www.DLR.de/next

Luftfahrt und Umwelt

Lehrermaterialien und Mitmach-Experimente

Klassen 3 bis 6

DLR_School_Info
Luftfahrt

Herausgegeben von

DLR

Klett MINT

Einleitung ... 3

Ein wichtiges Forschungsthema! ... 4

Mitmach-Experiment:
Papierflieger in der Turnhalle ... 5
Mitmach-Experiment:
Der Auftrieb ... 7

Elektrisches Fliegen und mehr ... 8

Mitmach-Experiment:
Solarflieger „Marke Eigenbau“ ... 9
Mitmach-Experiment:
Die „Mini-Batterie“ ... 12
Mitmach-Experiment:
Der einfachste E-Motor der Welt! ... 13

Modelle im Windkanal und Testflüge im Rechner ... 14

Mitmach-Experiment:
Der Schul-Windkanal ... 15
Virtual Wings:
Lernspiel zum Flugzeug von morgen ... 17

Alternative Treibstoffe ... 18

Mitmach-Experiment:
Die Olivenöl-Weihnachtspyramide ... 19

Verbesserte Abläufe am Boden und in der Luft ... 20

Drohnen, Flugtaxis und andere Fluggeräte ... 22

Mitmach-Experiment:
Der „Mini-Hubschrauber“ ... 24
Mitmach-Experiment:
Das Solar-Luftschiff ... 24

Auf dem Weg zum „flüsternden Flugzeug“ ... 25

Mitmach-Experiment:
Die laute Flasche ... 26

Vom Traum zur Realität ... 27

Einleitung

Wie sieht das Flugzeug von morgen aus? Das Bild zeigt eine von vielen Studien. Forschungseinrichtungen wie das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) arbeiten an Konzepten für das umweltfreundliche und klimaneutrale Fliegen. Bild: DLR

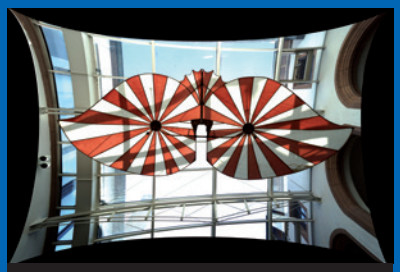
Anfangs war der Traum vom Fliegen eine kühne Vision: Mutige Pioniere wie Otto Lilienthal oder die Gebrüder Wright wagten vor etwas mehr als hundert Jahren die ersten Flugversuche. Inzwischen ist die Luftfahrt fester Bestandteil unseres Lebens. Weltweit nutzen pro Jahr 4 Milliarden Passagiere ein Flugzeug – für den Flug in den Urlaub oder zu geschäftlichen Zwecken. In jeder Sekunde – auch während Sie dies gerade lesen – befinden sich viele Tausend Menschen hoch über dem Erdboden in der Luft. Hinzu kommt der Transport von Gütern und Luftpost. Insgesamt ist die Luftfahrt damit einer der wichtigsten Wirtschaftsfaktoren unserer Gesellschaft. Auch viele andere Industriezweige sind darauf angewiesen: Als im Jahr 2010 ein isländischer Vulkan ausbrach und der Flugverkehr wegen der Aschewolken über Europa vorübergehend eingestellt wurde, kam es schon nach wenigen Tagen zu Engpässen – und zwar wegen ausbleibender Lieferungen in ganz anderen Branchen wie etwa dem Automobilbau.

Zugleich steht die Luftfahrt mit Blick auf die drängenden Umweltfragen unserer Zeit vor großen Herausforderungen. Um etwas gegen den Klimawandel zu tun, muss auch im Flugverkehr vieles verbessert werden. Ebenso ist die Minderung des Fluglärms ein wichtiges Ziel. Forschungseinrichtungen wie das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) arbeiten mit Hochdruck an all diesen Themen. Hier stellen wir einige Projekte kurz vor – oft mit begleitenden Mitmach-Experimenten, die Lehrkräfte mit einfach erhältlichen „Zutaten“ im Unterricht umsetzen können.

Schon gewusst?

Der Schneider von Ulm

Otto Lilienthal war ein Pionier der Luftfahrt: Schon in den frühen 1890er Jahren gelangen ihm erste Gleitflüge, die er immer weiter perfektionierte – bis er 1896 in Stölln im Havelland bei einem Flug abstürzte und seinen Verletzungen erlag. Doch bereits viele Jahre zuvor wagte Albrecht Berblinger das damals Unvorstellbare: Der als „Schneider von Ulm“ bekannte Erfinder führte um 1810 erste Flugversuche mit einem selbstgebauten Hängegleiter durch. Allerdings scheiterte er bei einer öffentlichen Vorführung im Jahr 1811, als er die Donau überqueren wollte: Samt Fluggerät stürzte er ins Wasser. Heute nimmt man an, dass sein Gleiter eigentlich flugfähig war und lediglich ungünstige Windverhältnisse über dem Fluss zum Absturz geführt hatten.



Ein Nachbau des Flugapparates von Berblinger ist im Rathaus von Ulm zu besichtigen. Bild: DLR/K.-A.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

Ein wichtiges Forschungsthema!

Studie für ein künftiges Elektro-Flugzeug. Bild: DLR

Hintergrund-Info

Weltweit haben Experten keinen Zweifel, dass der Mensch ganz entscheidend zum Klimawandel beiträgt. Vor allem durch Emissionen und da vor allem durch Kohlenstoffdioxid, kurz CO_2. Dieses Gas entsteht bei der Verbrennung fossiler Energieträger, also von Kohle, Öl oder Erdgas. Das geschieht in vielen großen Kraftwerken zur Stromerzeugung, aber auch zu Hause in Heizungsanlagen oder unterwegs in Automotoren und eben auch in Flugzeugtriebwerken. Insgesamt ist der Flugverkehr zwar nur für etwas mehr als 2 Prozent aller CO_2-Emissionen verantwortlich, die vom Menschen verursacht werden – deutlich weniger als Autos, Kraftwerke oder andere Faktoren. Aber Flugzeuge stoßen ihre Abgase eben auch in großer Höhe aus, was die Atmosphäre besonders belastet. Und der Flugverkehr wird in den nächsten Jahren weiter zunehmen.

