit passendem Schwung abgeworfen. Bei den meisten Flugzeugen erzeugen Propeller oder Düsen den Vortrieb.

### Brummkreisel

Setze einen Propeller auf einen kleinen Elektromotor. Beides ist im Modellbaufachhandel erhältlich. Löte zwei lange Kabel an den Motor und verbinde ihn mit einem Trafo. Wenn du den Motor mit dem Propeller an einem langen Band an der Decke aufhängst wird er wie ein Brummkreisel („Karlssohn auf dem Dach“) durch den Raum sausen. Du kannst ihn mit dem Kabel führen. Gib ihm aber viel Platz!

### Seilbahn mit Rückstoß

Schiebe ein kurzes Stück eines Trinkhalmes auf einen Faden und spanne den Faden quer durch den Raum. Blase einen Luftballon auf, halte ihn gut verschlossen und befestige ihn mit einem Klebestreifen am Trinkhalm. Dann kann der Countdown beginnen!

### Die Cola-Rakete

Für diesen Versuch brauchst du einen großen, vernünftigen Menschen, der beim Start auf dich aufpasst, eine große Plastikflasche (1,5 – 2 l), einen passenden Korken (oder einen durchbohrten Stopfen), ein passendes Stück Aquarienschlauch, ein Fahrradventil, einen Bohrer, eine Luftpumpe, einen durchsichtigen Trinkhalm, Knetmasse und etwas Wasser, Durchbohre den Korken und passe das Fahrradventil mit etwas Klebstoff fest und luftdicht ein. Lass den Klebstoff gut trocknen.



Gib etwas Wasser in die Flasche, verschließe sie gut und lege sie auf eine waagerechte Unterlage, z.B. einen Tisch. Überlege gut, wohin die Rakete fliegen soll und achte darauf, dass keiner in der Flugbahn steht. Dann kannst du sie aufpumpen. Halte den Stopfen mit dem Ventil dabei gut fest. Flugweiten von 30 m sind keine Seltenheit!

## Heiße Luft und Auftrieb



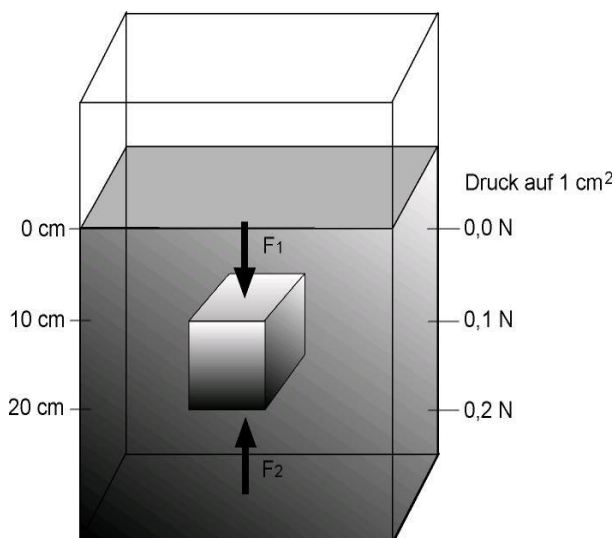
Warme Luft steigt auf. Weil sie leichter ist. Diese „Binsenweisheit“ stimmt aber nur dann, wenn sie wärmer und weniger dicht als ihre Umgebung ist. Und was heißt „leichter“. „Leichter“ als was? Was lässt ein „leichtes“, weniger dichtes Luftpaket aufsteigen?

Die Erklärung ist die selbe wie im Falle eines schwimmenden oder schwebenden Objekts im Wasser (vergleiche unsere Arbeitshilfen 19.59 „Auftrieb in der Grundschule: Schwimmen - Schweben – Untergehen“) und 19.61 „Neues aus Archimedesien“. Das Gewicht der Luft, das auf einem Objekt lastet (messbar als Luftdruck) nimmt mit der Höhe ab. Luft lässt sich komprimieren (Luftpumpe!) und so wird der größte Teil der Lufthülle auf einen kleinen Bereich über der Erdoberfläche zusammengedrückt. Auch im Wasser nimmt der Druck mit der Tiefe zu. Deshalb wird ein mit Wasser gefüllter Luftballon beim Absinken

immer kleiner.

Der Auftrieb, der den Heißluftballon in die Höhe steigen lässt erklärt sich dadurch, dass die heiße Luft in der Ballonhülle die „normale“, kältere Luft verdrängt. Das Innere des Ballons wiegt weniger als die vom Ballon verdrängte Luft gewogen hätte. Die Auftriebskraft errechnet sich aus dem Gewichtsunterschied. Je weniger dicht die Luft im Ballon im Verhältnis zur vom Ballon verdrängten Luft ist, desto stärker der Auftrieb. Daher stößt der aufsteigende, immer größer werdende Ballon bei abnehmendem Aussendruck in der Höhe an ganz natürliche Grenzen.

Entscheidend ist beim Auftrieb, wie im Wasser, dass der Druck unter dem Ballon größer ist als über dem Ballon. Die Luftsäule über dem Ballon ist nämlich kürzer, hat weniger Masse und übt folglich weniger Druck aus als die Luftsäule die über dem Erdboden liegt und auf die Unterseite des Ballons zurückwirkt.



An sehr kalten Wintertagen kann man eine große, dünne Plastiktüte als Ballon schweben lassen. Die Öffnung der Tüte wird durch einen schmalen Pappiring gestülpt, mit etwas Klebstoff fixiert und dann vorsichtig mit heißer Luft aus einer Heißluftpistole gefüllt.

Du kannst: auch einen Ring in Seifenblasenlösung tauchen und den Ring waagrecht über die Kerze halten. Oder mit Heißluft aus dem Fön oder der Heißluftpistole füllen.

Mit etwas Glück und Geschick kannst du die Seifenblasen so in die Höhe steigen lassen.

Kräfte  $F_1$  und  $F_2$ ), die auf einen im Wasser schwebenden Würfel wirken.  $F_1$  ist kleiner als  $F_2$ , der Auftrieb ergibt sich aus der Differenz (aus AH 19.59 „Auftrieb in der Grundschule: Schwimmen - Schweben – Untergehen“)