Begleitmaterial für einen Praktikumstag

Flug & Fliegen

für Schulklassen und Lerngruppen ab Jahrgang 5 **Detlef Kaack**

2. Auflage 2004, 1. Überarbeitung 2007

Grundinformation Zusammenhänge Technik Anregungen zur Erstellung von Arbeitsblättern Links, Tipps, Literatur, Angebote

Impressum

Herausgeber

Luftfahrtwerkstatt

Förderverein des Naturwissenschaftlich-technischen Zentrums Hamburg - Druck der 1. Auflage finanziert durch die Europäische Union (siehe Vorwort) -

Autor, Idee und Konzeption, Gestaltung und Realisierung

Detlef Kaack Luftfahrtwerkstatt

E-Mail: info@luftfahrtwerkstatt.de

Copyright

Das Material in diesem Heft ist für den Gebrauch an Hamburger Schulen gedacht und somit für ausschließlich diesen Zweck zum Kopieren, Vervielfältigen oder zur elektronischen Nutzung freigegeben. Auszüge stehen als Dateien unter www.luftfahrtwerkstatt.de zur Verfügung.

Jede anders geartete Nutzung, Vervielfältigung, Nachdruck, Veränderung oder elektronische Nutzung ist untersagt und muss mit dem Autor abgesprochen werden.

Dank

Für ihren persönlichen Einsatz in 2003/04 zur Realisierung der Luftfahrtwerkstatt danke ich: Wolf-Dieter Blass, Alexander Boeck, Walter Brozzo, Catharina Couwenbergs, Heike Elvers, Rainer Holtmann, Rudolf Jany, Clemens Krietemeyer, Peter Lohmann, Prof. Dr. Wolfgang Mackens, Dr. Jörg Mutschler, Tobias Pilsak, Günther Schütt, Klaus Reinsch, Werner Renz, Manfred Schmith, Gerda Wichmann.

Vorwort

Für dieses Werk gibt es zwei Anlässe:

Erstens gelten seit 2003 in Hamburg neue Rahmenpläne für den Unterricht in den Naturwissenschaften, die das Thema "Flug und Fliegen" in Jahrgang 5 oder 6 vorsehen. Diese neue Aufgabe für Lehrkräfte der Biologie und Physik gilt es zu unterstützen.

Zweitens ist die Luftfahrtindustrie in der Metropolregion Hamburg bedeutend und spielt gerade in dieser Zeit eine deutliche Rolle. Dieser Lage möchten wir in der Bildung gerecht werden um diese Bezüge zur Realität als Motivation für Physik und Technik zu nutzen. In Finkenwerder beginnt die Produktion des neuen Airbus A380 und auch die anderen Airbus-Modelle werden verstärkt produziert. Damit ist der Flugzeugbau ein wichtiger Faktor, auch bei den unzähligen Zulieferbetrieben. In Fuhlsbüttel stellt die Lufthansa Technik mit Triebwerkstechnik, Flugzeugwartung, -ausbau und reparatur den zweiten großen Luftfahrtbetrieb Hamburgs dar. Nicht zu vergessen die Flughafengesellschaft. Im Bereich Wissenschaft und Studium sind zu nennen die Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW), die Technische Universität Harburg (TUHH) und die Universität der Bundeswehr. Damit rundet sich das Bild in Sachen Luftfahrt ab, wobei bei weitem nicht alle Aspekte und Firmen genannt werden können.

Vor diesem Hintergrund ist die Initiative "Luftfahrtstandort Hamburg" zu sehen, die die Wirtschaftsbehörde betreibt. In diesem Rahmen ermöglichten finanzielle Mittel der Europäischen Union, Generaldirektion Regionalpolitik (Projekt RIS++ Hamburg, direkte EU-Internetadresse: http://europa.eu.int/comm/dgs/regional_policy/index_de.htm) den Aufbau von Hands-On-Praktika für Schulen zum Thema Flug und Fliegen: "DLR Schollab Hamburg" an der TUHH und "Luftfahrtwerkstatt", die momentan am NW-Zentrum Mümmelmannsberg angeboten wird (Adressen und Links im Anhang).



mit Förderung der Europäischen Kommission Generaldirektion Regionalpolitik

Die Luftfahrtwerkstatt (www.luftfahrtwerkstatt.de) versteht sich als Kompetenzzentrum zum Thema Luftfahrt für Schulen mit Schwerpunkt Sekundarstufe I. Durch Zusammenarbeit mit unzähligen Partnern kann Schulen neben den Praktika für Lerngruppen eine breite Unterstützung im Bereich Information, Wissen, Material sowie Besichtigungen und Fortbildungen geboten werden.

Ziel dieses Heftchens ist es, Schülerinnen, Schülern und Lehrkräften Informationen, Zusammenhänge, Erklärungen und Anregungen zum Thema Flug und Fliegen zu geben. Somit gibt es einfachere und schwierigere Sachverhalte und auch die Sprache ist für beide Zielgruppen gedacht. Auf Formeln und Berechnungen wird fast ganz verzichtet. Hierzu gibt es Literaturtipps in diesem Heft und weitere Materialien auf der Homepage.

Weiterhin gibt es Anregungen zur Erstellung von Arbeitsblättern zu eigens entwickelten oder ausgewählten Experimenten und Versuchen, die u.a. mit den Schülerarbeitskästen "Flug & Fliegen" der Firma Cornelsen Experimenta durchgeführt werden können. Diese Ausrüstung steht in der Luftfahrtwerkstatt zur Verfügung und kann auch in der Ausleihstation des Landesinstituts für Lehrerbildung und Schulentwicklung (Felix-Dahn-Str. 3, 20357 Hamburg) von Schulen ausgeliehen werden. Weitere Informationen und Details sowie eine ladbare Version dieses Heftchens finden Sie unter www.luftfahrtwerkstatt.de und www.li-hamburg.de/physik sowie unter www.schul-physik.de.

Detlef Kaack

(Idee, Konzeption und Aufbau der Luftfahrtwerkstatt, Kooperationen mit Industrie und Hochschulen) Hamburg im September 2004 und Oktober 2007 info@luftfahrtwerkstatt.de



Das Fliegen

Um zu fliegen, muss man die Schwerkraft überwinden, die uns immer wieder zur Erde zieht.

Es gibt bisher keine Möglichkeit, die Schwerkraft abzuschalten oder auszublenden. Dies sieht man nur in Science Fiction Filmen. Ob dies eines Tages möglich sein könnte, ist unklar, denn wir Menschen wissen dazu noch nicht genug über Physik.

Bisher hat man die Schwerkraft noch nicht verstanden (Raumzeitkrümmung oder Gravitonen?). Man weiß aber genau, wie sie wirkt und kann sie sehr genau berechnen. Solange man aber nicht die genaue Ursache kennt, kann man auch nicht in ihre Wirkung eingreifen.

Also zieht uns die Erde immer zu sich hin. Um zu fliegen, muss man also durch eine Kraft hoch gehoben und gehalten werden. Diese Kraft kann ein Kran ausüben aber das ist natürlich unpraktisch. Es gibt bessere Möglichkeiten:

Schwebe- und Flugverfahren:

Magnetische Kräfte wirken ohne Berührung. Sie können anziehend und auch abstoßend wirken. So kann man in geringer Höhe fliegen.

Beispiel: Magnetschwebebahn Transrapid



 Man kann in der Luft wie Löwenzahnsaat (Pusteblume) treiben, z.B. mit einem Fallschirm: Schweben in der zähen Luft. Beispiele: Fallschirm, bestimmte Samen, Pollen, Nebel, Rauch, Spinne mit Treibnetz



3. Man kann etwas so leicht machen, dass es wie eine Blase in der Luft aufsteigt: **Auftrieb durch geringere Dichte**. Beispiele: Heißluftballon, Gasballon, Zeppelin



 Man kann etwas so stark nach unten pusten lassen, dass man nach oben abgestoßen wird: Auftrieb durch Rückstoß.
 Beispiele: Rakete, Senkrechtstarter, Schleudersitz, Space Shuttle beim Start



5. Man kann die Luft auch unter einem Fahrzeug zusammendrücken und auf ihr gleiten: Auftrieb durch Staudruck.

Beispiele: Luftkissenboot (Hovercraft), Bodeneffektgleiter (Ekranoplan / WIG)



6. Man kann die Luft durch geschickte Strömung um einen Flügel eine Kraft nach oben ausüben lassen, sodass sie ihn hebt:

Auftrieb durch Aerodynamik.

Beispiele: Flugzeug, Hubschrauber, Drachen, Vogel, Fledermaus, Ahornsaat, (zum Teil Ekranoplan)



7. Überschallflug: Auch Aerodynamik, aber hier wird die Luft stärker zusammengedrückt (komprimiert) und es treten starke Druckwellen auf, etwa wie die Bugwelle eines Schiffes. Alle Formen müssen anders sein, damit der Auftrieb optimal ist und die Flügel und das Seitenruder nicht brechen. Der Rumpf ist spitzer. Das Flugzeug wird beim Fliegen warm durch Luftreibung. Andere Triebwerke sind nötia.



Beispiele: Concorde, Tupolev 144, Militärjets wie MRCA Tornado, F16, Space Shuttle

beim Landeanflug

8. Man kann so flattern, dass man sich von seinen eigenen Luftwirbeln abstößt.

Beispiele: Bestimmte Insekten, Kolibris.



9. Man kann "sich" im Weltraum geschickt frei fallen lassen, sodass man um die Erde herum fällt (Umlaufbahn).

Beispiele: Satelliten, ISS (International Space Station), Space Shuttle in der Umlaufbahn.



In der Luftfahrtwerkstatt beschäftigen wir uns kaum mit den Punkten 1, 7, 8 und 9. Der wichtigste Punkt für uns ist Punkt 6 (Aerodynamik).



Magnete stoßen sich ab oder ziehen sich an. Dies ist völlig berührungslos und damit in seitlicher Bewegungsrichtung kraftfrei.

Vorschlag: Hantiere mit zwei starken Magneten, die sich abstoßen.

Supraleiter-Modellbahn

Bei der Supraleiter-Modellbahn stößt sich der "Magnet" in der Bahn (Supraleiter) von den Magneten in der Schiene ab

Siehe Film Supraleiter-Modellbahn (Universität Dresden, zu beziehen über die Luftfahrtwerkstatt)



Einfache Erklärung:

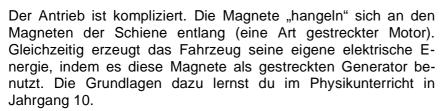
Die Schiene ist aus einer langen Reihe genau gleicher Magnete gebaut. Das Magnetfeld ändert sich also bei Bewegung in Richtung der Schiene nicht.

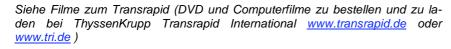
Das Magnetfeld ändert sich aber stark, wenn man sich der Schiene nähert oder seitlich von der Spur abweicht.

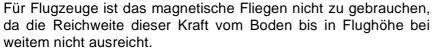
Der Supraleiter hält sich von allein in immer der gleichen Stellung über der Schiene, er rutscht auch nicht seitlich weg. Nur nach vorn und hinten kann er ohne Kraft bewegt werden. Nur die Luft bremst ein wenig. Die perfekte Bewegungsfreiheit, fast ohne Reibung!

Magnetschwebebahn Transrapid

Beim Transrapid greift das Fahrzeug seitlich um die Schiene und man lässt Magneten durch Anziehung zwischen Schiene und Tragmagnet das Fahrzeug heben. Seitlich sorgen Führmagnete für die richtigen Abstände. Hier ist alles elektronisch geregelt.







Zwar reicht die magnetische Kraft eigentlich unendlich weit, sie nimmt aber je nach Form des Magneten sehr schnell in ihrer Stärke ab, von einem normalen Magneten aus quadratisch mit dem Abstand ($F \sim 1/r^2$). Nach wenigen Zentimetern Abstand ist die Kraft deshalb schon sehr klein.









Begleitmaterial für einen Praktikumstag für Schulklassen ab Jahrgang 5

<u>Hinweis:</u> Die hier erwähnten Versuche sind in der Arbeitsblattsammlung beschrieben, die im Praktikum benutzt wird. Viele finden Sie im Anhang dieses Hefts.

Viele Anregungen finden sich auch in der Handreichung zum Thema "Faszination Fliegen".

Vorversuche und Themen zur Luft

LU 1: Luft braucht Raum a siehe Anleitung

LU 2: Luftballon in der Flasche siehe Anleitung

Physikalische Größen

Masse

Die Masse m wird in Kilogramm (kg) gemessen.

Masse ist die Eigenschaft eines Körpers, die sich nicht ändert, wenn er auf dem Mond, in einer Erdumlaufbahn oder auf dem Mars ist. Auch nicht, wenn er fällt. 50kg bleiben 50kg, egal wo man ist oder wie man sich bewegt.

Je größer die Masse m ist, desto schwerer ist es, einen Körper zu beschleunigen. "Beschleunigen" heißt, schneller oder langsamer machen oder die Fahrtrichtung ändern (Kurve). Man braucht bei größeren Massen dazu eine größere Kraft F.

Andererseits ist die Gewichtskraft G des Körpers mit größerer Masse auch größer.

Einschränkung:

Das gilt aber nicht für Geschwindigkeiten, die sich der Lichtgeschwindigkeit c nähern. (Lichtgeschwindigkeit fast genau: c = 300.000 km/s = 1.080.000.000 km/h).

Nähert sich ein Körper der Lichtgeschwindigkeit c wie das Raumschiff im Film "Star Trek", so vergrößert sich seine Masse m, siehe Einsteins Relativitätstheorie (Physik Oberstufe). Unsere Technik kann Fahrzeuge allerdings nicht so schnell machen – kein Thema also beim Fliegen. Im Forschungszentrum DESY in Hamburg werden jedoch täglich Atomteilchen so schnell bewegt. Im Film "Star Trek" fliegen die Raumschiffe sogar noch schneller als Lichtgeschwindigkeit ("WARP-Geschwindigkeit"), das ist in der Realität bisher undenkbar. Mit Lichtgeschwindigkeit hätte ein Raumschiff unendlich viel Masse und wäre also unendlich schwer.

Gewicht G oder F_g, gemessen in Newton (N)

Die Gewichtskraft merkt man daran, wie stark etwas nach unten drückt. Eine Waage kann dies messen. Gewichtskraft hängt von der Masse ab und von der Erdanziehungskraft. Für die Erde bauen wir deshalb Waagen, die uns netterweise gleich die Masse anzeigen, denn die Erdanziehungskraft ist ja immer gleich.

Am Nord- und Südpol ist die Erdanziehungskraft etwas größer, am Äquator etwas kleiner, aber das fällt kaum auf. Aber auf dem Mond ist sie sechsmal schwächer als auf der Erde.

In der Erdumlaufbahn oder im freien Fall – das ist quasi das Gleiche - merkt man sie nicht, damit ist dann die Gewichtskraft Null. Beispiele: Astronaut in der ISS oder du beim Sprung vom 3m-Brett oder ganz hinten in einer Schiffsschaukel im oberen Umkehrpunkt.

Ausdehnung bei Erwärmung

Luft dehnt sich aus, wenn sie erwärmt wird. Beim Abkühlen zieht sie sich wieder zusammen.

Warme Luft ist leichter als kalte Luft

LU 3: Ausdehnung von Luft bei Erwärmung a siehe Anleitung

Leere Glasflasche, Seifenwasser mit viel Spülmittel

Verschließe die leere Flasche mit einer Seifenblase (Finger eintauchen und herüberwischen). Erwärme dann die Flasche mit deinen Händen. Beobachte die Seifenblase: Sie drückt nach oben.

Jetzt fehlt etwas Luft in der Flasche, damit ist der (warme) Inhalt leichter.



Die Dichte ist kleiner aber das Volumen bleibt gleich. Die Masse und das Gewicht in der Flasche sind jetzt kleiner.

- Die warme Luft wird größer.
- In die Flasche passt jetzt weniger Luft.
- Der Inhalt ist leichter geworden.
- Man sagt, ihre "Dichte" ist jetzt kleiner.

Dichte ρ ("rho")

gemessen in Gramm pro Kubikzentimeter (g/cm³) oder Kilogramm pro Liter (kg/L)

DI 1: Safttütenversuch siehe Anleitung und Anhang

Die gleich große Safttüte mit ihrem Volumen von 1Liter kann also verschiedene Massen haben. Brennspiritus und Wasser sind also unterschiedlich: Bezogen auf das Volumen 1L ist Brennspiritus leichter, hat weniger Masse. Man sagt, seine Dichte ist kleiner.

Dichte beschreibt also, wie viel Masse (und damit Gewicht) in ein bestimmtes Volumen passt. Dichte ist Masse pro Volumen.

Volumen ist ein anderes Wort für Rauminhalt.

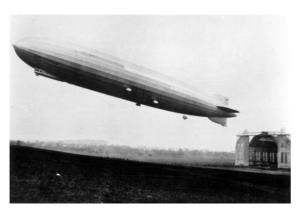
Bei gleichen Volumina sind Flüssigkeiten oder Gase mit kleinerer Dichte also leichter als solche mit größerer Dichte.

Auftrieb (Kraft F_a)

Eine Milchtüte voller Wasser treibt einfach so unten im Wasser. Sie steigt nicht auf und sinkt nicht weiter ab.

Eine Milchtüte voller Brennspiritus steigt nach oben bis sie an der Oberfläche ist. Brennspiritus hat eine kleinere Dichte als Wasser. Diese Tüte hat dann weniger Masse und damit weniger Gewicht als das Wasser, das sonst ihren Platz hätte. Damit steigt sie hoch, wie die leichtere Schale einer Balkenwaage.

Eine Milchtüte voller Luft ist so leicht, dass sie wie eine Blase an die Oberfläche schnellt und



dann noch oben herausgedrückt wird. Das kennst du vom Ball beim Baden. Luft hat eine extrem kleine Dichte.

Dinge, die insgesamt leichter sind als das von ihnen verdrängte Wasser, steigen im Meer nach oben, Beispiel: eine Blase.

Das Archimedische Prinzip

Dinge, die insgesamt leichter sind als die von ihnen verdrängte Luft, steigen im "Luftmeer" nach oben wie eine Blase im Wasser.

Dies benutzt man bei Ballons und Luftschiffen.

Kraft F (gemessen in N)

Kraft erkennt man daran, dass entweder etwas verformt wird oder dass sich ein Körper in seiner Geschwindigkeit verändert: Er wird schneller, langsamer oder ändert seine Richtung. Passiert nichts von dem, so wirkt gerade keine Kraft.

Kraft verformt unsere Haut und das Fleisch, das merken wir als Drücken, Last, Schlag oder Zug. Merken wir es nicht, so wirkt gerade keine Kraft.

Kraft misst der Physiker in Newton (N).

Versuche zur Kraft:

Modellauto mit Finger beschleunigen, bremsen, ablenken. Schwamm mit Finger oder Gewichtsstück eindrücken.



Druck p (gemessen in Pa)

- Druck hat mit Kraft zu tun und mit Fläche.
- Je mehr Kraft wirkt, desto höher der Druck.
- Wirkt die gleiche Kraft auf eine kleinere Fläche, so steigt auch der Druck.
- Große Kraft und kleine Fläche: Hoher Druck.
- Kleine Kraft und große Fläche: Kleiner Druck.
- Druck ist Kraft pro Fläche ($p = \frac{F}{A}$).
- Extrembeispiele: Die Nadelspitze, die Rasierklinge.

Drückt man Luft zusammen, so hat sie einen größeren Druck. Damit wirkt eine größere Kraft auf ein Flächenstück (z.B. den Spritzenkolben oder den Kolben der Fahrradpumpe).

Luftdruck

Wir leben in einem "Luftmeer" wie Fische im Wasser.

Vergleiche: Auftrieb, Strömung, Verschmutzung, Fortbewegung, Sicht.

Der Unterschied zum Wasser: Luft kann zusammengedrückt werden (ist kompressibel), Wasser fast nicht. Daher ist das Luftmeer bei uns am Boden viel dichter als weiter oben bei den Wolken. Das ist im Wasser-Meer nicht so.

Merke: Die Luft ist am Boden stärker zusammengedrückt als hoch oben, wo die Flugzeuge fliegen. Der Luftdruck wird umso kleiner, je höher man fliegt.

Versuche dazu: Arztspritze oder Luftpumpe zuhalten und drücken.