Kurz und gut – höchste Zeit etwas zu tun. Es wurde zwar auch in der Vergangenheit viel getan: Moderne Flugzeuge sind deutlich „sauberer" als frühere Maschinen, sie verbrauchen weniger Kerosin, erzeugen weniger Abgase und fliegen – nebenbei bemerkt – deutlich leiser als alte Flugzeuge. Aber das genügt natürlich nicht. Wenn künftig immer mehr Flugzeuge unterwegs sind, wäre es in einem ersten Schritt wichtig, dass dadurch die Menge an CO_2 insgesamt nicht steigen würde. Darüber hinaus ist es das Ziel, die CO_2-Abgase und andere Emissionen immer weiter zu senken. Am Ende steht die Vision vom klimaneutralen Fliegen.

Wie will man das erreichen? Sicher nicht durch eine einzelne Maßnahme, sondern durch ein ganzes „Paket" mit vielen verschiedenen Verbesserungen. Dazu gehören neue Technologien wie das „elektrische Fliegen", bei dem – ähnlich wie bei Elektro-Autos – Batterien oder Hybridantriebe z. B. mit Brennstoffzellen eingesetzt werden. Außerdem wird an alternativen Treibstoffen geforscht. Sie könnten anfangs dem heutigen Kerosin beigemischt werden und es später vielleicht ganz ersetzen. Langfristig dürfte Wasserstoff eine zunehmend wichtige Rolle spielen, da er eine hohe Energiedichte besitzt und aus erneuerbaren Energien gewonnen werden kann.

Auch andere Forschungsarbeiten dienen der Umwelt: Neue Werkstoffe, verbesserte aerodynamische Eigenschaften oder eine bessere Flugroutenplanung vom Start bis zur Landung – all das kann Treibstoff sparen und die Umwelt entlasten. Hinzu kommen sogenannte „regulative Maßnahmen" wie Zertifikate und Kompensationen. Ein einfaches Beispiel für

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

derartige Kompensationen: Ein Flug erzeugt eine bestimmte Menge an CO_2 und zum Ausgleich werden dafür über einen Preisaufschlag Klimaschutzprojekte unterstützt, die an anderer Stelle genau so viel CO_2 einsparen, wie man als einzelner Passagier umgerechnet verursacht.

Bis zum klimaneutralen Flugverkehr ist sehr viel Forschung erforderlich. Noch sind die Batterien für größere Elektro-Flugzeuge viel zu schwer. Für eine ideale Flugrouten-Planung muss man die Instrumente der Piloten und der Fluglotsen optimal aufeinander abstimmen und die Verfahren bei Starts und Landungen verbessern. Alternative Treibstoffe müssen erst sorgfältig auf ihre Zuverlässigkeit getestet werden, bevor sie überhaupt eingesetzt werden dürfen. Denn gerade in der Luftfahrt gelten bei all diesen Veränderungen sehr strenge Sicherheitsvorschriften.

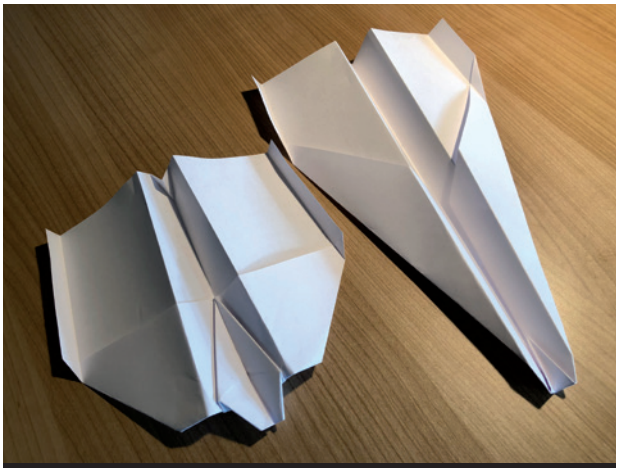
Spannend!

Papierflieger-Rekorde

Den „Langstrecken-Rekord" hält ein Papierflieger aus den USA: Er flog fast 70 Meter weit! Das größte Papierflugzeug der Welt hat eine Spannweite von 18 Metern! Es wurde von Studierenden der TU Braunschweig gebaut und hat es damit ebenfalls ins Guinnessbuch der Rekorde gebracht.

Mitmach-Experiment: Papierflieger in der Turnhalle

Ein spielerischer Einstieg in das Thema kann ein Papierflieger-Wettbewerb mit der ganzen Klasse sein. Alle Schülerinnen und Schüler falten aus einem DIN-A4-Blatt ihren eigenen Flieger – und in der Turnhalle oder bei schönem Wetter und Windstille auf dem Schulhof oder Sportplatz geht es dann los. Welcher Flieger bleibt am längsten in der Luft? Oder welcher fliegt am weitesten geradeaus? Alles was Sie – außer einem Blatt Papier pro Kind – dafür benötigen, sind Stoppuhr und Maßband und vielleicht noch ein paar Büroklammern.

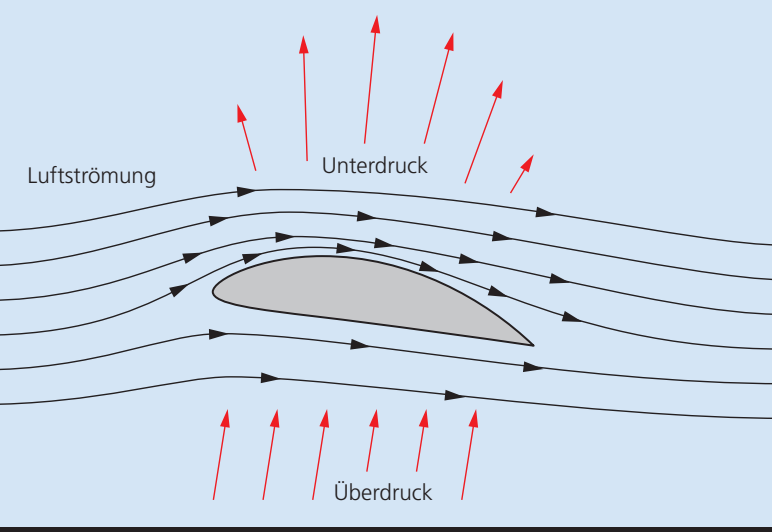


Zwei Klassiker unter den Papierfliegern. So spielerisch diese Übung auch scheinen mag, eignet sie sich doch perfekt als Einstieg in die „Physik des Fliegens".
Bild: DLR/K.-A.

Tipps: Suchen Sie vorab im Internet nach Faltanleitungen und wählen Sie ein oder zwei Papierflieger-Typen aus. Führen Sie zu Beginn der Unterrichtsstunde der Klasse vor, wie die Flieger gefaltet werden – wobei auch eigene Modelle erlaubt sein sollten. Damit es keinen Streit und keine Verwechslungen gibt, schreibt jedes Kind seinen Namen auf den eigenen Flieger. Aus Sicherheitsgründen gilt: Egal, welchen Typ die Kinder falten – zuletzt wird die Spitze des Fliegers einmal nach innen geknickt, damit sie stumpf ist und niemanden verletzen kann. Und noch eine Empfehlung: Mit einer Büroklammer kann man den Schwerpunkt des Papierfliegers verlagern, bis er optimal eingestellt ist. Wer damit etwas experimentiert und das Flugverhalten des eigenen Modells verbessert, ist fast schon auf dem Weg zum Luftfahrtingenieur bzw. zur Luftfahrtingenieurin.

Papierflieger können genutzt werden, um zu der grundsätzlichen Frage überzuleiten, warum Flugzeuge überhaupt fliegen. Nach dem Wettbewerb kann das im Klassenzimmer erörtert werden. Erläutern Sie mithilfe eines Tafelbildes folgenden Sachverhalt: Der Papierflieger gleitet durch die Luft, die ihn während des Fluges umströmt. Dabei wird Luft, die auf die Unterseite der Tragflächen trifft, nach unten umgelenkt. Im Gegenzug „schiebt" sie die Tragflächen und damit zugleich den ganzen Papierflieger nach oben.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022



So könnte Ihr Tafelbild aussehen. Der Flügel (hier im seitlichen Profil gezeigt) bewegt sich von rechts nach links durch die Luft. Dementsprechend umströmt die Luft das Flugzeug von links nach rechts. Bild: DLR

Physikalisch korrekt formuliert überträgt die Luft nach dem Prinzip von „actio gleich reactio" ihren Impuls auf den Papierflieger. Er bleibt dadurch eine Weile in der Luft, bis am Ende die Schwerkraft siegt und ihn auf den Boden zwingt.

Auch bei echten Flugzeugen spielt dieser Effekt eine Rolle. Aber es kommt ein viel wichtigerer Effekt hinzu. Da die Tragflächen die Luftströmung teilen, strömt ein Teil der Luft über den Flügel, ein anderer Teil unter ihm hinweg. Entscheidend ist nun, dass Flugzeugflügel – anders als beim Papierflieger – auf der Oberseite leicht gewölbt sind, während die untere Flügelseite gerade ist. Die Wölbung auf der Oberseite beeinflusst den Luftstrom: Sie sorgt dafür, dass die Luft die Flügel-Oberseite schneller umströmt als die Unterseite. Das wiederum führt dazu, dass der Luftdruck über dem Flügel geringer ist als unter dem Flügel. Dieser Druckunterschied hat eine Kraft zur Folge, die nach oben wirkt. Weil das vielleicht schwer verständlich ist, könnte man stark vereinfacht sagen, dass der Flügel nach oben „gesaugt" wird. Deshalb fliegt ein Flugzeug und ein Papierflieger gleitet nur durch die Luft.

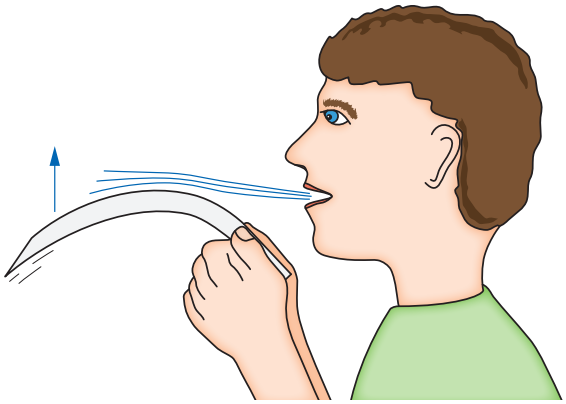
Spannend!