<u>Ursache des Luftdrucks:</u> Über einer Fläche am Erdboden steht eine Luftsäule, die bis ins Weltall reicht. Ihr Gewicht bewirkt unseren Luftdruck.

<u>Luftdruckschwankungen:</u> Eine Veränderung der Dichte dieser Luftsäule bewirkt eine Änderung des Luftdrucks.

Warme Luft ist leichter, in dem Fall sinkt der Luftdruck im Freien. Wir haben dann ein Tiefdruckgebiet ("Tief", "T"). Dies kann man im Wetterbericht sehen.

Schüler messen und überprüfen den Luftdruck weltweit im GLOBE-Programm www.globe.gov, Kontakt in Deutschland unter www.globe-germany.com.

Unterdruck

Geben wir einer bestimmten Luftmenge mehr Raum (Volumen), so dehnt sie sich aus und wird dünner.

Sie drückt dann auch nicht mehr so stark, hat also einen kleineren Druck.

Man sagt "Unterdruck", wenn der Druck kleiner ist als der normale Luftdruck am Boden.

<u>Merke:</u> Luft, der man einen größeren Raum gibt, ohne neue Luft hereinzulassen, zeigt einen "Unterdruck".

LU 4: Halb mit Luft gefüllte Spritze zuhalten und Kolben nach außen ziehen. *\siehe Anhang LU 5: Schnelles Öffnen einer Weithalsflasche mit Saft. *\siehe Anhang siehe Anhang Saft spritzt heraus. Überlege dir, wie man das erklären kann und besprich dies im Unterricht.



Vakuum

Vakuum kann erzeugt werden, indem man immer wieder mehr Platz schafft, sodass die Luft aus einem Gefäß ungehindert heraus kann. Das tut sie von selbst, da sich die Luftteilchen wie kleine Flummibälle gegenseitig abstoßen und sich voneinander entfernen wollen. Luft dehnt sich immer von selbst so weit aus, wie sie kann. Im Weltraum verteilt sie sich extrem gut, sodass sie nicht mehr zu finden ist. Eine Pumpe zum Auspumpen ist also einfach ein Gerät, das immer wieder neu Platz schafft! Es entfernt Stück für Stück etwas Luft und gibt der Restluft immer wieder neuen leeren Platz zum Ausdehnen. Dies nennen wir dann "Saugen", das bedeutet nur: Neuen Platz schaffen. Ist die Luft irgendwann ganz entfernt, so heißt der leere Raum Vakuum. Ganz schaffen unsere Pumpen das meist nicht, je nach Güte der Pumpe.

Öffnet man ein Gefäß mit Vakuum, so strömt die Luft sehr schnell hinein, da unser Luftmeer ja genug Vorrat hat und unter Druck steht. Ist das Gefäß mit Vakuum zu schwach gebaut, so drückt unsere Außenluft es einfach zusammen. Ist es aber mit Luft gefüllt, so drückt die Luft auch von innen und damit bleibt das Gefäß unbeschädigt.

Merke:

- Eine Vakuumpumpe ist ein Gerät, das für die Luft immer mehr Platz schafft.
- Platz schaffen nennen wir "saugen".
- Der leere Raum ohne Luft heißt Vakuum.
- Ein Vakuum erzeugen heißt "evakuieren".

LU 4: Evakuierung einer Einweg-Getränkeflasche aus Kunststoff. ★ siehe Anhang Technische Anwendungen: Pumpen, Laubgebläse, Staubsauger, Trinkhalm

Wind und Fahrtwind

Es ist egal, ob du stehst und Wind weht oder ob die Luft steht und du läufst. Die Ohren rauschen gleich stark, die Haare wehen, die Jacke bläht auf. Ein Drachen oder das Modellflugzeug hebt in beiden Fällen ab.

Wind oder Fahrtwind oder eine Mischung aus beiden ist das, was auf dich wirkt. Auch für alle Dinge, die fliegen, ist das so.

Auch für andere Fahrzeuge, die Luft nutzen, wie Segelboote, Windsurfbretter, Eissegler, Strandsegler auf Rädern und den Sport "Kiting" gilt dies.

Die Mischung von Fahrtwind und Wind heißt "scheinbarer Wind". Dieser allein ist wichtig für die Aerodynamik! Nur die Geschwindigkeit und ihre Richtung relativ zur Luft ist interessant. Der Erdboden spielt keine Rolle mehr.

Merke:

- Beim Fliegen ist uns nur der scheinbare Wind wichtig, eine Mischung aus Wind und Fahrtwind.
- Der Erdboden spielt keine Rolle.
- Statt den Fahrtwind zu nutzen, kann man mit Wind das Gleiche erreichen. (Zum Beispiel für einen Flugzeugstart oder im Versuch wie in der Luftfahrtwerkstatt).

Beispiele:

Die Geschwindigkeit über dem Boden und z.T. die Flugrichtung verändern sich bei Gegenwind, Seitenwind und Rückenwind.

Vor dem Landen bei **Seitenwind** ist die **Flugrichtung** immer gegen den "scheinbaren Wind" gerichtet, also **schräg zur Landebahn**. Nur ein schneller Richtungswechsel kurz vor dem Aufsetzen verhindert einen Unfall bei der Landung.

Fragen:

- Landungen und Starts macht man immer möglichst gegen den Wind, warum?
- Der Gegenwindkurs beim Segeln kann bestenfalls etwa 45° gegen den realen Wind sein. Mit schnellen Katamaranen oder Surfbrettern ist er anders als mit langsamen Segelbooten. Erkläre.



Viskoses Schweben als Nutzung der Luftreibung

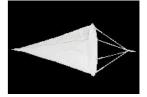
LW 1: Baue einen Modellfallschirm mit Papiertaschentuch. \(\sigma \) siehe Anleitung

LW 2: Langsames Sinken siehe Anleitung

Langsames Sinken

Beispiele aus Technik und Natur:

- Spinne mit Flug-Netz,
- · Pollen, Rauch, Staub, Nebel,
- Pflanzensamen (Löwenzahn, Pappel, Rohrkolben),
- · Segel mit Wind direkt von hinten,
- · Windmessgerät,
- Fallschirm (für Menschen, für Dinge, im Segelflug-Schleppseil, für Lasten von Wetterballons, Bremsfallschirm bei Jets)
- Treibanker bei Segelyachten



Luftreibung, Luftwiderstand

LW 4: Luftwiderstand im Strömungskanal 🔌 siehe Anhang

Vergleichswerte verschiedener Körper:

Je größer dieser Vergleichswert ist, desto schwerer kann der Körper bei gleicher Geschwindigkeit durch die Luft bewegt werden. Körper mit kleinen Zahlen "flutschen" also leichter durch die Luft. Wir geben dem idealen Strömungskörper (Tropfenform) den Wert 1. Alles bezieht sich auf Körper mit gleicher Querschnittsfläche (von vorn gesehen).

Körperform	Strömungswidersta	nd (relativ)
Strömungskörper	-	1
Zylinder gerundet länglich		2
Kugel		8
Fläche quer		20
Halbkugel, Öffnur	ng vorn	24
Halbkugel, Rundu	ing vorn	6

Ein Segel, das quer zum Wind steht und voll vom Wind angeblasen wird, hat also einen Strömungswiderstand, der zwischen 20- und 24-mal so groß ist wie der eines Strömungskörpers mit gleicher Querschnittsfläche!

Gute Tricks, um die Strömung zu verbessern

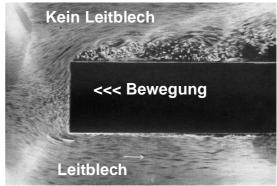
Bei Fahrzeugen und erst recht bei Flugzeugen ist der Strömungswiderstand wichtig. Beim Flügel ist er extrem wichtig.

Eine gerade Platte hat ein sehr schlechtes Verhalten in Strömungen.

Auch Fahrzeuge mit gerader Front verhalten sich ungünstig in Luftströmungen, sie zeigen einen großen Luftwiderstand, sind also schwer zu bewegen und das benötigt unnütz viel Energie. Welche Form rutscht besser durch die Luft?







Die Abbildungen zeigen Objekte im Strömungskanal. Sie bewegen sich nach links bzw. das Medium strömt nach rechts. Von links: Platte, Platte mit Leitblechen, Quader bzw. Tank mit Leitblech unten und ohne oben.

Für Fahrzeuge mit gerader Front gibt es einen Trick, der die Luft umlenkt, Wirbel vermeidet und den Luftwiderstand fast halbieren kann! Der Wirbelbereich wird dadurch schmaler. Leitbleche zwingen die Luft, die Strömungsrichtung zu ändern und wieder laminar am Körper entlang zu strömen, statt von der Front aus seitlich vom Körper weg zu strömen und eine Wirbelstraße entstehen zu lassen (Bild rechts).

Bei den schnelleren Dampflokomotiven hatte man diese Erkenntnis der Strömungsphysik schon in den 30er Jahren angewandt. Unten siehst du ein Modell ohne und eines mit Leitblechen.



Die wichtigen Anwendungen bei Flugzeugen wie z.B. Vorflügel findest du unter **Erklärungen** am Ende dieses Begleittexts.



Das **Fahrwerk eines Flugzeugs** bremst enorm. Daher kann man es bei allen schnelleren Flugzeugen einklappen.

Hier sieht man das Fahrwerk einer Boeing.

< vorn

Mitte >







Stabilisierung und Steuerung beim Fliegen

Papprakete

RA 1: Startrampe der Papprakete bauen asiehe Anlage

RA 2: Leitwerk an Papprakete anbauen, Spitze beschweren 🔌 siehe Anlage

RA 3: Vergleichende Flugversuche der Papprakete und der Papphülse 🔪 siehe Anlage

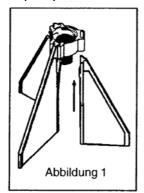
Rückstoß

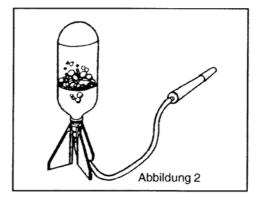
Modelle/Beispiele des Rückstoßes:

Eine laufende Dusche, die sich von selbst bewegt, ein Feuerwehrschlauch ist kaum zu halten, offener Luftballon, Luftballonauto, vom Boot ins Wasser springen...

Die Wasserraketen

<u>Material:</u> Kleine Rakete, Pumpe, Kunststoff-Getränkeflasche, Leitwerke mit Verschraubung, Schlauch, Fahrradpumpe, Wasserkanister





Für die kleine Rakete und die Flaschenrakete gelten:

Der Tank muss halb mit Wasser gefüllt werden, über dem Wasser muss Druckluft sein. Diese bringen wir durch Aufpumpen hinein.

Beim Flug drückt die Druckluft das Wasser hinaus, die Rakete stößt sich vom Wasser ab und wird nach oben gedrückt.

Wir testen die Raketen im Versuch RA 10 später auf dem Sportplatz SP 1. * siehe Anhang

Die Sylvesterrakete

Durch Abbrennen des "Weißpulvers" in einer unten offenen Pappröhre entwickeln sich Gase und strömen schnell unten heraus.

Weißpulver ist eine Mischung, die dem Schwerzpulver ähnlich ist, sie brennt etwas langsamer ab und entwickelt dabei sehr viel heißes Gas, das viel Platz benötigt. Die Rakete stößt sich von ihren Gasen ab und wird so nach oben gedrückt.

Der lange dünne Holzstab dient als billiges Leitwerk, damit die Rakete ihre Richtung behält.

Raketenmotoren

Die üblichen Raketenmotoren verbrennen meist Wasserstoff mit reinem Sauerstoff und erzeugen damit eine Flamme, die sehr viel sehr heißen Wasserdampf erzeugt, von dem sich die Rakete abstößt.

$$2 H_2 + O_2 \rightarrow 2 H_2O$$

Der dicke rote Tank der Space Shuttle enthält Wasserstoff und Sauerstoff, natürlich getrennt. Wenn er leer ist, wird er abgeworfen und verglüht in der Atmosphäre.

Die Raketenmotoren sind regelbar. Man kann sie an- und auch abschalten und ihre Strahlrichtung etwas lenken.

Beispiele: Ariane (Frankreich), Space Shuttle (USA), Titan (USA), Proton (Russland).



Booster der Space Shuttle / Feststoffraketen

Auch die beiden seitlichen Raketen ("Booster") der amerikanischen Space Shuttle sind Feststoffraketen, ähnlich einer riesigen Sylvesterrakete, jedoch mit anderem Brennmaterial. Einmal gestartet kann man sie nicht wieder abstellen. Sind sie ausgebrannt, so werden sie abgeworfen. Dies geschieht noch in einer Höhe, dass sie an Fallschirmen zur Erde zurück fallen und so können sie wieder aufgearbeitet werden.

Space Shuttle: Seitenbooster stoßen unten Verbrennungsgase heraus.

Dazu kommen die Raketentriebwerke des Shuttle, hier verbrennt Wasserstoff mit Sauerstoff aus dem dicken Tank zu heißem Wasserdampf.

Raketen stoßen sich von ihren eigenen Gasen ab!

Senkrechtstarter

Der englische Senkrechtstarter "Harrier" ist ein Flugzeug, das seine leistungsstarken Triebwerke nach unten pusten lassen kann und sich dadurch nach dem Raketenprinzip aus dem Stand hoch drückt.

Danach klappt er den Luftstrom der Jets ganz langsam nach hinten, sodass er Fahrt aufnimmt und dann als normales Düsenflugzeug weiterfliegt.



Schleudersitz



Der Schleudersitz ist ein Rettungsgerät für Piloten der Kampfjets.

Er wird im Notfall nach Absprengen des Kabinendachs aktiviert. Kleine Sprengladungen ziehen den Gurt des Piloten in allen Bereichen blitzschnell fest. Dann werden Raketen im Sitz gestartet, die den Sitz wie ein Fahrstuhl an einer Schiene nach oben aus dem Cockpit herausbefördern. Dann trennt er sich vom Flugzeug und schießt als Rakete nach oben, wegen des großen Fahrtwindes knapp über

das Seitenruder hinweg oder durch die doppelten Seitenruder hindurch. Nach Verlöschen der Raketen fällt er herunter und der Fallschirm öffnet sich.

Die Raketen sind so stark, dass ein Schleudersitz den Piloten noch retten kann, wenn sich das Flugzeug noch oder schon am Boden befindet.

Weitere Informationen findest du u.a. bei: www.martin-baker.co.uk.





Statischer Auftrieb

Technik:

Heißluftballons sind unten offen und führen einen Gas-Flammenwerfer mit, der die Innenluft heiß hält und damit den Auftrieb regelt.



Gasballons / **Fesselballons** sind geschlossen. Sie benötigen keinen Brenner. Zur Höhenregulierung können Sie Sand abwerfen oder etwas Gas ablassen. Sie sind mit Helium oder (selten) Wasserstoff gefüllt.

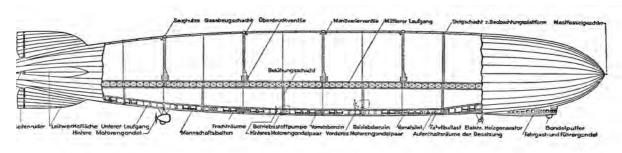
Blimps sind zigarrenförmige, gasgefüllte Ballons mit Motorantrieb und Gondel. Man sieht sie öfter als Werbeträger-"Zeppelin" über der Stadt schweben.

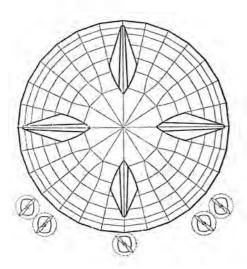
Wir haben einen Solar-Blimp als Modell, den du bei Sonnenschein auf dem Sportplatz testen kannst. Bitte unbedingt am Bindfaden festhalten!

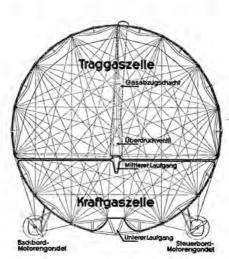
Zeppeline (**Luftschiffe**) dagegen sind feste Fahrzeuge mit Aluminium-Gitterrahmen und dünner Außenhaut aus Gewebe, innen hängen Gasballons als Tragsäcke. Ihre Zeit war vor der Entwicklung unserer heutigen Jets und ist seit dem schrecklichen Unfall 1937 in Lakehurst / USA vorbei. Vom ersten Funken bis zur vollständigen Zerstörung des mit Wasserstoff gefüllten Luftschiffs "Hindenburg" dauerte es ganze 34 Sekun-



den. Es war das bis heute größte Luftschiff der Welt. Heute gibt es weltweit wieder einen einzigen Zeppelin, den "NZ1". Weitere Informationen unter www.luftfahrtwerkstatt.de Links.









SA 2: Aufstieg des Cornelsen-Heißluftballons \(\sqrt{siehe Anleitung} \)

SA 10: Start des großen Ballons im Schulgarten siehe Anleitung und Sicherheitshinweise! mit Gas-Heizgebläse bzw. Gaz-Brenner

<u>Sicherheitshinweise beim "Folienballon" mit Gaz-Cartouchenbrennern im Start-Drahtkorb:</u>

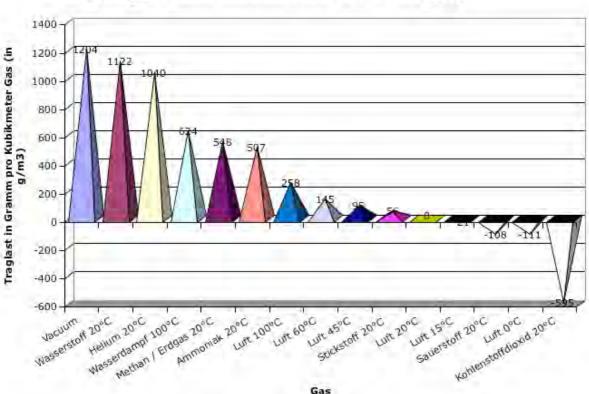
- ⇒ Immer mindestens zwei Personen am Start und eine bei der Lerngruppe!
- ⇒ Niemand darf je unter die Folie geraten können!
- ⇒ Immer auf Abstand bleiben (Erstickungsgefahr durch Folie)
- ⇒ Verbrennungsgefahr an den gaz-Brennern
- ⇒ Extrem große Flamme bei neuen Cartouchen möglich!
- ⇒ Gas muss bei allen Brennern brennen, sonst Explosionsgefahr des Ballons!
- ⇒ Gaz-Cartouchen dürfen nicht versehentlich erhitzt werden.
- ⇒ Ballon darf sich nicht entzünden können (Gewebe bzw. Folie)
- ⇒ Ballon nie los lassen (Luftfahrt beeinträchtigt), immer mit Seil sichern
- ⇒ Feuerlöscher im Auge behalten solange Feuer brennt

Sicherheitshinweise beim Gewebeballon mit Gas-Heizbrenner:

- ⇒ Auf Abstand bleiben bis kein Feuer mehr brennt.
- ⇒ Verbrennungsgefahr am Lüfter
- ⇒ Gas muss sicher brennen, sonst Explosionsgefahr des Ballons!
- ⇒ Erstickungsgefahr und Unfallgefahr unter Ballongewebe bzw. Plastikplane bei Start und Landung
- ⇒ Gasflasche darf nicht versehentlich erhitzt werden.
- ⇒ Ballon darf sich nicht entzünden können (Gewebe bzw. Folie)
- ⇒ Ballon nie los lassen (Luftfahrt beeinträchtigt), immer mit Seil sichern
- ⇒ Feuerlöscher im Auge behalten solange Feuer brennt

Aufgabe: Welches Gas trägt am besten?

Hier siehst du eine Tabelle, die die Tragkraft einer Gasfüllung in Luft bei 20°C Zimmertemperatur zeigt. Die Gase kennst du vielleicht nicht, hast aber einige Namen gehört. Vakuum ist natürlich kein Gas. Je höher die Pyramide, desto besser trägt das Gas.



Tragfähigkeit verschiedener Gase in Luft bei 20°C

Wenn man diese Zahlen kennt, kann man leicht ausrechnen, ob ein Ballon oder Zeppelin fliegt und wie viel Last er mitnehmen kann. Ein Kubikmeter ist ein Würfel mit einer Kantenlänge von 1m.