Ein Papierflieger in Schwerelosigkeit

Der Flug eines Papierfliegers endet, weil die Schwerkraft ihn früher oder später auf den Boden zieht. Aber wie sieht das wohl aus, wenn es keine Schwerkraft gibt? Der deutsche ESA-Astronaut Alexander Gerst hat das eigens für Kinder und Jugendliche in einem „Mini-Experiment" untersucht, das ihm vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) mit auf den Weg ins All gegeben wurde. An Bord der Internationalen Raumstation *ISS* ließ er einen Papierflieger in Schwerelosigkeit fliegen und untersuchte in mehreren Durchgängen das Flugverhalten. Einer der interessanten Effekte: In Schwerelosigkeit endet der Flug, indem der Papierflieger nach einer Weile in der Luft „stehen" bleibt – weil ihm durch die Reibung an den Luftteilchen die anfangs beim Wurf übertragene Energie ausgeht. Ohne die auf der Erde allgegenwärtige Schwerkraft tritt also eine andere Kraft in den Vordergrund, die auch beim normalen Flug eines Papierfliegers eine Rolle spielt, dabei aber quasi „unsichtbar" ist. Das sehenswerte Video aus der DLR-Reihe „Flying Classroom" finden Sie per Internet-Suche mit den Begriffen „YouTube + Gerst + Papierflieger". Wenn Sie es im Unterricht nutzen wollen: Fragen Sie die Kinder in einem kleinen Ratespiel, was wohl passieren wird, und zeigen Sie erst dann das Video.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

Mitmach-Experiment: Der Auftrieb



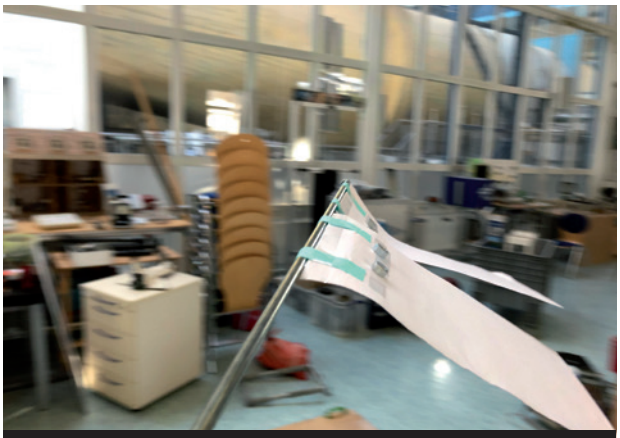
Wie und warum durch die spezielle Form von Flugzeugflügeln ein Auftrieb entsteht, ist nicht leicht zu verstehen. Machen Sie mit den Schülerinnen und Schülern zur Veranschaulichung zunächst einen einfachen Test. Man nimmt ein DIN-A4-Blatt an den beiden längeren Seiten in die Hände und hält es mit einer kurzen Seite auf Kinnhöhe nahe ans Gesicht. Dabei wird das Blatt so angefasst, dass sich etwa zwei Drittel auf der vom Gesicht abgewandten Seite jenseits der Hände befinden. Das Blatt formt dadurch einen leichten Bogen – wie eine gewölbte Tragfläche. Jetzt kräftig über die gebogene Oberseite des Blattes pusten! Sie und die Kinder werden staunen: Das Blatt bewegt sich – und zwar nach oben! Der Effekt deutet ganz allgemein an, wie sich eine gewölbte Oberfläche in der Luftströmung aufwärts bewegt. Das Mini-Experiment hat allerdings einen kleinen Mangel: Hier weht nur ein schmaler Luftstrom über das Papier, während der echte Flugzeugflügel überall von Luft umströmt wird. Der Realität näher kommt daher der folgende Versuch.

Materialien

- 1 Stange oder 1 Stab (aus Holz oder Metall) von mindestens 50 cm Länge
- 2 DIN-A4-Blätter
- 4 Schraubenmuttern (M6 oder M8)
- Klebefilm

Durchführung:

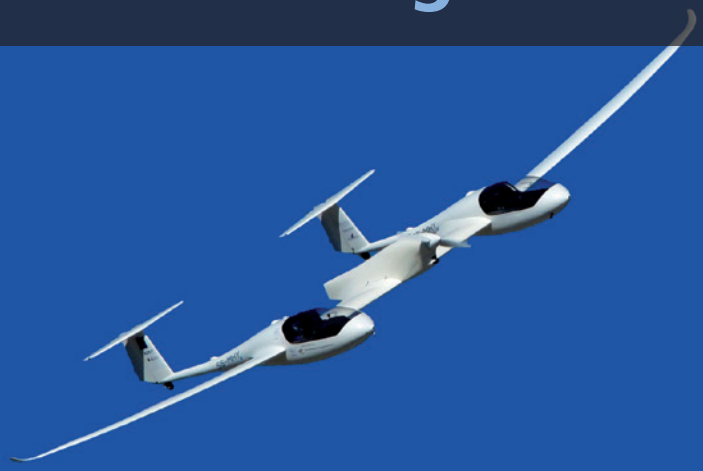
1. Auf jedes Blatt zwei Schraubenmuttern (etwa eine Handbreit von einer der kurzen Blattkanten entfernt) kleben.
2. Beide Blätter nebeneinander an der Stange befestigen.
3. Ein Blatt mehrmals nacheinander bis zu den Muttern an der Stange aufrollen, sodass es eine leicht gebogene Form behält, wenn es sich wieder abrollt. Dieses Blatt hat damit die typische Form einer Tragflächenoberseite, das andere nicht.
4. Jetzt muss man sich drehen oder mit der Stange in der Hand laufen, sodass die Blätter einer Luftströmung ausgesetzt werden – wie die Tragflächen eines Flugzeugs beim Flug durch die Luft. Nun gilt es, das Verhalten der beiden Blätter zu beobachten und zu vergleichen. Wurde alles richtig gemacht, hebt sich das gebogene Blatt deutlich höher als das glatte Blatt.



Zwei Blätter sausen durch die Luft. Das gebogene Blatt (im Bild vorne) ist dabei höher als das glatte Blatt, das sogar etwas nach unten „durchhängt". Bild: DLR

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

Elektrisches Fliegen und mehr



Ein viersitziges Elektroflugzeug beim Testflug. Bild: DLR

Hintergrund-Info

Auf der Straße sind immer mehr Elektro-Autos unterwegs. Und was auf dem Boden klappt, müsste doch auch in der Luft funktionieren, sollte man meinen. Mit kleineren Maschinen hat das DLR zusammen mit Partnern das bereits bewiesen: Am 29. September 2016 hob das Testflugzeug HY4 zu seinem Erstflug ab. Es hat einen Elektroantrieb, wird mit Brennstoffzellen und Batterien angetrieben und kann vier Personen mehrere hundert Kilometer weit transportieren. Das ist ein wichtiger erster Schritt zum „elektrischen Fliegen", aber eben nur ein erster Schritt.