Welche Rolle spielt eigentlich das eigene Gewicht des Ballons? Finde heraus, ob folgende Ballons fliegen können:

Rauminhalt In Kubikmetern	Ballongewicht in Gramm	Füllung (Gas)	fliegt?
1	20	Luft 45°C	🛚 ja 🗖 nein
40	5000	Luft 60°C	🛮 ja 🗖 nein
100	200000	Wasserstoff	🛮 ja 🗖 nein
40	5000	Helium	🛚 ja 🗖 nein
1	20	Kohlenstoffdioxid	🛚 ja 🗖 nein

Denke nach:

Welche Probleme hätte ein Ballon mit Wasserdampf-Füllung? Welche Probleme hätte ein Ballon mit Vakuum als Inhalt?



Staudruckflieger

Luftkissenfahrzeug (Hovercraft)

Durch Staudruck wird das Fahrzeug angehoben.

Es hat einen Ring aus Gummischlauch, der aufgeblasen wird. Im Innenraum unter dem Fahrzeug herrscht ein Überdruck durch ein starkes Gebläse. Dieser Luftdruck hebt das Luftkissenfahrzeug an.

Hovercrafts können auf Wasser, Moor, Eis und glatten Landflächen fahren. Hindernisse zerreißen aber den Gummischlauch.

Der Antrieb funktioniert nur mit Propellern oder Düsen, daher sind diese Fahrzeuge sehr laut.

Fahrkarte von 1969



Fernsteuermodell 2004



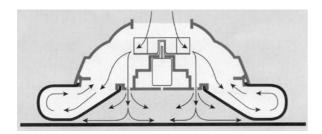
HV1: Lufkissenmodell ferngesteuert fahren lassen. * siehe Anhang







Autofähre Dover (England) - Calais (Frankreich), wurde jetzt durch Highspeed-Katamaran ersetzt.



Querschnitt: Prinzip der Luftströmung im Inneren des Modells



Freizeit-Hovercraft



Bodeneffektgleiter = Ekranoplan / WIG

Das Dornier **Flugboot** "DoX" ist als "Entdecker" des Bodeneffekts für die Luftfahrt zu nennen. Sie flog die langen Strecken von Hamburg in die USA in knapper Höhe über dem Meer, da man so wesentliche Kraftstoffeinsparungen erreichte. Die DoX war sehr schwer und hatte trotz ihrer 12 Motoren nicht genug Motorleistung (Schub) für ihr Gewicht, Sie konnte nur bei stürmischem Gegenwind gut starten. Oft brauchte sie über 10 Startversuche!









"Ekranoplane" wurden ab den 60er Jahren in der damaligen Sowjetrepublik entwickelt. Das sind Bodeneffekt-Fluggeräte in der Größe eines Jumbo Jets. Hier siehst du ein Bild (links), rechts eine neue Idee.



Als Modell kannst du es dir bauen: Kurze Flügel mit Begrenzung, großes Höhenruder. Eine genaue Bauanleitung wollen wir in Zukunft unter www.luftfahrtwerkstatt.de anbieten.

Als Modell zur Ansicht gab es einen Ekranoplan, Typ "Orlyonok", als Plastikbausatz von Revell. Mit etwas Glück kann man noch Bausätze kaufen oder ersteigern.



Mit unserem Zollstockflieger oder dem "Handyfly" kannst du mit etwas Geschick den Bodeneffekt in Bodennähe beobachten!

Die Unterschiede eines echten Bodeneffektgleiters zum Flugzeug und zum Flugboot und Wasserflugzeug kannst du diskutieren, wenn du die Aerodynamik verstanden hast.

Weitere Beispiele für Staudruck-Effekte oder -Anwendungen:

- Schweberasenmäher,
- Tropfen auf heißer Herdplatte,
- Tropfen flüssiger Luft (ca. -180°C) auf einer Tischplatte,
- · startender oder landender Schwan.





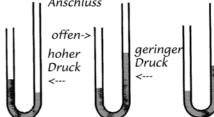
Nutzung der Windkanäle

Füssigkeitsmanometer

Das **U-Rohr** ist so mit rot gefärbtem Wasser gefüllt, dass es etwa halb voll ist, ohne Luftblasen. Wenn der Luftdruck auf beide Seiten gleich ist, steht das Wasser in beiden Schenkeln gleich hoch.

Wenn an einer Seite der Druck kleiner ist (Unterdruck), steigt dort der Wasserstand. Bei Überdruck sinkt der Wasserstand. Das ist klar, denn ein größerer Druck drückt das Wasser weg.

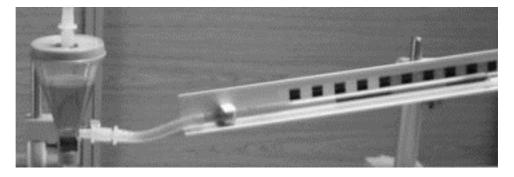
- Höherer Druck → tieferer Wasserstand
- Tieferer Druck → höherer Wasserstand



- Wenn man nur <u>eine Seite</u> anschließt, dann <u>vergleicht man diesen Druck mit dem</u> Luftdruck im Raum.
- Schließt man <u>beide Seiten</u> an unterschiedliche Messstellen an, so sieht man den <u>Druckunterschied</u> zueinander. Wenn die Änderung im Wasserstand zu klein ist, so kann man das U-Rohr schräg stellen. Jetzt ist die Veränderung besser sichtbar.

Man kann auch ein verändertes "U-Rohr" zusammenbauen, das links ein Vorratsgefäß hat, das uns nicht interessiert und rechts ein sehr schräg liegendes Rohr mit Skala hat. Dieser Aufbau heißt **Schrägrohrmanometer**. Auch hiermit kann man den Druckunterschied zum Luftdruck im Raum oder zu einer anderen Messstelle messen.

Das Schrägrohrmanometer ist besser für kleine Druckunterschiede.



Um den Druck als Wert ablesen zu können, muss man etwas über die Wassersäule wissen. Das machen wir in höheren Jahrgängen. Hier interessiert uns nur die Aussage.

Vielleicht ein interessanter Hinweis:

Der normale Luftdruck kann Wasser im Manometer etwa 10 Meter hoch drücken, wenn auf der anderen Seite ein Vakuum ist!

Deshalb kann man Wasser aus über 10 Meter Tiefe auch nicht ansaugen. Das ist unmöglich.

Bernoulli-Effekt

AE1: Bernoulli-Effekt > siehe Anhang

Venturirohr

Ein Lüfter bläst von links Luft in das Venturirohr. Du kannst die drei "statischen" Drücke im Luftstrom an den U-Rohren ablesen.

Befund: In der Mitte an der engen Stelle ist der statische Luftdruck am kleinsten, es herrscht ein deutlicher Unterdruck.

Je schneller die Luft im Rohr, desto kleiner der statische Druck ("Saugeffekt"). Hättest du das gedacht?

"Schnellere Luft im Rohr zieht an".

Man kann auch den Gesamtdruck messen, indem man das Messröhrchen gegen die Strömung hält. So würde man an der engen Stelle einen höheren dynamischen Druck ermitteln. Die "Bernoulli-Gleichung" besagt, dass die Summe aus statischem und dynamischem Druck im abgeschlossenen System ohne Energiezufuhr immer gleich bleibt. Wird der eine größer, so wird der andere kleiner. Siehe Kasten.

Merke: Schnell strömende Luft im Rohr hat einen kleineren statischen Druck als die Umgebungsluft.

Der Kasten rechts liefert Formeln zur Bernoulli-Gleichung für "Insider" und Lehrkräfte und soll Leserinnen und Lesern aus höheren Jahrgängen Anregung geben, sich die Verhältnisse im Venturi-



(für stationäre, reibungsfreie Strömungen):

(für stationäre, reibungsfreie Strömungen):
$$g \cdot h + \frac{p_{st}}{\rho} + \frac{v^2}{2} = const. \text{ (in J/kg = N*m/kg = m²/s²)}$$

Die Gesamtenergie pro Masse bleibt gleich.

Die Gesamtenergie pro Masse bleibt gleich.
$$h + \frac{p_{st}}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g} = const. \text{ (in m), } \underline{\text{Bernoulli-Gleichung}}$$

Der berechnete "Höhenwert" bleibt gleich.

$$\rho \cdot g \cdot h + p_{st} + \frac{\rho}{2} \cdot v^2 = const.$$
 (in Pa = N/m²)

Der berechnete Gesamtdruck bleibt gleich.

Dichte in kg/m³

statischer Druck in Pa (N/m²)

Erdbeschleunigung, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

h Höhe über Bezugspunkt

Geschwindigkeit in m/s

statischer Druck:

dynamischer Druck: $p_{dyn} = \frac{\rho}{2} \cdot v^2$

Es gilt $p_{ges} = p_{st} + \frac{\rho}{2} \cdot v^2$ bei gleicher Höhe, also auch im

Venturirohr. Steigt p_{dyn} bei höherer Geschwindigkeit, so sinkt p_{st} und umgekehrt. Das kann man auch messen.

rohr einmal genauer vorstellen zu können. Dazu benötigt man weiter führende Lehrbücher. Einige finden sich in der Literaturempfehlung am Ende.

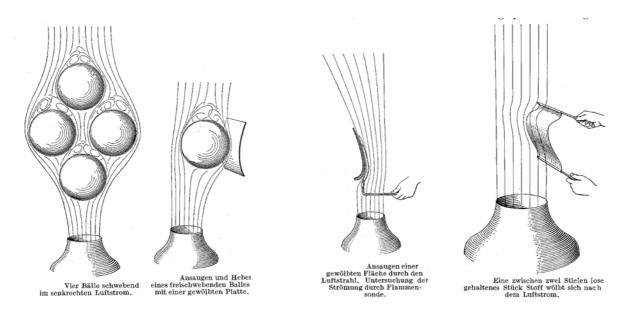
AE 2: Bernoulli-Effekt 2: Gläserne Wasserstrahlpumpe 🔪 siehe Anhang

AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole * siehe Anhang

AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon siehe Anhang

AE 6: Ball im Luftstrom.

Ein Styroporball wird kurz über dem Lüfter seitlich in den senkrechten Luftstrom hineingezogen. Ein gewölbtes Blech wird seitlich an den Luftstrom gehalten.



Hinweis: Diese Bilder zeigen eine andere Lüfterdüse.

Anregung: Fragen, die zu klären sind:

- Warum wird der Ball hochgedrückt?
- Warum pendelt sich die Höhe auf einen bestimmten Wert ein?
- Warum fällt der Ball seitlich nicht aus dem Luftstrom?

Zum Thema Fliegen.



Der Druck muss über dem Flugzeug kleiner werden als unter ihm.

Realisierung: Man baut einen Flügel (wie beim Vogel), der oben runder ist und/oder geneigt ist, die Luft damit umlenkt und so oben eine schnellere Luftströmung erzeugt. Dieser Flügel heißt auch Tragfläche. Durch den Coanda-Effekt wird die Luftströmung schräg nach unten umgelenkt und als Gegenkraft entsteht Auftrieb.

Untersuchungen am Flügel (Tragfläche)

Wir messen, ob an einem Flügel Druckunterschiede zu beobachten sind, ob er wirklich nach oben gehoben wird, ob die Luft ihn auch nach hinten drückt und wie er aussehen und eingebaut werden muss, damit ein Flugzeug wirklich fliegen kann. Und das möglichst stabil und sicher.

AE 10: Unterdruck über einem Profil und Druckverteilung am Profil 🔌 siehe Anhang

Bastelvorschläge für Modelle

MO 1: Zusammenbau Gummimotor-Modell "mini light"

➤ siehe Anleitung im Karton
(etwas schwierig durch viele Kleinteile, Geschicklichkeit gefordert)





MO 2: Aufbau des Opitec-Gleiters

➤ siehe Aufbau-Anleitung (anspruchsvollere Werkaufgabe, zeitaufwändig)

MO 3: Bau des Styroporgleiters

➤ siehe Anleitung (etwas anspruchsvollere Werkaufgabe, zeitaufwändig durch Leimen)





MO 4: Bau des Jalousie-Fliegers

🔌 siehe Anleitung ("Faszination Fliegen", E. Mutz)



MO 5: Aufbau Freiflugmodell B 747-400

🔪 siehe Anhang

mit Testflügen, bei denen man die Steuerung durch Knicken der Enden des Höhenruders und Seitenruders verändert





MO 6: Aufbau / Zusammenstecken des Balsaholz-Fliegers "Luftfahrtwerkstatt"

mit Testflügen, bei denen man die Flügelposition verändert



Trimmung

TE 2: Trimmung verschiedener Modelle durch

- Knicken der Höhen- und Seitenruder
- Verschieben der Flügelposition
- Platzierung von Zusatzgewicht.

Festhalten der Ergebnisse. Siehe auch Zollstockflieger

🔪 siehe Anhang



Testflug und Trimmung bitte erst auf dem Sportplatz!

Flugtests verschiedener Modelle (Sportplatz)

SP 1: Flugtests (Sportplatz) * siehe Anhang

Einige unserer Flugobjekte

- Hubschrauberspiel,
- Weiße Gleiter "Handyfly",
- Gleiter mit Gummistart,
- Selbst aufgebaute Modelle,
- Gummimotor-Modelle,
- Eigene Pappraketen,
- Frisbee (Wham-O und Aerobie Disk),
- Aerobie Ring,
- Aerobie Dreieck,
- Bumerang,
- Wasserraketen,
- · Wasserraketen mit Getränkeflasche und Fahrradpumpe,
- bei Sonnenschein: Cornelsen Solar-Blimp (schwarzer Beutel)

















Technische Anwendungen der Aerodynamik

Außer beim Flügel eines Flugzeugs findest du die Aerodynamik an vielen Stellen:

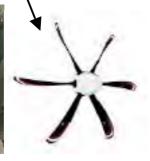
Der Propeller eines Flugzeugs

Sieh dir unseren großen Propellerflügel einer Tupolev-Maschine in der Luftfahrtwerkstatt an. Rechts siehst du hier noch einen ganz modernen Propeller mit sichelförmigen Blättern. Z.B.











Du siehst, dass alle Propellerflügel ähnlich wie Tragflächen aussehen. Die fliegen im Kreis durch die Luft, produzieren Auftrieb und der zieht das Flugzeug nach vorn.

Sie sind sie oft verdrillt, nah der Drehachse haben sie einen größeren Anstellwinkel. Überlege dir, warum das wohl so ist!

Die Turbinenschaufeln aus einem Triebwerk eines Jets

Dazu findest du viele Fotos und Zeichnungen im Raum, auch echte Triebwerksteile in der Vitrine.

Sieh dir an, wo du das Flügelprofil wieder findest!





Windrotoren, Segel und vieles mehr...







Technik/Trimmung: Zollstockflieger

ZO 1: Zollstockflieger > siehe Anhang

Flugzeug mit variabel anbringbaren Tragflächen (Holzlatte mit Maßstab, Flügel und Höhenleitwerk des "HandyFly" Weichschaummodells)

Auftrag: Finde durch Überlegen und Probieren heraus, wie große Flügel (Tragflächen) und kleine Flügel (Höhenleitwerk) angeordnet sein können, damit

ein Flugzeug stabil fliegt. Es gibt verschiedene Möglichkeiten.



- Es soll auch bei unterschiedlicher Geschwindigkeit fliegen.
- Es soll beim Flug seine Fluglage stabilisieren (nicht in einer Kurve nach oben oder unten fliegen, sondern gerade).
- Wird es langsamer, so soll es die Nase (Bug) nach unten nehmen und wieder Fahrt aufnehmen.

Wird es zu schnell, so soll es die Nase (Bug) nach oben nehmen und das Modell soll steigen, dabei Fahrt verlieren.

Der Wechsel zwischen diesen beiden Veränderungen soll sanft ablaufen, ohne dass das Modell zu stark schaukelt.

Fall A:

Ist das Höhenleitwerk hinten angeordnet, so soll es nicht tragen sondern beim Flug nach unten drücken, also Abtrieb produzieren!

Hierzu muss es einen negativen(!) Anstellwinkel haben und/oder möglichst ein aerodynamisches Flügelprofil haben, das auf dem Kopf steht. Bei diesem Tornado kannst du sehen, dass es tatsächlich falsch herum geformt ist.

Die Tragflächen müssen dazu so angebaut werden, dass das Flugzeug leicht nach vorn

kippt, wenn die Tragflächenmitte auf den Fingern

liegt.

Grund: Beim zu langsamen Fliegen reißt die Strömung zuerst am kleineren Höhenleitwerk ab während die Tragflächen noch tragen. In diesem Moment soll das Flugzeug von selbst in den Sinkflug gehen um wieder schneller zu werden. Hier heißt das, dass das Höhenleitwerk hinten nicht mehr nach unten drückt und somit das Heck hoch kippt.

Fall B:

Ist das Höhenleitwerk vorn angeordnet (ungewöhnliche Bauweise), so soll es tragen, also Auf-

trieb produzieren. Hierzu muss es einen positiven Anstellwinkel haben und möglichst ein aerodynamisches Flügelprofil haben, richtig herum angebaut wie bei der Tragfläche.

Die Tragflächen müssen dazu auch so angebaut werden, dass das Flugzeug leicht nach vorn kippt, wenn die Tragflächenmitte auf den Fingern liegt.

Hier heißt dies, dass das Höhenleitwerk vorn nicht mehr trägt und somit die Nase (Bug) nach unten kippt. Das Flugzeug geht in beiden Fällen sanft in den Sinkflug über und wird schneller, bevor die Strömung an den Tragflächen abreißt.

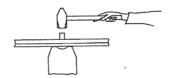


ZO2: Technik/Lenkung: Zollstockflieger > siehe Anhang

Technik Flugzeugbau

Nietübung zum Flugzeugbau bei Airbus

TE 1: Nietübungen 🔌 siehe Anhang



Die Firma Airbus Deutschland hat der Luftfahrtwerkstatt als Beispiel für eine Arbeit beim Flugzeugbau Originalblech vom Flugzeugrumpf vorgebohrt zur Verfügung gestellt.

Dazu gibt es zwei Sorten von Original Flugzeugnieten.

Typ 1 ist aus Aluminium, das immer etwas weich ist und so vernietet werden kann.

Typ 2 ist eine harte Aluminiumlegierung, die sehr gut hält. Um sie zu nieten, kann man sie weich ma-

Netverbindungsarten 1. Einschnittige Nietverbindungen a. Einreihige Überlappverbindung b. Zweireihige Überlappverbindung

chen: Bei 480°C 30min lang glühen, dann mit Wasser schockkühlen. Jetzt ist sie weich und kann ca. zwei Stunden verarbeitet werden. Sie bleibt weich, wenn man sie in einer Kühltruhe aufbewahrt. Das tut man in der Flugzeugwerft in Finkenwerder. Die Monteure entnehmen weiche Niete und tragen sie in einem Eimerchen mit Uhr. Diese überwacht die zwei Stunden zur Verarbeitung. Danach müssen neue Niete genommen werden.

Man nietet mit <u>vielen kleinen Schlägen</u>, sodass sich ein zweiter Nietenkopf bildet. Mit brutalen Schlägen erreicht man nichts und zerstört den Niet.

Die Platten sollen fest zusammenhalten wie Rumpfteile des Flugzeugs. Beim Nieten dürfen sie natürlich nicht verbeult werden!





Dies sind Fotos von Flugzeug-Rumpfteilen, die bei der Lufthansa Technik in Hamburg-Fuhlsbüttel zu Trainingszwecken eingesetzt werden. Man sieht hier Beispiele, wie Schäden durch unterschiedliche Niettechniken repariert werden können. Auch die Niete sind sehr unterschiedlich, ie nach Anwendung.



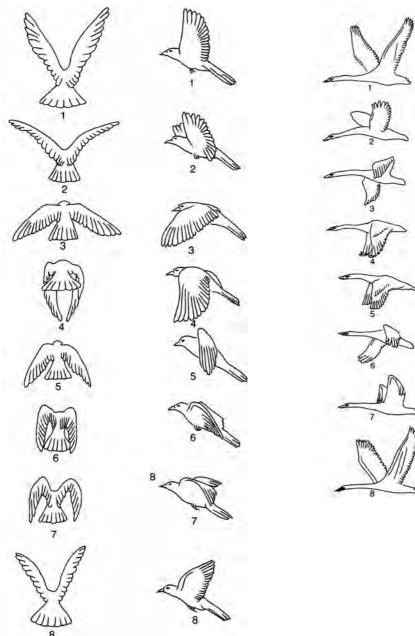
Die hohe Kunst des

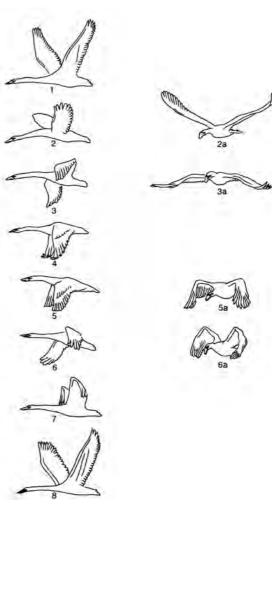
Fliegens: Vogelflug

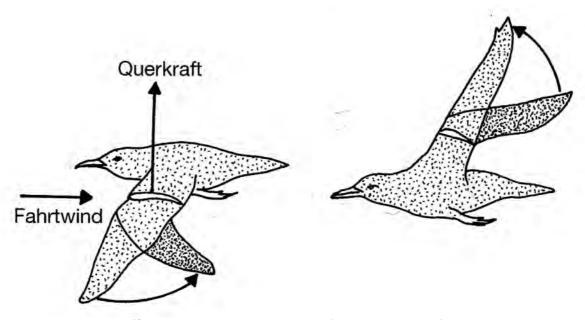
VO1: Vogelmodell 🔌 siehe Anhang

Singvogelflug (links) und Ruderflug des Schwans: (Quelle: "Praxis der Naturwissenschaften", Kopiervorlagen)









(Quelle: "Praxis der Naturwissenschaften", Kopiervorlagen)

Der Vogelflügel war die Vorlage für unsere heutigen Flugzeugflügel. Otto von Lilienthal hat sie so gut erforscht, dass er danach in der Lage war, den ersten Flugapparat zu bauen, mit dem er die ersten Flüge macht, ab 1894 dann bei Berlin von einem extra aufgeschütteten künstlichen Hügel herunter. Diese Grundlagen hat er in seinem Buch "Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst" im Jahre 1889 veröffentlicht. Dieses Buch diente später den Gebrüdern Wright in den USA als Basis für ihre Erfolge mit dem ersten Motorflug, der ihnen 1903 gelang. Lilienthal starb 1896 nach einem Absturz aus 16m Höhe.

Vögel haben keinen extra Antrieb wie etwa Flugzeuge. Sie können dagegen ihre Flügel bewegen und dadurch nicht nur fliegen, sondern auch Vortrieb erzeugen, also schneller werden. Diese perfekte Doppelfunktion kann man in der Flugtechnik bei Flugzeugen noch nicht nutzen, es wäre zu schwierig.

PA1: Papierflieger (Abschlussversuch) \(\sigma \) siehe Anhang

Hierbei können alle Erkenntnisse über Aerodynamik und Flugtechnik eingesetzt werden und die Bedeutung Trimmung erklärt werden: Trimmung (Gewichtsverteilung), Flügelstellung, Pfeilung, Schwerpunkt, Faltungen der Steuerklappen

Flugsimulator

Der Flugsimulator ermöglicht eine Übung, ein Verkehrsflugzeug zu steuern. Der Versuch einer Landung ist schwierig aber interessant. Du kannst zusehen oder es einmal selbst versuchen.

Der Simulator der Luftfahrtwerkstatt soll sogar zur Pilotenausbildung eingesetzt werden ("X-Plane 8" unter Mac OSX, Linux oder Ubuntu und Windows).

Gesteuert wird das "Flugzeug" per Joystick, dies ist übrigens in den neueren Airbus-Typen ähnlich.

Erklärungen

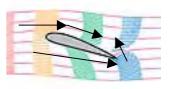
Aerodynamischer Auftrieb

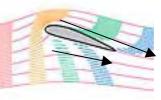
Beim Anfahren des Flugzeugs entsteht hinter dem leicht schräg gestellten Flügel ein freier Raum. Der Flügel schiebt die Luft nach vorn weg und Luft muss schnell diesen freien Raum hinter dem Flügel auffüllen.

Das geschieht schnell, da die übrige Luft einen Druck hat und sofort in freie Bereiche gedrängt wird, wie wir Menschen in einer überfüllten S-Bahn.

Dies geschieht von allen Seiten, also oben über den Flügel hinweg und unten entlang um die scharfe Hinterkante herum nach oben.

Ab einer bestimmten Geschwindigkeit strömt die Luft so schnell am Flügel vorbei, dass das Auffüllen nur noch oben über den Flügel hinweg geschieht. Dabei wird die Strömungsrichtung nach schräg unten umgelenkt. Die Luft unter dem Flügel müsste hinter der scharfen Hinterkante eine Kehrtwende nach oben machen, das passiert nicht mehr.





Ab einer bestimmten Strömungsgeschwindigkeit reißt der nach oben umgelenkte Luftstrom hinter der Flügelkante ab und weht förmlich nach hinten. Damit bildet er den Anfahrwirbel, der vom Flugzeug abreißt und als Wirbel über der Startbahn stehen bleibt (siehe unten).

Ab jetzt spricht man von "Aerodynamik". Die Luft über dem Flügel strömt jetzt schneller, hat damit einen großen Unterdruck und ist auch hinter dem Flügel noch schneller. Ihre Strömungsrichtung ist dabei aber schräg nach unten umgelenkt worden. Der Flügel zieht also Luft nach unten. Das zieht den Flügel nach oben. Dieses ist der wichtigste Beitrag zum Auftrieb! Den Umlenk-Effekt nennt man "Coanda-Effekt".

Die Luftströmung unter dem Flügel wird dadurch behindert und strömt langsamer, sie hat einen kleinen Überdruck. Auch sie wird nach unten abgelenkt, der Flügel drückt auch Luft nach unten. Das drückt wiederum den Flügel nach oben.

Der Flügel wird jetzt von unten leicht hoch gedrückt und von oben stark hoch gesaugt. Deswegen nennt man die Unterseite auch "**Druckseite**" und die Oberseite "**Saugseite**".

Durch beide Effekte entsteht aerodynamischer Auftrieb.

Im Prinzip kann fast jede Fläche Auftrieb erzeugen, wenn sie schräg angeströmt wird oder unsymmetrisch geformt ist. Das gilt auch für viele Körperformen.

Wichtig für Auftriebskräfte ist die glatte Luftströmung am Körper entlang, die "laminare" Strömung. Dazu ist es wichtig, dass die Seiten glatte Flächen sind, ohne dass Ecken und Kanten auftreten, also ein möglichst perfekter Stromlinienkörper.

Dadurch kann ein Auto bei hoher Geschwindigkeit angehoben werden, ein Flugzeug auf dem Kopf fliegen und ein Regenschirm umklappen...

Damit ein Flugzeug etwas besser fliegt, ist übrigens der Rumpf beim Flug vorn etwas höher gekippt. Er fliegt also leicht geneigt und produziert selbst etwas Auftrieb. Das ist aber eine Feinheit für "Insider".



Der Anfahrwirbel

Beim Anfahren des Flugzeugs setzt irgendwann die Aerodynamik mit Auftrieb ein, die hintere Flügelkante trennt die Strömungen. Dies erzeugt hinter dem Flügel einen Luftwirbel (dicker Pfeil), der nach oben dreht. Man nennt ihn Anfahrwirbel. Er reißt vom Flügel ab und bleibt über der Startbahn stehen.

Gleichzeitig strömt die Luft im Bogen über den Flügel nach hinten und startet einen Gegenwirbel, den Zirkularwirbel.

Der Zirkularwirbel um den Flüael

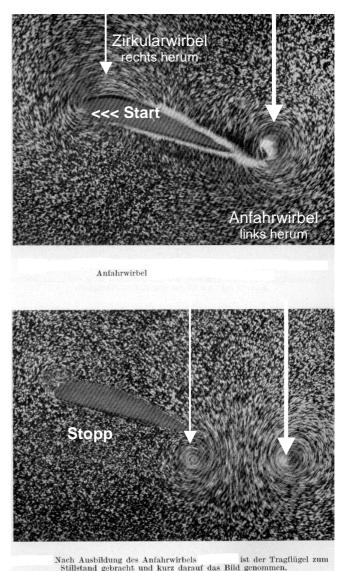
Ab diesen Vorgängen beim Anfahren gibt es den Strömungsunterschied über und unter dem Flügel, oben schneller und unten lang-

Der Wirbel um den Flügel (dünner Pfeil) ist also entgegengesetzt zum Anfahrwirbel, er dreht so herum, dass er oben nach hinten aerichtet ist.

Dieser Wirbel um den Flügel herum, mischt sich bei größerer Geschwindigkeit mit der normalen Luftströmung.

So führt, die Mischung dazu, dass die Summe der Strömung oben größer und unten kleiner wird als die normale Luftbewegung, so wie beim Magnus-Effekt.

Bremst man den Flügel sofort nach dem Anfahren wieder, so löst sich auch dieser Wirbel ab und ist zusammen mit dem Anfahrwirbel nachweisbar, siehe Bild rechts.



Auf Grund des Drehimpulserhaltungssatzes muss es auch so sein. Wenn ein Wirbel (z.B. mit Drehim-

puls im Uhrzeigersinn) entsteht, muss im gleichen Moment ein entsprechender Gegenwirbel (dann mit Drehimpuls gegen den Uhrzeigersinn) entstehen, damit die Summe der Drehimpulse gleich bleibt. Der Anfahrwirbel bleibt auf der Startbahn zurück, also bleibt der Zirkularwirbel um die Tragfläche bis auf weiteres bestehen, den ganzen Flug über.

Ideale, reibungsfreie Flüssigkeiten heißen "Superfluide", sie fließen ohne Reibungswiderstand. Ein einmal erzeugter Wirbel läuft hier unbegrenzt lange weiter. Beispiel: flüssiges Helium. Man hat herausgefunden, dass das Zentrum eines Wirbels ("Wirbelfaden") in idealen Flüssigkeiten unbegrenzt lang ist. Diese Tendenz gilt auch in anderen Flüssigkeiten und in Gasen wie Luft, auch wenn der Wirbel sich dort langsam verliert, durch Reibung.

Der Schleppwirbel

Durch diese Erkenntnis versteht man, dass der Wirbel der Zirkularströmung um den Flügel eines Flugzeugs über die Flügelspitze hinaus reicht, er wird nach hinten umgelenkt und bildet den Schleppwirbel, der von beiden Flügelspitzen ausgeht.

Diese beiden Schleppwirbel

- beeinträchtigen den nachfolgenden Flugverkehr und
- · verschlechtern den Auftrieb des Flügels.



Randwirbel.

Genau genommen schließen sich die Wirbel-Enden der Schleppwirbel (Randwirbel) über den Anfahrwirbel! Damit gibt es keine Wirbel-Enden. Aber der Zusammenhang verliert sich nach kurzer Flugstrecke durch die Luftreibung, weil Luft ja kein Superfluid ist (s.o.).

Je länger und schmaler ein Flügel ist, desto weniger stört dieser Schleppwirbel.

"Schlanke" Flügel liefern also einen besseren Auftrieb bei gleicher Fläche und Profilform.

Um diese Schleppwirbel zu verkleinern, kann man am Ende der Flügel Leitbleche anbringen. Beim Flugzeug nennt man sie je nach Form Endkeule, Stabilisator oder Winglet (Flügelchen).

Vorschlag von 1935...



Verhinderung der Umströmung einer Tragfläche durch Platte.



Stabilisator als Anwendung gegen zu starke Schleppwirbel am Ende der Tragfläche bei einer modernen Boeing



Schleppwirbel mit Rauch sichtbar gemacht

Das Problem der Schleppwirbel tritt extrem stark auf, wenn der Flügel sehr kurz ist. Bei unserem Experimentierprofil ist das der Fall und alle Messungen mit frei hängendem Profil sind stark verfälscht (z.B. die Druckmessung).

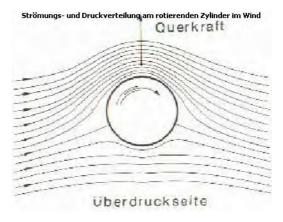
Eine gute Lösung ist das Einspannen in die zwei Plexiglasplatten, denn dann wird die Schleppwirbelbildung gut verhindert.

Der Magnus-Effekt

Als den Magnus Effekt bezeichnet man die Querkraftwirkung auf einen Zylinder in einer Strömung, der sich um seine eigene Achse dreht.

Würde sich der Zylinder nicht drehen, gäbe es vorne in der Mitte einen Staupunkt, an dem sich die Strömung teilt. Die Strömung würde sich dann zu den Seiten hin beschleunigen, nach hinten hin wieder ein bisschen abbremsen und wieder einen Vereinigungspunkt in der hinten in der Mitte bilden. Da die Geschwindigkeit auf beiden Seiten gleich zunimmt, heben sich die Querkräfte gegenseitig auf, ein normal umströmter Körper.

Wenn der Zylinder rotiert, reißt er die anliegende Luft mit und erzeugt eine Drehströmung. Bei Wind oder Fahrtwind mischt sich dieser Wirbel mit dem Wind, sodass an einer Seite die Strömung schneller wird, an der anderen Seite aber langsamer. Das bewirkt einen



Druckunterschied, genau wie an einer Tragfläche, wodurch senkrecht zur Luftströmung starke Kräfte auftreten.

Auch hier wirkt der Umlenkeffekt, die Luft ist schräg gerichtet und es gibt eine Gegenkraft auf den Rotor.

Dieser Effekt erscheint den meisten Menschen unglaublich.

Entdeckt wurde der Magnus-Effekt etwa 1870 durch die Tatsache, dass Geschosse der Feuerwaffen, die beim Abschuss zur Stabilisierung der Fluglage durch "Felder und Züge" im Rohr in Drehung versetzt werden, eine Ablenkung quer zum Seitenwind erfahren. Ein Geschoss, das bei Wind von rechts abgeschossen wird und dabei links herum rotiert, wird nach oben abgelenkt. Das machte die Beobachter stutzig.

Um 1920 entwickelte Anton Flettner ein Windantriebssystem für Schiffe, bei denen er die Segel durch zehnmal kleinere Rotoren ersetzte. Die Rotoren wurden elektrisch in Drehung versetzt, durch Elektromotoren mit Leistungen von ca. 11 kW, das ist quasi nichts im Vergleich zum normalen Antrieb mit Leistungen von tausenden Kilowatt.



Flettner-Rotoren benehmen sich wie etwa 10 mal größere Tragflächen oder Segel. Im Wind erzeugen sie einen starken Auftrieb bzw. Vortrieb.

Diese Antriebsidee bewährte sich zwar, wurde dann aber durch die Weltwirtschaftskrise Ende der 20er Jahre und den Niedergang der Segelschiffe durch neue, starke Schiffsmotoren vergessen.

Für uns ist sie aber der Schlüssel zum Verständnis der Aerodynamik am Flügel und wir sollten sie im Hinterkopf behalten – Wer weiß wozu.

In der Luftfahrtwerkstatt wollen wir ein Modellflugzeug mit rotierenden zylindrischen Tragflächen nach dem Flettner-Prinzip entwickeln.

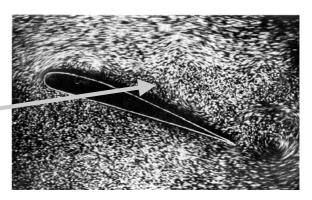


Strömungsabriss (engl. stall)

Der Auftrieb bricht aber zusammen, wenn der Anstellwinkel zu groß wird oder die Geschwindigkeit zu klein. Dann spricht man vom "Strömungsabriss", die Luft unter dem Flügel weht wieder um die Hinterkante herum nach oben.

Über dem Flügel bilden sich Wirbel. Die Strömung ist nicht mehr laminar (glatt geschichtet).

Das Flugzeug stürzt in die Tiefe.



Vorflügel

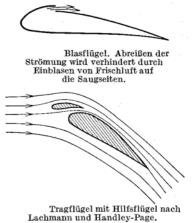
Um den Strömungsabriss zu verhindern, gibt es einige Tricks. Man hat herausgefunden, dass das Ausblasen von Luft oben an der Flügelseite die von vorn kommende Luft sauber an den Flügel heranzieht (Bernoulli-Effekt). Dieses erzwingt wieder eine laminare Strömung über dem Flügel und das stellt die Aerodynamik wieder her. Siehe Bild "Blasflügel".

Die gleiche Wirkung erzielt man durch einen Vorflügel, denn durch die Lücke bläst Luft ein, die oben die gleiche Wirkung hat.

Daher haben einige Flugzeuge Vorflügel (z.B. die alte Dornier Do-27) und die modernen Verkehrsjets können Vorflügel ausfahren, um bei Start und Landung den Strömungsabriss zu vermeiden.



Bei Segelbooten bilden Fock (das Vorsegel) und Großsegel dieses Vorflügel/Flügel-System.









Gute Tricks, um die Strömung zu verbessern

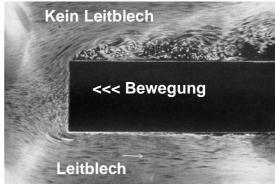
Bei Fahrzeugen und erst recht bei Flugzeugen ist der Strömungswiderstand wichtig. Beim Flügel ist er extrem wichtig.

Eine gerade Platte hat ein sehr schlechtes Verhalten in Strömungen.

Auch Fahrzeuge mit gerader Front verhalten sich ungünstig in Luftströmungen, sie zeigen einen großen Luftwiderstand, sind also schwer zu bewegen und das benötigt unnütz viel Energie. Welche Form rutscht besser durch die Luft?







Die Abbildungen zeigen Objekte im Strömungskanal. Sie bewegen sich nach links bzw. das Medium strömt nach rechts. Von links: Platte, Platte mit Leitblechen, Quader bzw. Tank mit Leitblech unten und ohne oben.

Für Fahrzeuge mit gerader Front gibt es einen Trick, der die Luft umlenkt, Wirbel vermeidet und den Luftwiderstand fast halbieren kann! Der Wirbelbereich wird dadurch schmaler. Leitbleche zwingen die Luft, die Strömungsrichtung zu ändern und wieder laminar am Körper entlang zu strömen statt von der Front aus seitlich vom Körper weg zu strömen und eine Wirbelstraße entstehen zu lassen (Bild rechts).

Bei den schnelleren Dampflokomotiven hatte man diese Erkenntnis der Strömungsphysik schon in den 30er Jahren angewandt. Unten siehst du ein Modell ohne und eines mit Leitblechen.



Die wichtigen Anwendungen bei Flugzeugen wie z.B. Vorflügel findest du unter **Erklärungen** am Ende dieses Begleittexts.



Das **Fahrwerk eines Flugzeugs** bremst enorm. Daher kann man es bei allen schnelleren Flugzeugen einklappen.

Hier sieht man das Fahrwerk einer Boeing.

< vorn

Mitte >





Lerninhalte, Lernziele

Rückstoß

- Wenn man etwas wegstößt, wird man dabei zurückgestoßen. (Actio = Reaktio)
- Wenn man Flüssigkeiten wie Wasser oder auch Gase herausströmen lässt, so schiebt das einen zurück.
- Beispiele: Feuerwehrschlauch, Glasrohr am Wasserhahn, Kugelstoßen, Abwerfen auf Wagen

Statischer Auftrieb

- Unterschiedliche Trag-Gase nennen können
- Den Begriff Dichte mit "je...desto" beschreiben können.
- Den Begriff Druck mit "je...desto" beschreiben können.
- Warme Luft ist "leichter" als kalte. "Leichter" bezieht sich hierbei auf eine geringere Dichte.
- Kraft als Ursache für Beschleunigung oder Verformung nennen können.
- Das Archimedische Prinzip kennen.
- Anwendungen für die Luftfahrt kennen und unterscheiden können: Gasballon, Heißluftballon, Blimp, Zeppelin.

Bernoulli-Versuch

- Schnelle Luft hat einen kleineren Druck als die Umgebung. Es entsteht ein "Sog".
- Gestaute strömende Luft hat einen höheren Druck als die Umgebung.

Aerodynamik

- Wissen, dass der Auftrieb an der Tragfläche (Flügel) nur durch vorbeiströmende Luft erzeugt wird.
- Wissen, dass der Unterdruck über der Tragfläche den wesentlichen Teil des Auftriebs erzeugt.
- Die Ausnahme beim Bodeneffekt beschreiben können: Hier kommt zum aerodynamischen Überdruck unter der Tragfläche noch der Staudruck hinzu.
- Den Effekt des Strömungsabrisses beschreiben können.
- Den Anfahrwirbel und den Schleppwirbel beschreiben können.
- Den Magnus-Effekt und den Flettner-Rotor kennen und Parallelen zur Strömung an einer Tragfläche aufzeigen kön-
- Verschiedene Anwendungen nennen können: Flügel, Propellerblatt, Triebwerksschaufel, Windrotor, Segel, Ruder.