Die Entwicklung muss natürlich viel weiter gehen – bis hin zu größeren Verkehrsflugzeugen. Da stellen sich logischerweise ganz andere Herausforderungen als bei einem kleinen Testflugzeug. Vor allem müssen die Energieträger, die den Strom liefern, leichter werden. Zurzeit sind diese Brennstoffzellen und Batterien so platzraubend bzw. schwer, dass man in einem großen Flieger kaum noch Passagiere oder Fracht mitnehmen könnte. Ein Rechenbeispiel: Für ein typisches Passagierflugzeug wie den Airbus A320 müssten beim heutigen Stand der Technik über 50 Tonnen Batterien eingeplant werden – das wären zwei Drittel der Startmasse. Und selbst das würde nur für 20 Minuten Flugzeit reichen.

Daher wird sich der Flugverkehr nicht gleich komplett auf das voll-elektrische Fliegen umstellen lassen. Während für Reisen innerhalb von Ballungsgebieten oder zum nächstgrößeren Flughafen schon in näherer Zukunft elektrisch angetriebene Regionalflugzeuge eingesetzt werden könnten, ist bei längeren Strecken und bei größeren Verkehrsmaschinen ein Hybridantrieb realistisch. Das wäre zwar nicht die Ideallösung, aber immerhin eine deutliche Verbesserung. Wenn außerdem alternative Treibstoffe verwendet würden (die wir später behandeln), wäre man noch näher am Ziel eines umweltneutralen Luftverkehrs.

Damit das elektrische Fliegen eines Tages kommt, muss sich nicht nur am Flugzeug einiges ändern. Schließlich muss es für die „E-Flugzeuge" genügend „Treibstoff" geben. Flughäfen überall auf der Welt müssten so ausgestattet werden, dass leere Batterien schnell ausgetauscht bzw. aufgeladen werden können. Und der Strom, der „getankt" wird, muss umweltfreundlich erzeugt werden – sonst würde das Problem schlicht verlagert. Wie bei Elektro-Autos gilt: Wirklich klimafreundlich ist die Sache nur, wenn der Strom nicht aus Kohle-, Öl- oder Gaskraftwerken, sondern aus klimafreundlichen Quellen wie Solar- oder Windkraftanlagen stammt.

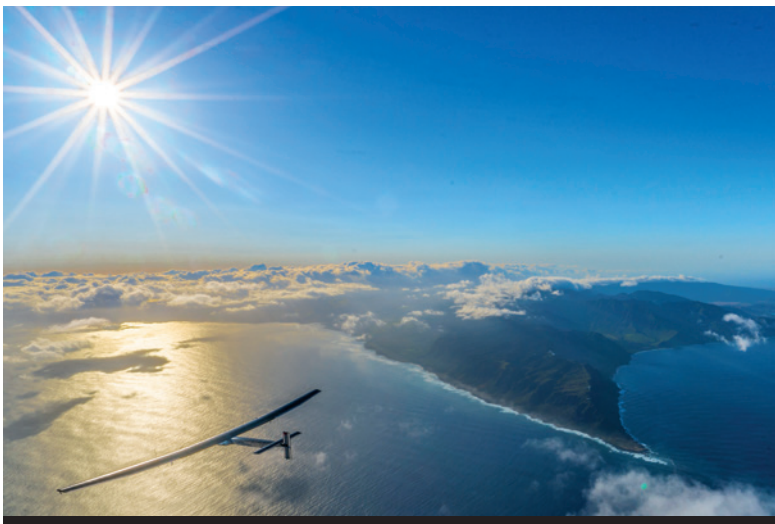
©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

Mitmach-Experiment: Solarflieger „Marke Eigenbau“

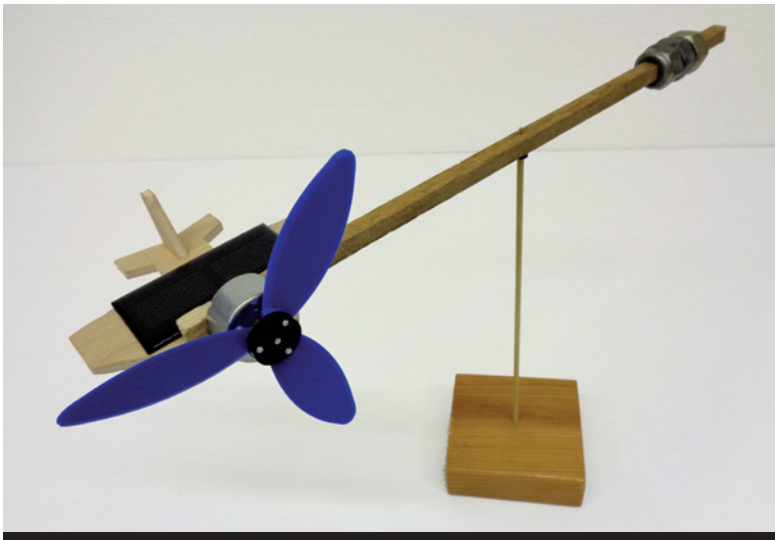
Im März 2015 brach das Solarflugzeug *Solar Impulse 2* zu einem aufsehenerregenden Flug auf: nur mit Sonnenenergie einmal um die ganze Welt! Initiiert wurde das Projekt, an dem auch das DLR mit Tests beteiligt war, von dem Schweizer Bertrand Piccard. Dabei ging es zwar nicht „non-stop“ um die Erde, sondern in vielen einzelnen Etappen mit Zwischenlandungen und mit einer längeren Unterbrechung. Dennoch war es eine eindrucksvolle Demonstration mit großer Symbolkraft für das umweltfreundliche Fliegen.

Wie Sie zusammen mit Ihren Schülerinnen und Schülern ein kleines Solarflugzeug selbst anfertigen können, erklären wir hier. Die „Zutaten“ finden sich teils in jedem Haushalt, teils lassen sie sich zu geringen Kosten im Internet bestellen.

Hinweis: Die hier beschriebene Bauanleitung aus unserem DLR_School_Lab Neustrelitz kann an einigen Punkten variiert werden. Im Prinzip geht es um ein stilisiertes Flugzeugmodell mit einem Propeller, der von einem Solarmotor und einer Solarzelle angetrieben wird. Der Flieger – ob aus Sperrholz wie in der Anleitung empfohlen oder lediglich aus dickerer Pappe ausgeschnitten – kreist dann an einer Halterung als „Arm“ um eine Stange. Dabei versteht es sich von selbst, dass einige Arbeitsschritte, bei denen zum Beispiel eine Bohrmaschine verwendet wird, nur von der Lehrkraft selbst auszuführen sind.



Das Solarflugzeug *Solar Impulse 2* hat eine Spannweite von über 70 Metern. Bild: Solar Impulse



So sieht der fertige Solarflieger aus. Bild: DLR

Materialien

- Solarzelle 0,5 V/250 mA
- Solarmotor RF 300
- 3-Blatt-Luftschraube als Propeller, Selbstbau-Set (z. B. OPITEC Best.-Nr. 102135)
- Sperrholzplatte (ca. 10 cm x 10 cm, d = 4 mm)
- Holzstab z. B. von einer Silvesterrakete (7 mm x 7 mm bei mindestens 30 cm Länge)
- Schaschlik-Spieß oder ähnliche Holzstange (l = 20 cm, Ø mindestens 3 mm)
- kleine Holzplatte (ca. 7 cm x 7 cm, d = 2 cm)
- 1 Stecknadel
- 1 kleine Glasperle (ca. 2–3 mm) mit Loch
- 2 Pailletten mit Loch (Ø 6 mm)
- mehrere Schraubenmuttern als Ausgleichsmasse (z. B. 3 x M12)

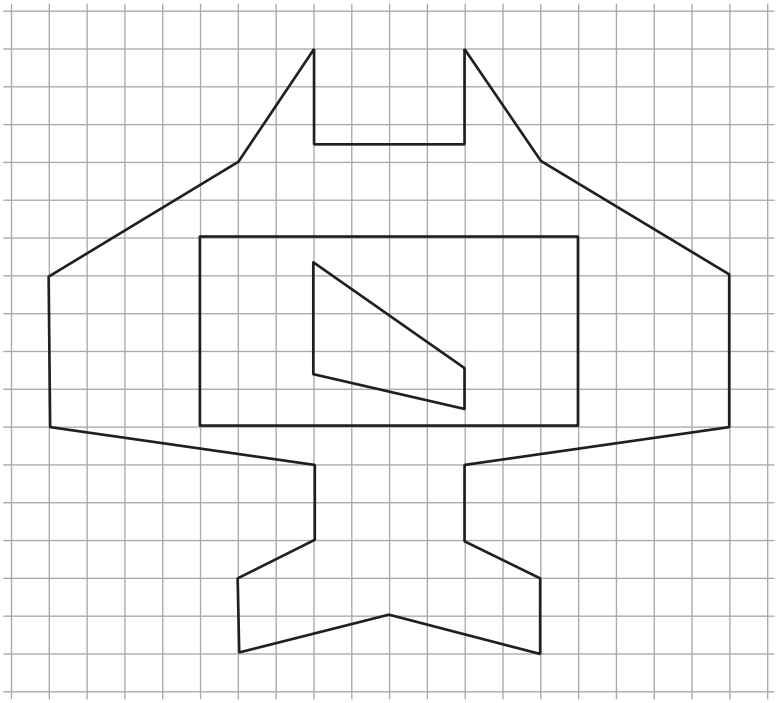
Werkzeuge und Hilfsmittel

- Schere
- Laubsäge
- Flachfeile
- Akkubohrmaschine
- Holzbohrer 1 mm und 3 mm
- Geodreieck oder Lineal
- Bleistift
- Holzleim
- Alleskleber
- Schleifpapier (fein)
- zweiseitiges Klebeband

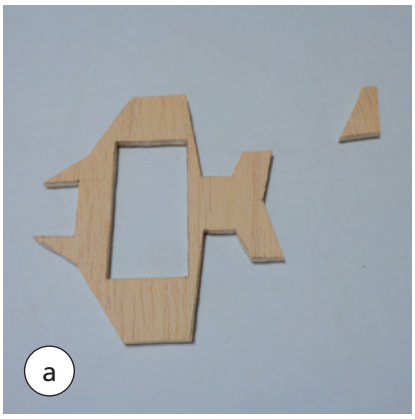
©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

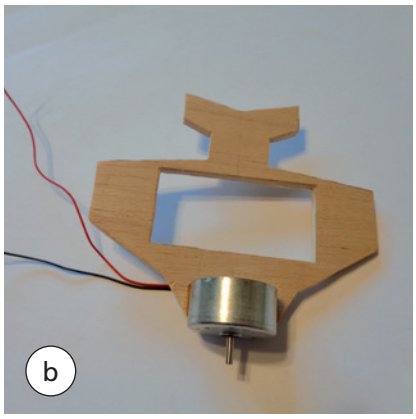
Durchführung:

1. Die Flugzeugvorlage (siehe unten) mit Bleistift auf die Sperrholzplatte übertragen.
2. Die Form wie folgt (Bild a) aussägen:
   a) Die Seitenflosse (im Rechteck) aussägen, dazu vorher ein kleines Loch ins Rechteck bohren.
   b) Den Rest des Rechtecks aussägen (Öffnung für Solarzelle).
   c) Den Flugzeugkörper aussägen.
   d) Alle Kanten mit Schleifpapier glätten.
3. Am Flugzeugkörper die Aufnahmeöffnung für den Solarmotor mit der Feile anschrägen, sodass der Motor passgenau anliegt.
4. Den Motor mit Alleskleber von oben in die vorbereitete Aussparung kleben, und zwar mit den Anschlusskabeln nach unten (Bild b).
5. Auf den beiden kurzen Rändern der Solarzellen-Unterseite einen ca. 5 mm breiten Streifen des Klebebands fixieren und damit die Solarzelle von oben auf der rechteckigen Öffnung des Flugzeugkörpers befestigen (Bild c). Die Anschlussschrauben der Solarzelle müssen dabei heckseitig die Öffnung berühren.
6. Die Anschlussdrähte des Motors auf ca. 6 cm kürzen, beide Drahtenden abisolieren, verdrillen und an die Solarzelle schrauben: rot an Plus, schwarz an Minus (Bild d).
7. Die Seitenflosse von oben am Heck mit Holzleim aufkleben und die montierte Luftschraube auf die Motorachse stecken (Bild e).
8. Den Holzstab mittig mit einer 1 mm großen Bohrung versehen, durch die später die Stecknadel zur Befestigung auf den Ständer geschoben wird.
9. Den Holzstab mit Holzleim auf die Oberseite des Flugzeugs zwischen Motor und Solarzelle kleben (Bild f). Damit er in diesen Zwischenraum passt, darf er die Maße von 7 mm x 7 mm nicht überschreiten – bei mindestens 30 cm Länge.
10. Vom Schaschlik-Spieß (oder einer ähnlichen Holzstange) die Spitze exakt absägen und in die entstandene Kreisfläche vorsichtig ein 1 mm großes und ca. 15 mm tiefes Loch bohren (darin wird später das rotierende Teil mit der Stecknadel verankert).
11. In die kleine Holzplatte ein 3 mm großes und ca. 15 mm tiefes Loch bohren und den Schaschlik-Spieß darin verkleben (Bild g).
12. Das Oberteil (also den Holzstab samt Flieger) mittels Stecknadel auf dem Ständer fixieren. Um die Reibung bei der Rotation zu minimieren, kommen zusätzlich die beiden Pailletten und dazwischen die Glasperle auf die Stecknadel (Bilder h und i).
13. Mithilfe der Schraubenmuttern den Holzstab waagerecht austarieren (Bild j).
14. Geschafft! Unter einem hellen LED-Strahler oder direkt in der Sonne kann der Flieger nun gestartet werden.

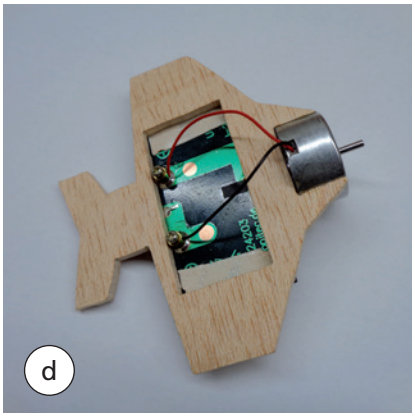


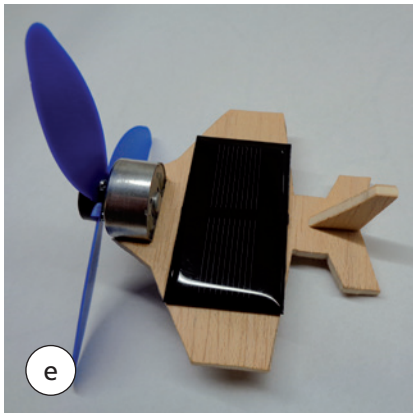
©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

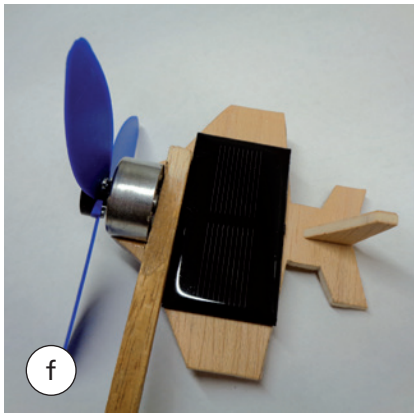

a


b

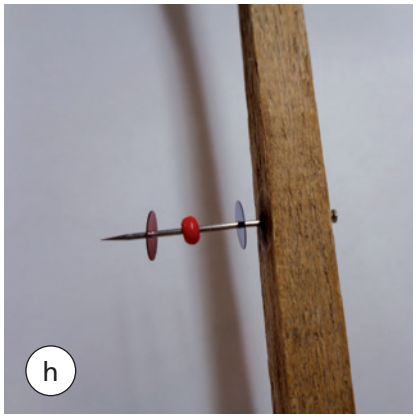
c

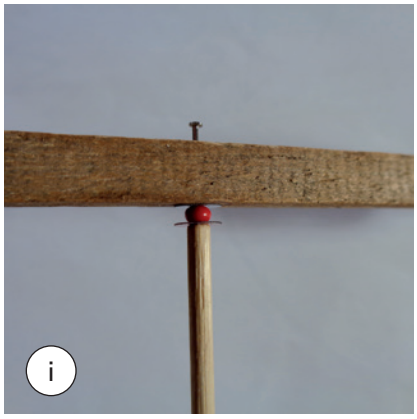

d


e


f

g


h


i

j

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

Mitmach-Experiment: Die „Mini-Batterie“

An Bord von elektrisch angetriebenen Flugzeugen benötigt man natürlich Batterien. In diesem Zusammenhang hier eine Anleitung zum Bau einer „Mini-Batterie“, die eine Leuchtdiode (LED) zum Leuchten bringt. **Hinweis:** Machen Sie die Kinder vorab darauf aufmerksam, dass Experimente mit elektrischem Strom Gefahren beinhalten und nie ohne Aufsicht durchgeführt werden dürfen! Leiten Sie daher diesen kleinen Versuch – selbst wenn er ungefährlich ist – in Aufbau und Umsetzung selbst an, wobei einzelne Kinder assistieren dürfen.