Die Synthese für kleine Jahrgänge

"Schnelle Luft zieht (z.B. nach oben), warme Luft steigt nach oben."

Luftwiderstand

Unterschiedliche Profile und Angriffsflächen (in Strömungsrichtung gesehen) spielen eine Rolle, damit auch der Anstellwinkel des Profils.

Technik

- Beschreiben, was ein Niet ist, wie er verarbeitet wird und welche Bedeutung er im Flugzeugbau hat.
- Wichtige Baumaterialien für Flugzeuge nennen können: Aluminium, Titan, Kohlefaser.
- Die Trimmung eines Flugzeug nennen können: Die Flügel tragen das gesamte Flugzeug plus den Abtrieb des Höhenruders, das Höhenruder drückt das Heck herunter.
- Die Steuerung beschreiben können:
 - Das Höhenruder senkt oder hebt das Heck und damit gegenläufig den Bug.
 - Das Seitenleitwerk drückt das Heck nach Backbord oder Steuerbord und damit gegenläufig den Bug. Es wird nur im Extremfall benutzt und verändert auch die Querlage.
 - Die Querruder drehen den Rumpf nach rechts oder links (Rollbewegung) und können damit Kurven einleiten.
 - Die Störklappen verschlechtern den Auftrieb und werden auch zur Steuerung statt oder zusammen mit dem Querruder eingesetzt.
- Die Landeklappen und Vorklappen verbessern den Auftrieb und ändern den Anstellwinkel. Sie erhöhen aber die Luft-
- Das ausgefahrene Fahrwerk erhöht die Luftreibung und steuert das Flugzeug leicht nach unten.
- Am Boden setzt der Bodeneffekt ein und drückt das landende Flugzeug wieder nach oben.
- Wissen, dass der Strömungsabriss erst am Höhenleitwerk auftritt und dadurch planmäßig der rettende Sturzflug eingeleitet wird.

Leitwerk

Angriffsfläche und Aerodynamik verändern sich bei Verdrehung eines Flügels/Leitwerks gegen die Luftrichtung. Größer werdender Widerstand und aerodynamische Wirkung wirken auf das Leitwerk. Sitzt das Leitwerk vorn, so dreht sich das Fahrzeug komplett um. Sitzt es hinten, so stabilisiert sich die Flugrichtung. Sitzt es in der Mitte, so bremst es nur, ändert aber nicht die Fluglage.



Material & Angebote der Luftfahrtwerkstatt

- Siehe www.luftfahrtwerkstatt.de -> Angebote
- CD-ROM Luftfahrtwerkstatt (Texte pdf, Bilder, Filme, Folien, Begleitheft mit Arbeitsbögen) (gratis für Lehrkräfte bei Nutzung der Luftfahrtwerkstatt)
- Klaus Liebers: "Vom Fliegen", Naturwissenschaften, Verlag Volk und Wissen, Berlin 1998, ISBN 3-06-020930-8, www.vwv.de/webtipp_physik.html, ca. € 10 (bisher gratis für Lehrkräfte bei Nutzung der Luftfahrtwerkstatt)
- Bernd Heepmann: "Vom Ballon zum Airbus", Flug&Fliegen, 160 Seiten, Cornelsen Verlag, ISBN: 3-464-07428-5, ca. € 11,50 (unbedingt empfehlenswert)

Literatur-Tipps

- Siehe <u>www.luftfahrtwerkstatt.de</u> -> Literatur
- Klaus Liebers: "**Vom Fliegen**", Naturwissenschaften, Verlag Volk und Wissen, Berlin 1998, ISBN 3-06-020930-8, <u>www.vwv.de/webtipp_physik.html</u>, ca. € 10
- Bernd Heepmann: "Vom Ballon zum Airbus", Flug&Fliegen, 160 Seiten, Cornelsen Verlag, ISBN 3-464-07428-5, ca. € 12
- David F. Anderson, Scott Eberhardt: "Understanding Flight", McGraw-Hill, New York 2001, ISBN 0-07-136377-7, Preis: ca. € 30
- Karl Luchner: "Fliegen Angewandte Physik", Praxis Schriftenreihe Physik Band 48, Aulis Verlag Deubner & Co KG Köln 1992, ISBN 3-7614-1300-9, ca. € 13
- Otto Lilienthal: "Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst", Berlin 1889, Nachdruck Verlag Steffen, 2003, Lilienthalmuseum Anklam (MV), ISBN 3-9809023-8-2
- Prandtl: "Führer durch die Strömungslehre". Grundlagen und Phänomene von Herbert Oertel (Herausgeber), Preis: € 84,90
- Peter Bachmann: "Cockpit Instrumente", gebundene Ausgabe, Preis: EUR 30,00
- R. G. Grant: "Fliegen", gebundene Ausgabe, Preis: € 49,9
- Stephen Dalton: "The Miracle of Flight", gebundene Ausgabe, Preis: € 35,10
- Christian Mähr: "Vergessene Erfindungen", DuMont Köln 2004, ISBN 3-8321-7816-3, (Der Flettner Rotor)

Weiterhin interessant:

- Hermann Schlichting, Erich A. Truckenbrodt: Aerodynamik des Flugzeuges, Bd.1, Grundlagen aus der Strömungsmechanik, Preis: ca EUR 185
- Hermann Schlichting, Erich A. Truckenbrodt: Aerodynamik des Flugzeuges, Bd.2, Aerodynamik des Tragflügels 2, des Rumpfes, der Flügel-Rumpf-Anordnung und der Leitwerke, Preis: ca. EUR 185
- Bill Gunston: Airplanes, Eine Chronologie der Luftfahrt, Preis: ca. EUR 13
- Ben Mackworth-Praed: Pionierjahre der Luftfahrt. Vom Heißluftballon zum Motorflug
- Originalausgabe: EUR 40,39, Sonderausgabe: EUR 22,00
- F. W. Schmitz: Aerodynamik des Flugmodells, Preis: ca. EUR 25
- Jürgen Mies: Flugtechnik, Preis: ca EUR 30

Experimentiergerät für Schulen

- Cornelsen Experimenta: Koffer "Flug und Fliegen" plus Gebläse (Gebläse stark und leise, viele Experimente, nicht für qualitative Messungen konzipiert, Grundlage der Luftfahrtwerkstatt, Ausleihe in der Li Ausleihstation, <u>ausleihstation@li-hamburg.de</u>, Informationen auch über <u>www.schul-physik.de</u>).
 NTL (siehe Katalog): Gebläse, Profile, Flügelmodell (Gebläse laut)
- Phywe (siehe Katalog)
- Leybold Windkanal und Profile (recht teuer, Windkanal müsste neu durchkonstruiert werden)
- Die Computer-Messeinrichtung der Luftfahrtwerkstatt kann von Schulen nachgebaut werden.
- Kraftsensoren und Rotationssensor und Interface der Fa. Vernier und Pasco, Software "LoggerPro", passend wahlweise für Mac OSX und Windows.

Modelle, Spielgerät, Bausätze, Preise 2004

- Gleiter "HandyFly" aus Weichschaum, Conrad Elektronik, www.conrad.biz, ca. € 13,-
- Modifikation "Zollstockflieger" aus "HandyFly", einer Holzleiste mit Maßstab, Gummibändern und eigenem Seitenruder

38

- Gummimotormodell (Bausatz) "mini light", Conrad Elektronik, ca. € 4,-
- Freiflugmodell "Boeing 747-400", Conrad Electronic, ca. € 1,-
- Balsa-Gleiter Bausatz 102.021 Opitec, <u>www.opitec.de</u> , € 2,30



Begleitmaterial für einen Praktikumstag für Schulklassen ab Jahrgang 5

- Styroporgleiter, aus Rohmaterial Opitec 703215 und 870045, > € 1,-
- Papprakete (Materialien siehe www.luftfahrtwerkstatt.de)
- Diverse Modelle und Bausätze aus dem Spielzeughandel
- Flattervogel: Lilienthalmuseum, Anklam und Spielwarenhandel, ca. € 10,-
- Hochstartflieger "Taifun" mit Startgummi, Günther, Conrad Elektronik, ca. € 17,-
- Frisbee Wham-O Professional ca. € 25,-, www.aerobie.com
- Aerobie Wurfring, ca. € 17,-, <u>www.aerobie.com</u>
- Aerobie Flying Disk, ca. € 17,-, <u>www.aerobie.com</u>
- Aerobie Bumerang-Dreieck, ca. € 8,-, <u>www.aerobie.com</u>
- Großer Heißluftballon: Malerabdeckplane 4 X 12,5m "leicht" (Baumarkt), Tesafilm, 2-3 Gaz-Cartouchenbrenner, Halteband (wichtig wegen Flugverkehr). Bitte beachten Sie unbedingt die Sicherheitshinweise im Text!

Links, Materialien, Adressen, Tipps, aktuelle Erweiterungen

...bekommen Sie auf unseren Internetseiten unter www.luftfahrtwerkstatt.de.

Ihr Feedback

Wir freuen uns über Ihren Besuch und bitten um Rückmeldungen: Lob, Kritik, Kommentare, Anregungen, Wünsche unter <u>info@luftfahrtwerkstatt.de</u> oder Fax 04543-888611.

Bitte nutzen Sie mit Kursen der Sekundarstufe II auch das Angebot der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH) "**DLR_Schoollab_Hamburg**" www.dlr-schoollab-hamburg.de .

Besondere Angebote für Schulen

Dem Angebot unserer Kooperationspartner entsprechend stellt die Luftfahrtwerkstatt für Sie Verbindungen zur Industrie und zu den Hochschulen her (Stand 2004).

- "Besondere Lernleistung" oder "Facharbeit" unter Nutzung der speziellen Möglichkeiten zur Thematik Flugzeugbau, Strömungsphysik einzelner Schülerinnen oder Schüler der Sek. II in Verbindung mit der Hochschule für angewandte Wissenschaften (HAW), Hamburg Berliner Tor
- "Besondere Lernleistung" oder "Facharbeit" unter Nutzung der speziellen Möglichkeiten zur Thematik Strömungsphysik, Strömungsmaschinen, Energietechnik einzelner Schülerinnen oder Schüler der Sek. II in Verbindung mit der Universität der Bundeswehr, Hamburg Holstenhofweg
- Lehrerfortbildung mit Werksbesichtigung der Fertigungsstätten bei Lufthansa Technik, Hamburg-Fuhlsbüttel
- Lehrerfortbildung mit Werksbesichtigung der Fertigungsstätten bei Airbus Deutschland, Hamburg-Finkenwerder
- Lehrerfortbildungen zum Rahmenplan Naturwissenschaften/Technik 5/6 im NW-Zentrum, Mümmelmannsberg 75, 22115 Hamburg oder Landesinstitut, Felix-Dahn-Str. 3, 20357 Hamburg unter www.li-hamburg.de/nwz, www.nw-zentrum.de und www.schul-physik.de
- Lehrerfortbildung zur Strömungsphysik Sek. II in Verbindung mit der Hochschule für angewandte Wissenschaften (HAW), Hamburg Berliner Tor
- Berufsorientierung: Lehrberufe im Umfeld des Luftfahrtstandorts Hamburg (Zusammenarbeit mit dem VDMA und dem Verband Nordmetall)
- Berufsorientierung: Studienangebote im Umfeld des Luftfahrtstandorts Hamburg (HAW, TUHH, Helmut-Schmidt-Universität)

Information und Anmeldungen zu diesen Angeboten unter

E-Mail: info@luftfahrtwerkstatt.de .



Anhang

Anregungen zur Erstellung von Arbeitsblättern Arbeitsblätter Daten / Tabellen Aufgaben



LU 1: Luft braucht Raum

Eine Wanne mit Wasser vorbereiten, ein leeres Glas kopfüber eintauchen: Die Luft lässt kein Wasser in das Glas

LU 2: Luftballon in der Flasche

Mit einem Strohhalm wird in einer geschlossenen Flasche ein Luftballon aufgepustet.

Warme Luft ist leichter als kalte Luft

LU 3: Ausdehnung von Luft bei Erwärmung

Material: Leere Glasflasche, Seifenwasser mit viel Spülmittel

Aufgabe: Verschließe die leere Flasche mit einer Seifenblase (Finger eintauchen und herüberwischen).

Erwärme dann die Flasche mit deinen Händen. Beobachte die Seifenblase. Was beobachtest du?

Erklärung:

Jetzt fehlt etwas Luft in der Flasche, damit ist der (warme) Inhalt leichter.

Die Dichte ist kleiner aber das Volumen bleibt gleich. Die Masse und das Gewicht in der Flasche sind jetzt kleiner.

- Warme Luft wird größer.
- In die Flasche passt jetzt weniger Luft.
- Der Inhalt ist leichter geworden.

Dichte ρ ("rho" in kg/m³)

Meist wird die Dichte aber in Gramm pro Kubikzentimeter (g/cm³) oder bei Gasen Kilogramm pro Liter (kg/L) gemessen, da das handlichere Zahlenwerte ergibt.



DI 1: Safttütenversuch

Wenn man eine Safttüte voll Wasser füllt und sie auf eine Waage stellt, so misst man eine Masse von 1000g (Gramm) = 1kg (Kilogramm).

Die Safttüte hat ein Volumen von 1L (Liter).

Material: Salz, Wasser, Mehrere Safttüten mit unterschiedlichen Füllungen.

Auftrag: Wiege die anderen Safttüten. Notiere die Massen in Gramm.

	Inhalt	Masse in Kilogramm
1.		
2.		_
3.		_
4.		

Füllt man die Safttüte voll mit Brennspiritus, so misst man für den Inhalt nur 769g, also ca 0,77kg. Füllt man die Tüte mit einem Block Eisen, so misst man aber etwa 7200g also 7,2kg.

Also kann die gleich große Safttüte mit ihrem Volumen von 1Liter verschiedene Massen haben. Brennspiritus und Wasser sind also unterschiedlich: Bezogen auf das Volumen 1L ist Brennspiritus leichter, hat weniger Masse. Man sagt, seine Dichte ist kleiner.

Dichte beschreibt also, wie viel Masse (und damit Gewicht) in ein bestimmtes Volumen passt. Dichte ist Masse pro Volumen.

Volumen ist ein anderes Wort für Rauminhalt.

Bei gleichen Volumina sind Flüssigkeiten oder Gase mit kleinerer Dichte also leichter als solche mit größerer Dichte.

LU 4: Halb mit Luft gefüllte Spritze zuhalten und Kolben nach außen ziehen

LU 5: Schnelles Öffnen einer Weithalsflasche mit Saft

Saft spritzt heraus. Überlege dir, wie man das erklären kann und besprich dies im Unterricht.

LU 6: Evakuierung einer Einweg-Getränkeflasche aus Kunststoff

Technische Anwendungen: Pumpen, Laubgebläse, Staubsauger, Trinkhalm

Wind und Fahrtwind

Fragen:

- Landungen und Starts macht man immer gegen den Wind, warum?
- Der Gegenwindkurs ist beim Segeln mit schnellen Katamaranen oder Surfbrettern anders als mit langsamen Segelbooten. Erkläre.



Viskoses Schweben als Nutzung der Luftreibung

LW 1: Baue einen Modellfallschirm aus einem Papiertaschentuch.

Material: Blatt Papier, Büroklammer, Papiertaschentuch, Nähgarn, Schere, Stoppuhr

LW 2: Langsames Sinken

Material: Ein Papierblatt, Büroklammer, Stoppuhr

- b) Lass das Blatt Papier mit Büroklammer von der Treppe im Foyer aus fallen und stoppe die Zeit.
- c) Falte es jetzt so, dass es bei gleicher Fallhöhe möglichst lange in der Luft bleibt. Stoppe die Zeiten und notiere sie.
- d) Teste den Papiertaschentuchfallschirm.
- e) Teste die Ahorn- oder Lindensaat. Beschreibe den Unterschied zu den anderen Objekten.

Luftreibung, Luftwiderstand

LW 4: Luftwiderstand im Strömungskanal

Luftwiderstand mit verschiedenen Körpern und unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten.

- a) Kugel
- b) Strömungskörper
- c) Fläche quer
- d) Fläche längs
- e) Hohlkugel Rundung vorn (Spezialanfertigung)
- f) Hohlkugel Öffnung vorn (Spezialanfertigung)



Durchführung:

Setze die verschiedenen Körper in die Halterung des Wagens. Notiere die Beobachtungen.

Das	habe	ich	aus	diesem	Ex	periment	gele	ernt:

Vergleichswerte verschiedener Körper (relativ)

Körperform	Strömungswiderstand
Strömungskörper	1
Zylinder gerundet länglich	2
Kugel	8
Fläche quer	20
Halbkugel, Öffnung vorn	24
Halbkugel, Rundung vorn	6



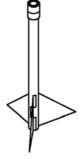
Stabilisierung und Steuerung beim Fliegen

Papprakete:

(Hinweis: Diese Rakete ist eigentlich ein Geschoss/Projektil, denn sie hat keinen eigenen Rückstoßantrieb. Sie wird abgeschossen.)

Dieser Versuch dient dazu, dass du erkennst, welche Bedeutung Leitwerke und die Gewichtsverteilung beim Fliegen haben, wann ein Objekt stabil fliegt.

Material: Papphülse, Rundstab, Gummiband, Pappkarte zum Ausschneiden, Schere, Klebe, Klebebandrollen, Stift



RA 1: Startrampe der Papprakete bauen (Stab, Kerbe, Gummi, Endstück)

RA 2: Leitwerk an Papprakete anbauen, Spitze beschweren

RA 3: Vergleichende Flugversuche der Papprakete und der Papphülse

Flüge im Foyer (Rakete vorwärts und rückwärts im Vergleich)



Die "Rakete" soll möglichst stabil und möglichst weit fliegen. Beschreibe den Unterschied: Papphülse / Rakete vorwärts / Rakete rückwärts.

Die Rakete mit Startrampe kannst du mit nach Hause nehmen!







Statischer Auftrieb

SA 2: Aufstieg des Cornelsen-Heißluftballons.

Material: Esbitkocher, Esbit, Feuerzeug, Blechrohr, Plastikballon

<u>Sicherheitshinweise:</u> Esbit-Qualm nicht einatmen. Das Rohr wird sehr heiß, auf keinen Fall wieder anfassen oder gegen den Ballon kommen lassen.

<u>Durchführung:</u> Anheizen mit einem Stück Esbit und das Rohr senkrecht auf den Kocher stellen. Warten bis die Flamme fast das Rohrende erreicht, Ballon zu zweit halten.

<u>Temperatur im Ballon:</u> Mit einem elektronischen Thermometer kannst du die Innentemperatur verfolgen.

SA 10: Start des großen Ballons im Atrium

mit Gas-Heizgebläse bzw. Gaz-Brenner

Eine Maler-Abdeckplane aus dem dünnsten Material, maximale Größe 12,5m X 4m wird vorsichtig im Foyer ausgebreitet und einmal umgeschlagen, sodass eine Tüte von 6,25 X 4m entsteht.

Achtung:

Nie dürfen Kinder unter die Folie geraten können, massive Erstickungsgefahr!

Die Seiten werden etwas eingerollt und in kurzen Abständen gewissenhaft mit Tesafilm verklebt. Unten bleibt eine Öffnung von ca. 1,5m. Eine Ecke wird an einer dünnen Halteleine befestigt, die immer fest gehalten wird.

Im Atrium wird die Öffnung über den Drahtkäfig gezogen, der verhindert, dass die Folie in die Flammen weht. Im Drahtkäfig werden mindestens vier Gaz-Cartouchenbrenner gezündet und voll aufgedreht, scharfe Flammen. **Kinder immer im sicheren Abstand halten.**

Achtung:

Nie dürfen Kinder unter die Folie geraten können, massive Erstickungsgefahr!

Nach einer Weile hebt sich der gesamte Ballon und steht in der Luft, ein beeindruckendes Bild. Bei wenig Wind kann man ihn in einer Hand halten und den Auftrieb spüren.

Vorsicht bei der Landung: **Kinder immer im sicheren Abstand halten.** Ballon greifen, am <u>oberen</u> Ende aufwickeln, sodass die warme Luft entweicht.

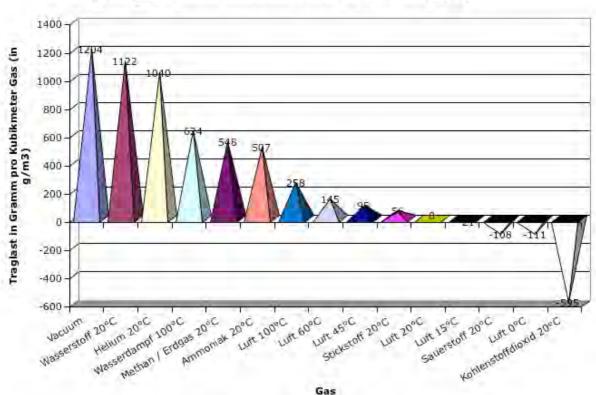
Sicherheitshinweise

- Auf Abstand bleiben bis kein Feuer mehr brennt.
- Verbrennungsgefahr am Lüfter
- Gas muss sicher brennen, sonst Explosionsgefahr des Ballons!
- Erstickungsgefahr und Unfallgefahr unter Ballongewebe bzw. Plastikplane bei Start und Landung
- Gasflasche darf nicht versehentlich erhitzt werden.
- Ballon darf sich nicht entzünden können (Gewebe hat Flammschutz)
- Ballon nie los lassen (Luftfahrt beeinträchtigt), immer mit Seil sichern
- Feuerlöscher im Auge behalten solange Feuer brennt



Aufgabe: Welches Gas trägt am besten?

Hier siehst du eine Tabelle, die die Tragkraft einer Gasfüllung in Luft bei 20°C Zimmertemperatur zeigt. Die Gase kennst du vielleicht nicht, hast aber einige Namen gehört. Vakuum ist natürlich kein Gas. Je höher die Pyramide, desto besser trägt das Gas.



Tragfähigkeit verschiedener Gase in Luft bei 20°C

Wenn man diese Zahlen kennt, kann man leicht ausrechnen, ob ein Ballon oder Zeppelin fliegt und wie viel Last er mitnehmen kann. Ein Kubikmeter ist ein Würfel mit einer Kantenlänge von 1m.

Welche Rolle spielt eigentlich das eigene Gewicht des Ballons? Finde heraus, ob folgende Ballons fliegen können:

Rauminhalt in Kubikmetern	Ballongewicht in Gramm (Gas)	Füllung	fliegt?
1	20	Luft 45°C	Tio Thoin
1	— -		□ ja □ nein
40	5000	Luft 60°C	□ ja □ nein
100	200000	Wasserstoff	□ ja □ nein
40	5000	Helium	□ ja □ nein
1	20	Kohlenstoffdioxid	□ ja □ nein

Denke nach:

Welche Probleme hätte ein Ballon mit Wasserdampf-Füllung? Welche Probleme hätte ein Ballon mit Vakuum als Inhalt?



Staudruckflieger

Als Modell kannst du es dir bauen: Kurze Flügel mit Begrenzung, großes Höhenruder. Eine genaue Bauanleitung wollen wir in Zukunft unter www.luftfahrtwerkstatt.de anbieten.

Mit dem Zollstockflieger kannst du mit etwas Geschick den Bodeneffekt in Bodennähe beobachten!



Die Unterschiede eines echten Bodeneffektgleiters zum Flugzeug und zum Flugboot und Wasserflugzeug kannst du diskutieren, wenn du die Aerodynamik verstanden hast. Unten ein Bild vom Revell-Bausatz, siehe Text weiter vorn im Heft.





Modell-Luftkissenboot

Unser Modell-Luftkissenboot, das du hier auf dem Wasser des Elbe-Lübeck-Kanals fahren siehst, kann in der Luftfahrtwerkstatt ferngesteuert über den Boden fahren. Und das reibungsarm auf einem echten Luftpolster. Angetrieben wird es durch zwei steuerbare Propeller.

Viel Spaß beim Testen.





Nutzung der Windkanäle

(Cornelsen Experimenta Koffer "Flug und Fliegen" mit Gebläse)

Füssigkeitsmanometer

Das <u>U-Rohr</u> wird mit einer Spritze so mit rot gefärbtem Wasser gefüllt, dass es etwa halb voll ist, ohne Luftblasen.

Wenn der Luftdruck auf beide Seiten gleich ist, steht das Wasser in beiden Schenkeln gleich hoch.

Wenn an einer Seite der Druck kleiner ist (Unterdruck), steigt dort der Wasserstand. Bei Überdruck sinkt der Wasserstand. Das ist klar, denn ein größerer Druck drückt das Wasser weg.

- Höherer Druck → tieferer Wasserstand
- Tieferer Druck → höherer Wasserstand

Wenn man nur <u>eine Seite</u> anschließt, dann <u>vergleicht man diesen Druck mit dem Luftdruck</u> im Raum.

Schließt man <u>beide Seiten</u> an unterschiedliche Messstellen an, so sieht man den <u>Druckunterschied</u> zueinander.

Wenn die Änderung im Wasserstand zu klein ist, so kann man das U-Rohr schräg stellen. Jetzt ist die Veränderung besser sichtbar.

Man kann auch ein neues U-Rohr zusammenbauen, das links ein Vorratsgefäß hat, das uns nicht interessiert und rechts ein sehr schräg liegendes Rohr mit Skala hat. Dieser Aufbau heißt **Schrägrohrmanometer**. Auch hiermit kann man den Druckunterschied zum Luftdruck im Raum oder zu einer anderen Messstelle messen.

Das Schrägrohrmanometer ist besser für kleine Druckunterschiede.

Um den Druck direkt ablesen zu können, muss man etwas über die Wassersäule wissen. Das machen wir in höheren Jahrgängen.

Vielleicht ein interessanter Hinweis: Der normale Luftdruck kann Wasser im Manometer etwa 10 Meter hoch drücken, wenn auf der anderen Seite ein Vakuum ist!

Luftstrom-Regelung

Die graue Kunststoffklappe am Lüfter kannst du seitlich hochklappen (graue Schraube etwas lösen). Damit kannst du den Luftstrom regeln.

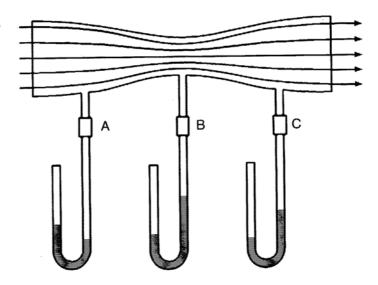
AE 1: Bernoulli-Effekt 1: Venturirohr

<u>Aufbau:</u> Lüfter, Aluschiene und Venturi-Glasrohr mit Flüssigkeitsmanometern, Gebläse

<u>Auftrag:</u> Beobachte die drei Drücke bei verschiedenen Luftströmungen.

<u>Befund:</u> Je schneller die Luft im Rohr, desto kleiner der statische Druck ("Saugeffekt").

"Schnelle Luft zieht an".



AE 2: Bernoulli-Effekt 2: Gläserne Wasserstrahlpumpe

<u>Auftrag:</u> Untersuche den Aufbau der Wasserstrahlpumpe. Mit ihr kann man durch fließendes Wasser Luft ansaugen. Du kannst das Innere sehen. Mache dir Gedanken zur Funktion.

<u>Lösung:</u> Bernoulli-Effekt wie in Versuch AE 1. An der engen Stelle ist das Wasser sehr schnell. Der Druck ist so klein, dass sogar Luft seitlich angesaugt werden kann (starker Unterdruck, Mitreißen der Luft)

AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole

Material: Sprühflasche, Glasrohr mit Spitze über mit Wasser gefülltem Röhrchen.

Auftrag: Puste durch das Röhrchen.

Erklärung: ...

<u>Lösung:</u> Die schnelle Luft hat einen geringeren Druck. Das Wasser wird hoch gedrückt, da es oben nicht mehr so stark belastet wird. Es wird dann von der Luft mitgerissen. <u>Anwendungen:</u> Parfüm-Sprühflaschen, Lackierpistolen

AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon

Ballon pustet durch das Loch in einer Platte. Papier haftet.

Alternativ: Ein großes Holzbrett mit Kompressor (oder Pressluft aus LKW-Reifen).

Merke: Schnell strömende Luft hat einen kleineren statischen Druck als die Umgebungsluft.



AE 6: Coanda-Effekt und Luftreibung: Ball im Luftstrom.

<u>Material:</u> Lüfter, Styroporball, Tischtennisball, Blechrohr

<u>Durchführung:</u> Stelle den Lüfter senkrecht, öffne die Klappe ganz. Setze jetzt den Styroporball in den Luftstrom.

(Achtung: Diese Bilder zeigen nicht unsere Lüfter, sie haben eine andere Düse).

<u>Auftrag:</u> Probiere jetzt verschiedene Dinge aus und versuche, ein gemeinsames Erklärungskonzept zu finden.

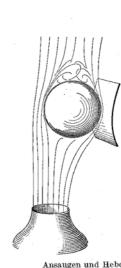
- Untersuche den Luftstrom mit der Hand, ob er wie eine Säule strömt (innen am stärksten) oder ob die Ränder stärker strömen (wie ein "Topf").
- Styroporball wird kurz über dem Lüfter seitlich in den senkrechten Luftstrom hineingezogen. Warum?
- Ball im schrägen Luftstrom.
- Gewölbtes Blech im vertikalen Luftstrom. Ein gewölbtes Blech wird seitlich an den Luftstrom gehalten.
- Das Blechrohr wird genau über den kleinen roten Ball im Lüftstrom gehalten.

Anregung: Fragen, die zu klären sind: Warum wird der Ball hoch gedrückt? Warum pendelt sich die Höhe auf einen bestimmten Wert ein?

Warum fällt der Ball seitlich nicht aus dem Luftstrom?

Vier Bälle schwebend im senkrechten Luitstrom.





Ansaugen und Heber eines freischwebenden Balles mit einer gewölbten Platte.



Eine zwischen zwei Stielen lose ehaltenes Stück Stoff wölbt sich nach dem Luftstrom

Deine Erklärungen:

Zum Thema Fliegen.

Diskussion

Wir wollen ein Flugzeug zum Fliegen bringen. Was muss die Tragfläche dazu mit der Luftströmung machen?



Man erreicht einen Auftrieb, indem die Luft verschieden schnell strömt. Wo muss sie schneller strömen, damit das Flugzeug nach oben gehoben wird? Beschreibe:

Untersuchungen am Flügel (Tragfläche)

Wir messen, in den folgenden Versuchen, ob an einem Flügel Druckunterschiede zu beobachten sind, ob er wirklich nach oben gehoben wird, ob die Luft ihn auch nach hinten drückt und wie er aussehen und eingebaut werden muss, damit ein Flugzeug wirklich fliegen kann. Und das möglichst stabil und sicher.

AE 10: Druckverteilung am Profil

Versuch für kleinere Jahrgänge:

Ein passendes Blatt Papier wird bei **Versuch AE 11** über das Profil gelegt. Im Luftstrom zeigt sich, wo Unterdruck herrscht.

Lange Tonbänder, am Lüfterausgang befestigt, zeigen gut, wie die Luft abgelenkt wird.

Versuch für höhere Jahrgänge:

<u>Aufbau:</u> Tragflächenmodell mit Messöffnungen, frei am Stativ. Schräges Flüssigkeitsmanometer (Schrägrohrmanometer) mit Vorratsgefäß und Messsonde, Gebläse, Arbeitsblatt zur Druckerfassung.

Auftrag:

Stelle verschiedene Anstellwinkel ein und führe mit jedem Winkel folgende Versuche durch. Winkel 0°, 10°, 20°, -10°, -20°.

- a. Miss und notiere die Drücke <u>oben</u> an den Stellen vorn, mittig und hinten (Sonde von unten hineinstecken). Wo ist der Druck am kleinsten?
- b. Miss die Drücke <u>unten</u> an den Stellen vorn, mittig und hinten (Sonde von oben hineinstecken). Wo ist der Druck am größten?
- c. Bei welchem Anstellwinkel gibt es den größten Druckunterschied (Druck unten minus Druck oben)?

Anstellwinkel	-20°	-10°	0°	10°	20°	
a. Druck oben						
in Skalenteilen						
b. Druck unten						
in Skalenteilen						
c. Druckdifferenz						
in Skalenteilen						

MO 5: Aufbau Freiflugmodell B 747-400



Als erstes müssen die Schlitze für die Flügel frei gemacht werden, vorn und hinten.







Dann werden die Flügel vorsichtig aber deutlich geknickt, damit die aerodynamische Form entsteht: Unten hohl. Bitte achte darauf, dass dabei keine falschen Knickstellen entstehen. Beim Knicken müssen die Flügel auch etwas



V-förmig nach oben knicken.



Jetzt wird das Plastikteil so in den Rumpf gesteckt, dass es nach oben gepfeilt ist.





Jetzt steckst du die Flügel hinein (kurze Knickseite vorn) und schiebst das Plastikteil etwas nach vorn.

Jetzt stecke das Höhenleitwerk hinein.

Alle Flügel werden mit den Klebestreifen von unten befestigt. Fertig.



Trimmung



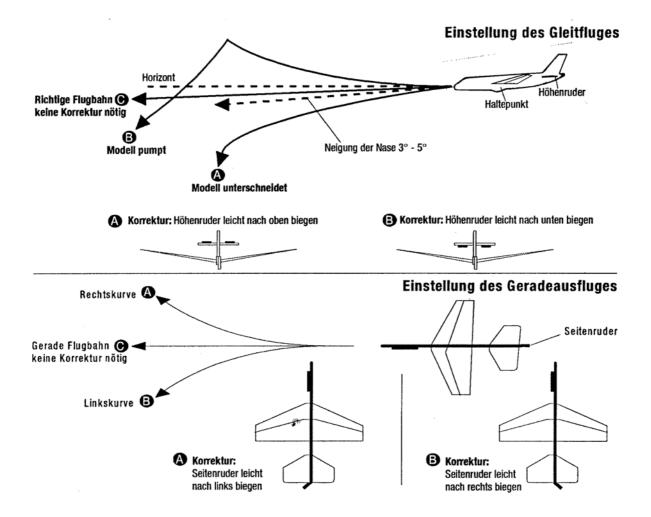
Beim Probefliegen siehst du, ob die Trimmung gut ist.

Durch Einstellung der Höhenruder kannst du die Flugeigenschaften verbessern.

Probiere es aus und merke dir, wie die Veränderungen wirken.



TE2: Trimmung durch Höhen- und Seitenruder



Man kann die Trimmung auch durch Verschieben der Flügel erreichen. Dies geht gut beim Balsaholz-Modell "Luftfahrtwerkstatt" und beim Zollstockflieger.

Notiere die Ergebnisse. Bei welcher Flügelposition unterschneidet das Modell (A oben) und bei welcher Position hat es die richtige Flugbahn (C oben)?

Durch ein Zusatzgewicht kann man auch trimmen.

An welcher Position bringt es das Flugzeug zum...

Unterschneiden (A)

Pumpen (B)

Spielt es keine Rolle.

Uvorne (Bug)

Flügelmitte

Ihinten (Heck)

Ihinten (Heck)

Ihinten (Heck)

Ihinten (Heck)

Ihinten (Heck)

Ihinten (Heck)

SP 1: Flugtests verschiedener Modelle (Sportplatz):

- Hubschrauberspiel,
- · Weiße Gleiter,
- Gleiter mit Gummistart,
- Selbst aufgebaute Modelle,
- Gummimotor-Modelle,
- Eigene Pappraketen,
- Frisbee (Wham-O und Aerobie Disk),
- Aerobie Ring,
- Aerobie Dreieck,
- Bumerang,
- Wasserraketen,
- Wasserraketen mit Getränkeflasche und Fahrradpumpe,
- <u>bei Sonnenschein:</u> Cornelsen Solar-Blimp (schwarzer Beutel als "Zeppelin")

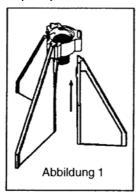


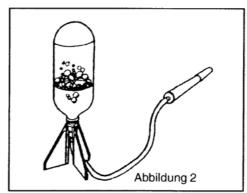




Die Wasserraketen mit Getränkeflasche

<u>Material:</u> Kleine Rakete, Pumpe, Kunststoff-Getränkeflasche, Leitwerke mit Verschraubung, Schlauch, Fahrradpumpe, Wasserkanister





Für die kleine Rakete und die Flaschenrakete gelten:

Der Tank muss halb mit Wasser gefüllt werden, über dem Wasser muss Druckluft sein. Diese bringen wir durch Aufpumpen hinein.

Beim Flug drückt die Druckluft das Wasser hinaus, die Rakete stößt sich vom Wasser ab und wird nach oben gedrückt.



AE 11: Auftrieb (3er Gruppen)

Aufbau 2 Sätze mit Tragflächenmodell zwischen Plexiglas auf einer Waage, Gebläse Auftrag:

- a. Finde heraus, wie sich der Auftrieb verändert, wenn der Anstellwinkel verändert wird. Beschreibe die Zusammenhänge.
- Finde heraus, wie sich der Auftrieb verändert, wenn der Luftstrom verändert wird. Beschreibe die Zusammenhänge.
 (Winkel 0° gleich lassen, dann 10°, 20°, 30°)
- c. Untersuche das falsch herum eingespannte Profil. Was ändert sich?

Arbeitsblatt

a.

Anstellwinkel	Auftrieb in cN
-20°	
-10°	
-5°	
0°	
5°	
10°	
20°	
40°	

b. Zusammenhang zwischen Luftströmung und Auftrieb:

c. Besonderheiten bei kleinen oder großen Anstellwinkeln:

Optimierung Auftrieb / Luftreibung

Versuchsreihe für höhere Jahrgänge

AE 13: Welches Flügelprofil hat welche Vorteile?

Aufbau mit auswechselbaren Tragflächenmodellen, frei aufgehängt, an Kraftsensoren. Anzeige per Computer. Siehe Bedienungshinweise im Praktikum!

Auftrag:

Probiere verschiedene Profiltypen aus. Beschreibe die Effekte:

- Größte Auftriebskraft,
- kleinste Reibungskraft,
- bester Gleitwinkel (siehe Tabelle bzw. Taschenrechner)

Führe folgende Versuche nacheinander mit jedem Profil durch:

a) Notiere Auftrieb und Luftreibung bei verschiedenen Anstellwinkeln. Beschreibe die Zusammenhänge.

Anstellwinkel	-20°	-10°	-5°	0°	5°	10°	20°
Auftrieb F _a							
Luftreibung F _W							

b) Stelle einen schwächeren Luftstrom ein und notiere Auftrieb F_a und Luftwiderstand F_w bei -10° , 0° , 10° und 20° . Beschreibe die Veränderung.

Anstellwinkel	-20°	-10°	-5°	0°	5°	10°	20°	
Auftrieb F _a								
Luftreibung F _W								
Veränderung zu a:								

c) Gib für jedes Profil drei Anstellwinkel an, die du wichtig findest und beschreibe die Vor- und Nachteile einer Tragfläche mit dieser Stellung.

<u>Profil</u>	<u>Anstellwinkel</u>	<u>Bemerkung</u>
Platte	2	
Platte, abgerundet	2	
Gerades Blech	2	
Gewölbtes Blech	2	
Symmetrisches Profi (dünn)	2	
Raues Profil	2	
Flachprofil	2	
Hohlprofil	1 2	

AE14: Optimierung des Anstellwinkels

Aufbau mit auswechselbaren Tragflächenmodellen, frei aufgehängt, an Kraftsensoren. Anzeige per Computer Auftrag:

- a. Zeichne eine grafische Darstellung der Auftriebskraft in Abhängigkeit vom Anstellwinkel auf Millimeterpapier.
- b. Zeichne eine grafische Darstellung der Luftreibungskraft in Abhängigkeit vom Anstellwinkel auf Millimeterpapier.
- c. Zeichne eine grafische Darstellung der Auftriebskraft in Abhängigkeit von der Reibungskraft auf Millimeterpapier.

Gib drei Anstellwinkel an, die du wichtig findest und beschreibe die Vor- und Nachteile einer Tragfläche mit dieser Stellung.

	Winkel 1:°, Beschreibung:
	Winkel 2:°, Beschreibung:
	Winkel 3:°, Beschreibung:
d.	Stelle dir vor, ein von dir gebautes Flugzeug fliegt langsamer, als geplant. Würder sich neue Probleme ergeben? Wiederhole dazu alle Versuche dieser Station (ohne Zeichnungen) für einen schwächeren Luftstrom. Findest du wichtige Unterschiede Was heißt das für ein Flugzeug?
	Unterschiede zum schnellen Luftstrom:
	Probleme für ein langsames Flugzeug:

ZO1: Technik/Trimmung: Zollstockflieger

Versuch für alle Jahrgänge

Flugzeug mit variabel anbringbaren Tragflächen (Holzlatte mit Maßstab, Flügel und Höhenleitwerk des "Handyfly" Weichschaummodells)

<u>Auftrag:</u> Finde durch Überlegen und Probieren heraus, wie große Flügel (Tragflächen) und kleine Flügel (Höhenleitwerk) angeordnet sein können, damit



ein Flugzeug stabil fliegt. Es gibt verschiedene Möglichkeiten. Notiere die Position (Rand des Flügels).

- Es soll gleiten, nicht fallen.
- Es soll auch bei unterschiedlicher Geschwindigkeit fliegen.
- Es soll beim Flug seine Fluglage stabilisieren (nicht in einer Kurve nach oben oder unten fliegen, sondern gerade).
- Wird es langsamer, so soll es die Nase (Bug) nach unten nehmen und wieder Fahrt aufnehmen.
 - Wird es zu schnell, so soll es die Nase (Bug) nach oben nehmen und das Modell soll steigen, dabei Fahrt verlieren.
 - Der Wechsel zwischen diesen beiden Veränderungen soll sanft ablaufen, ohne dass das Modell zu stark schaukelt.



Fall A:

Ist das Höhenleitwerk hinten angeordnet, so soll es nicht tragen sondern beim Flug nach unten drücken, also Abtrieb produzieren!

Hierzu muss es einen negativen(!) Anstellwinkel haben und/oder möglichst ein aerodynamisches Flügelprofil haben, das auf dem Kopf steht. Bei diesem Tornado kannst du sehen, dass es tatsächlich falsch herum geformt ist.

Die Tragflächen müssen dazu so angebaut werden, dass das Flugzeug leicht nach vorn kippt, wenn die Tragflächenmitte auf den Fingern liegt.

Grund: Beim zu langsamen Fliegen reißt die Strömung zuerst am kleineren Höhenleitwerk ab während die Tragflächen noch tragen. In diesem Moment soll das Flugzeug von selbst in den Sinkflug gehen um wieder schneller zu werden. Hier heißt das, dass das Höhenleitwerk hinten nicht mehr nach unten drückt und somit das Heck hoch kippt.

Fall B:

Ist das Höhenleitwerk vorn angeordnet (ungewöhnliche Bauweise), so soll es tragen, also Auftrieb produzieren. Hierzu muss es einen positiven Anstellwinkel haben und möglichst ein aerodynamisches Flügelprofil haben, richtig herum angebaut wie bei der Tragfläche.

Die Tragflächen müssen dazu auch so angebaut werden, dass das Flugzeug leicht nach vorn kippt, wenn die Tragflächenmitte auf den Fingern liegt.

Hier heißt dies, dass das Höhenleitwerk vorn nicht mehr trägt und somit die Nase (Bug) nach unten kippt. Das Flugzeug geht in beiden Fällen sanft in den Sinkflug über und wird schneller, bevor die Strömung an den Tragflächen abreißt.



Arbeitsblatt Zollstockflieger

1. Der Aufbau:



Ihr legt das Gummiband wie oben abgebildet um den Zollstock und positioniert die Tragfläche zwischen dem Ende des Zollstocks und dem Gummi.



Dann zieht ihr das Band über die Tragflächen und legt es um den Zollstock. Achtet darauf, dass es relativ stramm sitz, da die Tragflächen sonst schnell verrutschen (evtl. Knoten ins Gummi)

Außerdem solltet ihr darauf achten, dass die Tragflächen sowie das Höhenruder in die richtige Richtung zeigen!!!!!! (Das Höhenruder zeigt mit der geraden Seite nach hinten, die Tragfläche ist nach hinten abgeflacht.)

2. Jetzt kann es losgehen:

Verschiebt nun die Tragflächen und das Höhenruder, wie unten angegeben, auf dem Zollstock und notiert die Ergebnisse. Wann fliegt es am Besten???

Abstand von vorne bis zu den Tragfl.	s zu hinten bis zum Flugv		verh	lten	Beschreibung, Erklärung (Vermutungen??)
2cm	2cm (63cm)	0	9	8	
2cm	37cm	₿	9	9	
10em	5em	0	9	8	
33em	1cm	0	9	8	
40cm	5cm	0	⊜	8	
32cm	17cm	0	⊜	8	

ZO2: Technik/Lenkung: Zollstockflieger

Flugzeug mit drehbarem Seitenruder

(Holzlatte mit Maßstab, Flügel und Höhenleitwerk des "HandyFly" Weichschaummodells, Seitenruder zum Einstecken in das hintere Gummiband)

<u>Auftrag:</u> Finde durch Überlegen und Probieren heraus, wie das Seitenruder wirkt.

Beschreibe es hier:



Die hohe Kunst des Fliegens: Der Vogelflug

VO1: Vogelmodell "Flattervogel"



Auftrag:

Teste das Modell im Vorraum und beschreibe das Flugverhalten. Verändere den Anstellwinkel des Schwanzes.

Vorsicht:

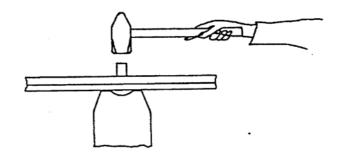
Das Modell ist zerbrechlich. Hinten Anfassen beim Kurbeln, nicht an den Flügeln reißen oder drücken. Nicht zu hart aufziehen, denn dann reißt das Gummi.



Technik Flugzeugbau

TE 1: Nietübungen zum Flugzeugbau bei Airbus

Die Firma **Airbus Deutschland** hat uns als Beispiel für eine Arbeit beim Flugzeugbau Originalniete und Originalbleche vom Flugzeugrumpf der Airbus-Flugzeuge vorgebohrt zur Verfügung gestellt.



Dazu gibt es zwei Sorten von Original Flugzeugnieten.

Typ 1 hat einen Punkt auf dem Kopf und ist aus Aluminium, das immer etwas weich ist und so vernietet werden kann.

Typ 2 hat eine Punktreihe auf dem Kopf und ist eine harte Aluminiumlegierung, die sehr gut hält. Um sie zu nieten, kann man sie weich machen: Bei 480°C 30min lang glühen, dann mit Wasser schockkühlen. Jetzt ist sie weich und kann ca. zwei Stunden verarbeitet werden. Sie bleibt weich, wenn man sie in einer Kühltruhe aufbewahrt. Das tut man in der Flugzeugwerft in Finkenwerder. Die Monteure entnehmen weiche Niete und tragen sie in einem Eimerchen mit Uhr. Diese überwacht die zwei

Einschnittige Nietverbindungen
 a. Einreihige Überlappverbindung

 b. Zweireihige Überlappverbindung

Nietverbindungsarten

Stunden zur Verarbeitung. Danach müssen neue Niete genommen werden.

Hier sollst du sie im harten Zustand verarbeiten. Geht das?

<u>Durchführung:</u> Spanne die Niethilfe in den Schraubstock ein. Lege zwei Bleche aufeinander und verniete sie mit einem weichen und einem harten Niet. Dazu muss der Nietenkopf unten sein.

Man nietet mit <u>vielen kleinen Schlägen</u>, sodass sich ein zweiter Nietenkopf bildet. Mit brutalen Schlägen erreicht man nichts und zerstört den Niet.

Ziel: Die Platten sollen fest zusammenhalten wie Rumpfteile des Flugzeugs. Beim Nieten dürfen sie natürlich nicht verbeult werden!



Betrachte und untersuche die Ausstellungsstücke im Raum und im Foyer der Schule unter Anleitung

- Hängegleiter "Superfex"
- Gleitschirm / Paraglider
- Rettungsfallschirm
- Turbinenschaufeln und andere Triebwerksteile der LH Technik
- Deckensegment eines Airbus
- Serviceluke eines Airbus
- Elektrokabelbaum einer Airbus-Kabine
- Propellerflügel einer Tupolev

Sicherheitshinweis zu den Fluggeräten

Außerhalb der Schule ist das Testen extrem gefährlich und kann tödlich enden: LEBENS-GEFAHR! Schon Stürze aus 2 oder 3m Höhe führen leicht zu schwersten Verletzungen. Es ist verboten, den Hängegleiter, den Fallschirm oder den Gleitschirm aus dem Gebäude zu entfernen.

Der Hängegleiter hat keine Flugzulassung mehr und ein Umgang mit ihm außerhalb des Gebäudes ist für alle Personen unter Strafe verboten. Das gilt auch für Piloten.

PA1: Papierflieger (Abschlussversuch)

Falte zwei verschiedene Papierflieger nach Anleitung und teste sie im Foyer der Schule. Setze alle Erkenntnisse über Aerodynamik und Flugtechnik ein und erkläre dann die Bedeutung der Faltungen: Trimmung (Gewichtsverteilung), Flügelstellung, Pfeilung, Schwerpunkt, Steuerklappen

Flugsimulator

Der Flugsimulator ermöglicht eine Übung, ein Verkehrsflugzeug zu steuern. Dieser Simulator soll sogar zur Pilotenausbildung eingesetzt werden ("X-Plane"). Er läuft auf den Betriebssystemen Windows, Mac OSX, Unix (Linux, Ubuntu ...).

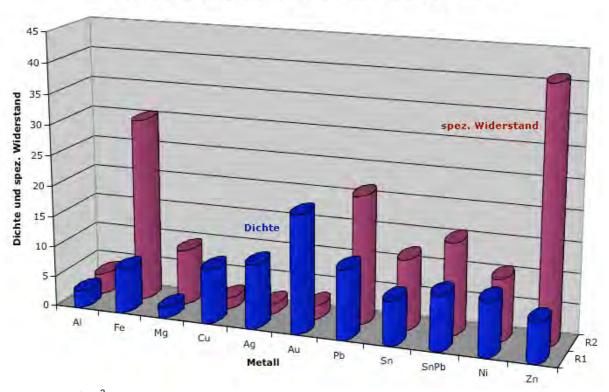
Der Versuch einer Landung ist schwierig aber interessant. Du kannst zusehen oder es einmal selbst versuchen. Starte mit einem Segelflugzeug.

Bedienung per Joystick, Szene am Bildschirm oder Projektion per Beamer auf Leinwand.

ATE: Berechnung der Vorteile von Aluminiumkabeln im Flugzeug (ab Jahrgang 9)

Die Luftfahrtwerkstatt hat einen langen Kabelbaum als Anschauungsobjekt. Wie du sehen kannst, bestehen die Kabel im Inneren aus Aluminium. Sonst kennt man eigentlich nur Kabel, die innen Kupfer haben. Das hat verschiedene Gründe. Unten siehst du eine Tabelle einiger Daten bekannter Metalle. Begründe, warum einerseits Kupfer für elektrische Kabel interessant ist und andererseits im Airbus Aluminiumkabel eingebaut werden.

Dichte und spezifischer Widerstand einiger Metalle



Dichte ρ in g/cm³ Spezifischer Widerstand in $\Omega {\cdot} mm^2/m$ Schmelzpunkt ϑ_s in °C

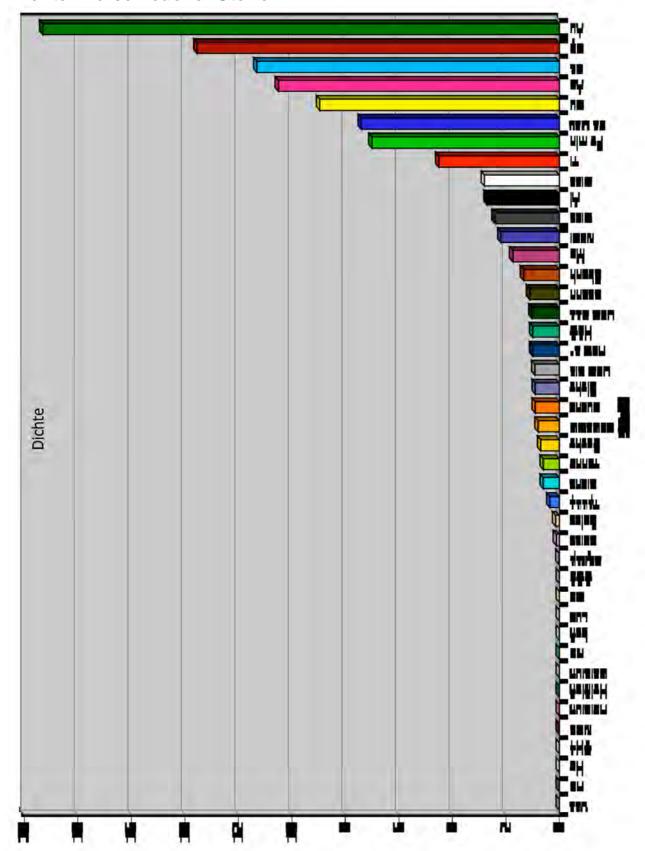
Metall		ρ	spez.Wid.	Smp ϑ_s	Preis ca.
		g/cm ³	Ω ·mm ² /m	°C	US\$/lb
Aluminium	Al	2,8	0,034	650	0,80
Eisen	Fe	7,3	0,3	1230	
Magnesium	Mg	1,77	0,09	620	
Kupfer	Cu	8,94	0,017	1080	1,20
Silber	Ag	10,5	0,0159	962	
Gold	Au	19,3	0,022	1064	
Blei	Pb	11,34	0,21	327	
Zinn	Sn	7,26	0,115	232	
Lötzinn 50:50	SnPb	8,89	0,15	215	
Nickel	Ni	8,89	0,10	1440	
Zink	Zn	6,5	0,41	1855	

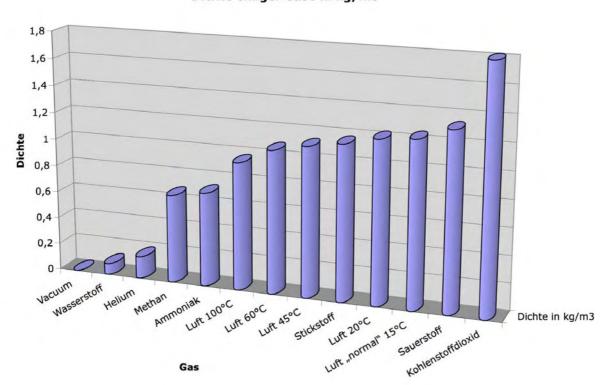
Begleitmaterial für einen Praktikumstag für Schulklassen ab Jahrgang 5

Arbeitsaufträge (Material: Taschenrechner, Papier)

- 1. Berechne den Widerstand R eines Aluminiumkabels mit einem Querschnitt von A=5mm² und einem Meter Länge.
- 2. Berechne den Widerstand R eines entsprechenden Kupferkabels.
- 3. Berechne den Querschnitt A eines Kupferkabels mit dem gleichen Widerstand R wie das Aluminiumkabel unter 1.
- 4. Vergleiche die Preise und Gewichte (Massen m) der Kabel unter 1 und 3. Diskutiere auch Vor- und Nachteile.
- 5. Begründe die Entscheidung, im Flugzeug hauptsächlich Aluminiumkabel zu verwenden.

Dichten verschiedener Stoffe





Dichte einiger Gase in kg/m3

Berechnung des Auftriebs

(höhere Jahrgänge)

Um den Auftrieb in Luft zu berechnen, benötigt man das Volumen des Fahrzeugs (Ballon, Zeppelin). Beim kugelförmigen Ballon ist dies einfach. Das Kugelvolumen ist $V = 4/3 \pi r^3$. Der Radius r ist hier (wie immer) der halbe Durchmesser d, also r = d/2. Damit kann man die Volumenformel schreiben als $V = 4/3 \pi d^3/8$, also $V = 1/6 \pi d^3$. Bei unserem Folienballon mit etwa d = 2m ist dann $V = 4,2m^2$.

Beim Zeppelin ist es etwas schwieriger. Eine gute Näherung ist die Zylinderformel, wobei man die Rundungen mittelt (Länge abschätzen) $V = \pi r^2 I$ (I ist die Länge). Besser ist es, den Zylinder plus zwei Halbkugeln zu nehmen. Genau genommen ist der Zeppelin hinten ein Kegel. Viel Spaß...

Den **Auftrieb** F_a der Gasfüllung berechnet man nach: $F_a = G_{Luft} - G_{Gas}$. Ein positiver Wert bedeutet hier Auftriebskraft nach oben, wobei gilt: $G = m g = \rho \cdot V \cdot g$.

g = 9,81N/kg = 9,81m/s², m ist die Masse in kg, ρ ist die Dichte in kg/m³ und V ist das Volumen in m³.

Die **Flugfähigkeit** eines Auftrieb-Fahrzeugs berechnet man, indem man nachrechnet, ob die Gesamtdichte ρ_{ges} des Fahrzeugs gleich der Dichte der verdrängten Luft ist.

Gesamtdichte des Fahrzeugs: Gesamtmasse Fahrzeug m_{ges} in Kilogramm (Hülle, Gondel und alles andere) geteilt durch Volumen des Fahrzeugs V_{ges} ,

Dichte der Luft: 1,225 kg/m³ bei 20°C, weitere Temperaturen siehe Tabelle.

Bedingung: $\mathbf{m}_{ges} / \mathbf{V}_{ges} = \rho_{Luft}$.

Bei m_{ges} / V_{ges} < ρ_{Luft} steigt das Fahrzeug, bei m_{ges} / V_{ges} > ρ_{Luft} sinkt es.



		% von	% von Luft	% von Ei-	% von Alu-	
Abk.	Dichte	Wasser	20°C	sen 7,2		<u>Bemerkungen</u>
Vac	0,000000	0,00				der leere Raum
H ₂	0,000082	0,01	7			bestes Traggas, billig, brennbar
He	0,000164			,		teures Edelgas, unbrennbar
CH ₄	0,000656		54			Erdgas, Biogas, brennbar
NH ₃	0,000697	0,07	58	0,01		ätzendes Gas, billig
Heißluft	0,000946				0,04	· U
Heißluft	0,001059	0,11	88	<u> </u>	0,04	
Heißluft	0,001109	0,11	92	0,02	0,04	
N ₂	0,001148	0,11	95			unbrennbar, ungiftig, billig
Luft	0,001204	0,12				Mischung!
Luft	0,001225	0,12	102	0,02		Mischung!
O ₂	0,001312	0,13				brandfördernd
CO ₂	0,001799	0,18				unbrennbar, billig
Styrop	0,013500	1,35		0,19		Flugzeugmodellbau, Isolierung
Balsa	0,110000	11,00				Flugzeugmodellbau
Balsa	0,140000	14,00				Flugzeugmodellbau
Tanne	0,350000	35,00			12,96	• •
Eiche	0,600000	60,00		8,33	22,22	
Tanne	0,600000	60,00		8,33	22,22	
Buche	0,700000	70,00		9,72	25,93	
C ₂ H ₅ OH	0,789320	78,93		10,96		100% Trinkalkohol
Buche	0,900000	90,00		12,50	33,33	
Eiche	0,900000	90,00	74751	12,50	33,33	
H₂O Eis	0,916700	91,67	76138			Eisberge, Eiswürfel
H ₂ O 4°	0,999975	100,00	83054	13,89	37,04	im Winter unten im Teich
H ₂ O	1,000000	100,00			37,04	
H ₂ O See	1,028000	102,80	85382	14,28	38,07	Ozean
Ebenh	1,110000	111,00	92193	15,42	41,11	selten
Ebenh	1,330000	133,00		18,47	49,26	selten
Mg	1,740000	174,00	144518	24,17	64,44	n Flugzeuglegierungen, Anspitzer
NaCl	2,180000	218,00	181063	30,28	80,74	
Glas	2,400000	240,00	199336	33,33	88,89	
Al	2,700000	270,00	224252	37,50	100,00	Flugzeuge, Schnellfähren
Glas	2,800000	280,00	232558	38,89	103,70	
Ti	4,510000	451,00	374585	62,64	167,04	Flugzeugteile, chirurgische Implantate
Fe min	7,000000	700,00	581395	97,22	259,26	Schiffe, Autos
Fe max	7,400000	740,00	614618		274,07	Schiffe, Autos
Cu	8,960000	896,00	744186	124,44		Kabel, Dächer
Ag	10,500000	1050,00	872093	145,83	388,89	Schmuck
Pb	11,300000			156,94	418,52	weich, giftig
Hg	13,545850	1354,59	1125071	188,14	501,70	flüssig, sehr giftig
Au	19,300000	1930,00	1602990	268,06	714,81	Kontaktbeschichtung elektrisch

Informationen zur Atmosphäre

Die Standarddaten der Atmosphäre (US standard atmosphere) sind:

Druck in Meereshöhe p = 101325 Pa = 760 mm Hg

Temperatur T = 288,15 K = 15°C

Dichte $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3 = 0,001225 \text{ g/cm}^3$

Molare Masse M = 28,964 g/mol

Zusammensetzung der Luft in %

Stickstoff	N_2	78,084
Sauerstoff	O_2	20,9476
Argon	Ar	0,934
Kohlenstoffdioxid	CO_2	0,0314
Neon	Ne	0,001818
Helium	He	0,000524
Krypton	Kr	0,000114
Methan	CH_4	0,0000087
Wasserstoff	H_2	0,00005

Schallgeschwindigkeit in Luft je nach Luftfeuchtigkeit bei 20°C

344 m/s (343,477 - 344,742 m/s)

1238,4 km/h (1236,52 – 1241,07 km/h)

Schallgeschwindigkeit für trockene Luft als ideales Gas:

T in °C	v in m/s	v in km/h
-100	263,5	948,6
-50	299,5	1078,2
20	343,4	1236,24
40	354,8	1277,28
80	376,7	1356,12

Druckunterschiede spielen fast keine Rolle für die Schallgeschwindigkeit.

Höhenformel der Atmosphäre (Druck p abhängig von der Höhe h in m)

Näherung: $p = p_0 \cdot e^{(-125 \cdot h)}$. Genauer: $p = p_0 \cdot (1 - (0,0065 \cdot h / 288m))^{5,255}$

Begleitmaterial für einen Praktikumstag für Schulklassen ab Jahrgang 5

BEGLEITMATERIAL FÜR EINEN PRAKTIKUMSTAG	1
VORWORT	2
DAS FLIEGEN	3
Schwebe- und Flugverfahren	3
Supraleiter-Modellbahn	5
Magnetschwebebahn Transrapid	
VORVERSUCHE UND THEMEN ZUR LUFT	6
Physikalische Größen	
VISKOSES SCHWEBEN ALS NUTZUNG DER LUFTREIBUNG	10
Luftreibung, Luftwiderstand	
GUTE TRICKS, UM DIE STRÖMUNG ZU VERBESSERN	
STABILISIERUNG UND STEUERUNG BEIM FLIEGEN	
RÜCKSTOß	12
Die Wasserraketen	
Die Sylvesterrakete	
Raketenmotoren	
Booster der Space Shuttle / Feststoffraketen	<i>1</i> 3
Senkrechtstarter	
Schleudersitz	
STATISCHER AUFTRIEB	
Aufgabe: Welches Gas trägt am besten?	
STAUDRUCKFLIEGER	
Luftkissenfahrzeug (Hovercraft)	
Bodeneffektgleiter = Ekranoplan / WIG	
NUTZUNG DER WINDKANÄLE	
Bernoulli-Effekt	
Venturirohr	
Ball im Luftstrom.	
VON BERNOULLI ZUM THEMA FLIEGEN.	
Untersuchungen am Flügel (Tragfläche)	
BASTELVORSCHLÄGE FÜR MODELLE	
Trimmung	24
Flugtests verschiedener Modelle (Sportplatz)	
TECHNISCHE ANWENDUNGEN DER AERODYNAMIK	
Der Propeller eines Flugzeugs	
Die Turbinenschaufeln aus einem Triebwerk eines Jets	
Windrotoren, Segel und vieles mehr	
Technik/Trimmung: Zollstockflieger	
TECHNIK FLUGZEUGBAU	
Nietübung zum Flugzeugbau bei Airbus	
FLIEGENS: VOGELFLUG	
FLUGSIMULATOR	
Erklärungen	
Aerodynamischer Auftrieb	
Der Anfahrwirbel	
Der Zirkularwirbel um den Flügel	
Der Schleppwirbel	
Der Magnus-Effekt	
Strömungsabriss	
Vorflügel	
LERNINHALTE, LERNZIELE	
MATERIAL, ANGEBOTE	
Literatur	
Experimentiergerät für Schulen	
Modelle, Spielgerät, Bausätze, Preise 2004	
Links, Materialien, Adressen, Tipps, aktuelle Erweiterungen	
Ihr Feedback	
Besondere Angebote für Schulen	39
NHANG.	40

Begleitmaterial für einen Praktikumstag für Schulklassen ab Jahrgang 5

LU 1: Luft braucht Raum	41
LU 2: Luftballon in der Flasche	
LU 3: Ausdehnung von Luft bei Erwärmung	
DI 1: Safttütenversuch	
LU 4: Halb mit Luft gefüllte Spritze zuhalten und Kolben nach außen ziehen	
LU 5: Schnelles Öffnen einer Weithalsflasche mit Saft	
LU 6: Evakuierung einer Einweg-Getränkeflasche aus Kunststoff	
Wind und Fahrtwind	
Viskoses Schweben als Nutzung der Luftreibung	
LW 1: Baue einen Modellfallschirm aus einem Papiertaschentuch.	
LW 2: Langsames Sinken	
Luftreibung, Luftwiderstand	
LW 4: Luftwiderstand im Strömungskanal	
STABILISIERUNG UND STEUERUNG BEIM FLIEGEN	
RA 1: Startrampe der Papprakete bauen	
RA 2: Leitwerk an Papprakete anbauen, Spitze beschweren	
RA 3: Vergleichende Flugversuche der Papprakete und der Papphülse	
STATISCHER AUFTRIEB	
SA 2: Aufstieg des Cornelsen-Heißluftballons.	
SA 10: Start des großen Ballons im Atrium	
Sicherheitshinweise	
Aufgabe: Welches Gas trägt am besten?	
Staudruckflieger	
Modell-Luftkissenboot	
Nutzung der Windkanäle	
Füssigkeitsmanometer	
AE 1: Bernoulli-Effekt 1: Venturirohr	
AE 2: Bernoulli-Effekt 2: Gläserne Wasserstrahlpumpe	
THE 2. Bernoull Bijeki 2. Glaserile wasserstrantpumpe	
AE 3: Bernoulli-Effekt 3: Wir pusten Papier Fehler! Textmarke nich	nt definiert.
AE 3: Bernoulli-Effekt 3: Wir pusten Papier	it definiert. 50
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole	50
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon	50 50
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon AE 6: Bernoulli-Effekt 6: Ball im Luftstrom	50 50 51
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole	50 50 51
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole	50 50 51 52
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon AE 6: Bernoulli-Effekt 6: Ball im Luftstrom Von Bernoulli zum Thema Fliegen Diskussion Untersuchungen am Flügel (Tragfläche)	
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon AE 6: Bernoulli-Effekt 6: Ball im Luftstrom VON BERNOULLI ZUM THEMA FLIEGEN Diskussion UNTERSUCHUNGEN AM FLÜGEL (TRAGFLÄCHE) AE 10: Druckverteilung am Profil	
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon AE 6: Bernoulli-Effekt 6: Ball im Luftstrom Von Bernoulli zum Thema Fliegen Diskussion Untersuchungen am Flügel (Tragfläche) AE 10: Druckverteilung am Profil MO 5: Aufbau Freiflugmodell B 747-400	
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon AE 6: Bernoulli-Effekt 6: Ball im Luftstrom VON BERNOULLI ZUM THEMA FLIEGEN. Diskussion. UNTERSUCHUNGEN AM FLÜGEL (TRAGFLÄCHE) AE 10: Druckverteilung am Profil MO 5: Aufbau Freiflugmodell B 747-400 TE2: Trimmung durch Höhen- und Seitenruder	
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon AE 6: Bernoulli-Effekt 6: Ball im Luftstrom VON BERNOULLI ZUM THEMA FLIEGEN Diskussion UNTERSUCHUNGEN AM FLÜGEL (TRAGFLÄCHE) AE 10: Druckverteilung am Profil MO 5: Aufbau Freiflugmodell B 747-400 TE2: Trimmung durch Höhen- und Seitenruder SP 1: Flugtests verschiedener Modelle (Sportplatz):	50 50 51 52 52 53 53 54 55 56
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon AE 6: Bernoulli-Effekt 6: Ball im Luftstrom VON BERNOULLI ZUM THEMA FLIEGEN. Diskussion UNTERSUCHUNGEN AM FLÜGEL (TRAGFLÄCHE) AE 10: Druckverteilung am Profil MO 5: Aufbau Freiflugmodell B 747-400 TE2: Trimmung durch Höhen- und Seitenruder SP 1: Flugtests verschiedener Modelle (Sportplatz): Die Wasserraketen mit Getränkeflasche	
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon AE 6: Bernoulli-Effekt 6: Ball im Luftstrom VON BERNOULLI ZUM THEMA FLIEGEN Diskussion UNTERSUCHUNGEN AM FLÜGEL (TRAGFLÄCHE) AE 10: Druckverteilung am Profil MO 5: Aufbau Freiflugmodell B 747-400 TE2: Trimmung durch Höhen- und Seitenruder SP 1: Flugtests verschiedener Modelle (Sportplatz): Die Wasserraketen mit Getränkeflasche AE 11: Auftrieb	50 50 51 52 52 53 53 54 55 56 56
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon AE 6: Bernoulli-Effekt 6: Ball im Luftstrom VON BERNOULLI ZUM THEMA FLIEGEN Diskussion UNTERSUCHUNGEN AM FLÜGEL (TRAGFLÄCHE) AE 10: Druckverteilung am Profil MO 5: Aufbau Freiflugmodell B 747-400 TE2: Trimmung durch Höhen- und Seitenruder SP 1: Flugtests verschiedener Modelle (Sportplatz): Die Wasserraketen mit Getränkeflasche AE 11: Auftrieb OPTIMIERUNG AUFTRIEB / LUFTREIBUNG.	50 50 51 52 53 53 54 55 56 56 57
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon AE 6: Bernoulli-Effekt 6: Ball im Luftstrom VON BERNOULLI ZUM THEMA FLIEGEN Diskussion UNTERSUCHUNGEN AM FLÜGEL (TRAGFLÄCHE) AE 10: Druckverteilung am Profil MO 5: Aufbau Freiflugmodell B 747-400 TE2: Trimmung durch Höhen- und Seitenruder SP 1: Flugtests verschiedener Modelle (Sportplatz): Die Wasserraketen mit Getränkeflasche AE 11: Auftrieb OPTIMIERUNG AUFTRIEB / LUFTREIBUNG AE 13: Welches Flügelprofil hat welche Vorteile?	
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon AE 6: Bernoulli-Effekt 6: Ball im Luftstrom VON BERNOULLI ZUM THEMA FLIEGEN Diskussion UNTERSUCHUNGEN AM FLÜGEL (TRAGFLÄCHE) AE 10: Druckverteilung am Profil MO 5: Aufbau Freiflugmodell B 747-400 TE2: Trimmung durch Höhen- und Seitenruder SP 1: Flugtests verschiedener Modelle (Sportplatz): Die Wasserraketen mit Getränkeflasche AE 11: Auftrieb OPTIMIERUNG AUFTRIEB / LUFTREIBUNG AE 13: Welches Flügelprofil hat welche Vorteile? AE14: Optimierung des Anstellwinkels	
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon AE 6: Bernoulli-Effekt 6: Ball im Luftstrom VON BERNOULLI ZUM THEMA FLIEGEN. Diskussion. UNTERSUCHUNGEN AM FLÜGEL (TRAGFLÄCHE) AE 10: Druckverteilung am Profil MO 5: Aufbau Freiflugmodell B 747-400 TE2: Trimmung durch Höhen- und Seitenruder SP 1: Flugtests verschiedener Modelle (Sportplatz): Die Wasserraketen mit Getränkeflasche AE 11: Auftrieb OPTIMIERUNG AUFTRIEB / LUFTREIBUNG AE 13: Welches Flügelprofil hat welche Vorteile? AE14: Optimierung des Anstellwinkels ZO1: Technik/Trimmung: Zollstockflieger	
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon AE 6: Bernoulli-Effekt 6: Ball im Luftstrom VON BERNOULLI ZUM THEMA FLIEGEN. Diskussion UNTERSUCHUNGEN AM FLÜGEL (TRAGFLÄCHE) AE 10: Druckverteilung am Profil. MO 5: Aufbau Freiflugmodell B 747-400 TE2: Trimmung durch Höhen- und Seitenruder SP 1: Flugtests verschiedener Modelle (Sportplatz): Die Wasserraketen mit Getränkeflasche. AE 11: Auftrieb OPTIMIERUNG AUFTRIEB / LUFTREIBUNG AE 13: Welches Flügelprofil hat welche Vorteile? AE14: Optimierung des Anstellwinkels ZO1: Technik/Trimmung: Zollstockflieger Arbeitsblatt Zollstockflieger	50 50 51 52 52 53 53 54 55 56 56 57 58 60 61 62
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon AE 6: Bernoulli-Effekt 6: Ball im Luftstrom VON BERNOULLI ZUM THEMA FLIEGEN Diskussion UNTERSUCHUNGEN AM FLÜGEL (TRAGFLÄCHE) AE 10: Druckverteilung am Profil MO 5: Aufbau Freiflugmodell B 747-400 TE2: Trimmung durch Höhen- und Seitenruder SP 1: Flugtests verschiedener Modelle (Sportplatz): Die Wasserraketen mit Getränkeflasche AE 11: Auftrieb OPTIMIERUNG AUFTRIEB / LUFTREIBUNG AE 13: Welches Flügelprofil hat welche Vorteile? AE14: Optimierung des Anstellwinkels ZO1: Technik/Trimmung: Zollstockflieger Arbeitsblatt Zollstockflieger DIE HOHE KUNST DES FLIEGENS: DER VOGELFLUG	50 50 51 52 52 53 53 54 55 56 56 57 58 60 61 62 63
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole	50 50 51 52 52 53 53 54 55 56 56 57 58 60 61 62 63
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon AE 6: Bernoulli-Effekt 6: Ball im Luftstrom VON BERNOULLI ZUM THEMA FLIEGEN Diskussion UNTERSUCHUNGEN AM FLÜGEL (TRAGFLÄCHE) AE 10: Druckverteilung am Profil MO 5: Aufbau Freiflugmodell B 747-400 TE2: Trimmung durch Höhen- und Seitenruder SP 1: Flugtests verschiedener Modelle (Sportplatz): Die Wasserraketen mit Getränkeflasche AE 11: Auftrieb OPTIMIERUNG AUFTRIEB / LUFTREIBUNG AE 13: Welches Flügelprofil hat welche Vorteile? AE14: Optimierung des Anstellwinkels ZO1: Technik/Trimmung: Zollstockflieger Arbeitsblatt Zollstockflieger DIE HOHE KUNST DES FLIEGENS: DER VOGELFLUG VO1: Vogelmodell TECHNIK FLUGZEUGBAU	50 50 51 52 52 53 53 54 55 56 56 57 58 60 61 62 63 64
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon AE 6: Bernoulli-Effekt 6: Ball im Luftstrom VON BERNOULLI ZUM THEMA FLIEGEN Diskussion UNTERSUCHUNGEN AM FLÜGEL (TRAGFLÄCHE) AE 10: Druckverteilung am Profil MO 5: Aufbau Freiflugmodell B 747-400 TE2: Trimmung durch Höhen- und Seitenruder SP 1: Flugtests verschiedener Modelle (Sportplatz): Die Wasserraketen mit Getränkeflasche AE 11: Auftrieb OPTIMIERUNG AUFTRIEB / LUFTREIBUNG AE 13: Welches Flügelprofil hat welche Vorteile? AE14: Optimierung des Anstellwinkels ZO1: Technik/Trimmung: Zollstockflieger Arbeitsblatt Zollstockflieger DIE HOHE KUNST DES FLIEGENS: DER VOGELFLUG VO1: Vogelmodell TECHNIK FLUGZEUGBAU TE 1: Nietübungen zum Flugzeugbau bei Airbus	50 50 51 52 53 53 54 55 56 56 57 58 60 61 62 63 64 64
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole	50 50 51 52 53 53 54 55 56 56 57 58 60 61 62 63 64 64
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon	50 50 51 52 53 53 54 55 56 56 57 58 60 61 62 63 64 64 65
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon AE 6: Bernoulli-Effekt 6: Ball im Luftstrom VON BERNOULLI ZUM THEMA FLIEGEN. Diskussion UNTERSUCHUNGEN AM FLÜGEL (TRAGFLÄCHE) AE 10: Druckverteilung am Profil MO 5: Aufbau Freiflugmodell B 747-400 TE2: Trimmung durch Höhen- und Seitenruder SP 1: Flugtests verschiedener Modelle (Sportplatz): Die Wasserraketen mit Getränkeflasche AE 11: Auftrieb OPTIMIERUNG AUFTRIEB / LUFTREIBUNG AE 13: Welches Flügelprofil hat welche Vorteile? AE14: Optimierung des Anstellwinkels ZO1: Technik/Trimmung: Zollstockflieger Arbeitsblatt Zollstockflieger DIE HOHE KUNST DES FLIEGENS: DER VOGELFLUG VO1: Vogelmodell TE 1: Nietübungen zum Flugzeugbau bei Airbus Betrachte und untersuche die Ausstellungsstücke im Innenraum der Schule unter Anleitun PA1: Papierflieger (Abschlussversuch) Flugsimulator	50 50 51 52 53 53 54 55 56 56 57 58 60 61 62 63 64 64 65 65
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon AE 6: Bernoulli-Effekt 6: Ball im Luftstrom VON BERNOULLI ZUM THEMA FLIEGEN. Diskussion UNTERSUCHUNGEN AM FLÜGEL (TRAGFLÄCHE) AE 10: Druckverteilung am Profil MO 5: Aufbau Freiflugmodell B 747-400 TE2: Trimmung durch Höhen- und Seitenruder SP 1: Flugtests verschiedener Modelle (Sportplatz): Die Wasserraketen mit Getränkeflasche. AE 11: Auftrieb OPTIMIERUNG AUFTRIEB / LUFTREIBUNG AE 13: Welches Flügelprofil hat welche Vorteile? AE 14: Optimierung des Anstellwinkels ZO1: Technik/Trimmung: Zollstockflieger Arbeitsblatt Zollstockflieger DIE HOHE KUNST DES FLIEGENS: DER VOGELFLUG VO1: Vogelmodell TE 1: Nietübungen zum Flugzeugbau bei Airbus Betrachte und untersuche die Ausstellungsstücke im Innenraum der Schule unter Anleitun PA1: Papierflieger (Abschlussversuch) Flugsimulator ATE : Berechnung der Vorteile von Aluminiumkabeln im Flugzeug	50 50 51 52 52 53 53 54 55 56 56 57 58 60 61 62 63 64 65 65 65
AE 4: Bernoulli-Effekt 4: Sprühpistole AE 5: Bernoulli-Effekt 5: Paradoxon AE 6: Bernoulli-Effekt 6: Ball im Luftstrom VON BERNOULLI ZUM THEMA FLIEGEN. Diskussion UNTERSUCHUNGEN AM FLÜGEL (TRAGFLÄCHE) AE 10: Druckverteilung am Profil MO 5: Aufbau Freiflugmodell B 747-400 TE2: Trimmung durch Höhen- und Seitenruder SP 1: Flugtests verschiedener Modelle (Sportplatz): Die Wasserraketen mit Getränkeflasche AE 11: Auftrieb OPTIMIERUNG AUFTRIEB / LUFTREIBUNG AE 13: Welches Flügelprofil hat welche Vorteile? AE14: Optimierung des Anstellwinkels ZO1: Technik/Trimmung: Zollstockflieger Arbeitsblatt Zollstockflieger DIE HOHE KUNST DES FLIEGENS: DER VOGELFLUG VO1: Vogelmodell TE 1: Nietübungen zum Flugzeugbau bei Airbus Betrachte und untersuche die Ausstellungsstücke im Innenraum der Schule unter Anleitun PA1: Papierflieger (Abschlussversuch) Flugsimulator	50 50 51 52 52 53 53 54 55 56 56 57 58 60 61 62 63 64 65 65 65 66 71