Materialien

- Zitronensäure
- 1 rote LED (max. 20 mA)
- mind. 3 verzinkte Unterlegscheiben (aus dem Baumarkt)
- mind. 3 Pappstücke
- mind. 3 5-Cent-Münzen
- Teller

Durchführung:

Als erstes legt man die drei kleinen Pappstücke in den Zitronensaft im Teller und gibt ihnen ein paar Minuten Zeit sich vollzusaugen. Danach werden die Materialien im Sandwich-Verfahren in einer bestimmten Reihenfolge gestapelt: Immer werden eine verzinkte Scheibe, dann ein Pappstück und dann eine 5-Cent-Münze hintereinander angeordnet – dreimal in derselben Reihenfolge mit verzinkter Scheibe, Pappstück und Münze zu einem Paket. Nun hält man die Leuchtdiode mit dem kürzeren Bein an die äußere Zinkscheibe und mit dem längeren Bein auf der Gegenseite an die 5-Cent-Münze und drückt alles ein wenig zusammen. Die LED leuchtet jetzt!

Zur Erläuterung: Dieser Nachbau einer elektrischen Energiequelle nach dem Prinzip einer Volta‘schen Säule verdeutlicht das grundsätzliche Funktionsprinzip einer Batterie durch Umwandlung von chemischer Energie in elektrische Energie. Die „Mini-Batterie“ besteht aus zwei Metallen (Zink und Kupfer), die sich durch ihre unterschiedliche chemische Reaktionsbereitschaft gegenüber der Zitronensäure unterscheiden. Die Säure löst dabei aus dem unedleren Zink mehr positiv geladene Ionen heraus als beim edleren Kupfer. So verbleiben auf der Zinkseite mehr negative Ladungen als auf der Kupferseite. Werden die beiden Metalle über einen Metalldraht miteinander verbunden, fließen Elektronen zum Ausgleich der Ladungs- bzw. Potenzialdifferenz von der Zink-Elektrode zur Kupfer-Elektrode. Die LED beginnt zu leuchten – allerdings nur so lange, wie die chemischen Prozesse aufrechterhalten werden können. Irgendwann ist demnach jede Batterie am Ende ihrer Leistungsfähigkeit.

Mit diesem Versuch lassen sich je nach Altersstufe Energieumwandlungen (von chemischer Energie über elektrische Energie zu Strahlungsenergie), der Strom von freien Elektronen zum Transport von elektrischer Energie und die Notwendigkeit des Vorliegens einer Ladungs- bzw. Potenzialdifferenz für eine Spannung als Antrieb für den Elektronenstrom thematisieren.

Hinweis: In diesem Aufbau bilden eine verzinkte Scheibe, die Pappe und die Münze jeweils eine Zelle der Batterie. Die Batterie besteht also aus drei Zellen und ließe sich um eine beliebige Anzahl von Zellen erweitern.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

Mitmach-Experiment: Der einfachste E-Motor der Welt!

Dieser Handversuch zeigt stark vereinfacht die Funktionsweise eines Elektromotors.

Durchführung:

Als erstes fixiert man die Schraube mit ihrem Kopf direkt auf dem Neodym-Magneten und hängt beide an den Minuspol (Unterseite) der AA-Batterie. Dann wird eines der abisolierten Enden der Kupferleitung mit dem Zeigefinger einer Hand auf den Pluspol der Batterie gedrückt. Mit der anderen Hand wird das verbleibende freie Ende genommen und seitlich an den Magneten gehalten, der sich daraufhin in Drehung versetzt.

Hinweis: Wenn man vorab seitlich mit einem Filzstift Streifen auf den Magneten malt, können die Schülerinnen und Schüler die Bewegung des kleinen Magneten gut erkennen.

So wie dieser einfache Motor funktionieren vom Prinzip her viele Elektromotoren. Dem liegt das physikalische Phänomen zugrunde, wonach auf Elektronen als bewegte Ladungsträger in einem Magnetfeld eine zusätzliche Kraft wirkt. Diese Kraft wird als Lorentzkraft (nach dem niederländischen Physiker Hendrik Lorentz) bezeichnet. Je nach Jahrgangsstufe genügt der Hinweis, dass für einen Elektromotor sowohl ein Stromfluss als auch ein Magnetfeld vorhanden sein müssen. Um den Zusammenhang zum Thema Fliegen herzustellen, sollte daran erinnert werden, dass Elektromotoren ein wichtiges Thema für das umweltfreundliche Flugzeug von morgen darstellen.

Materialien

- 1 AA-Batterie
- Neodym-Magnet (ø ca. 20 mm)
- 1 Schraube (aus Eisen)
- ca. 20 cm Kupferleitung (an den Enden abisoliert)

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

Modelle im Windkanal und Testflüge im Rechner

Das DLR betreibt mehrere Schülerlabore, die pro Jahr von insgesamt rund 40.000 Kindern und Jugendlichen besucht werden. Im DLR_School_Lab Göttingen können die jungen Gäste sogar an einem echten Windkanal experimentieren. Bild: DLR

Hintergrund-Info

Wie lässt sich die Luftströmung um ein fliegendes Flugzeug herum optimal gestalten, damit es sich ohne unnötigen Luftwiderstand und möglichst treibstoffsparend in der Luft vorwärts bewegt? Entscheidend dafür ist die Form eines Fliegers. Das Fachgebiet für diese Fragen nennt sich Aerodynamik oder Strömungsforschung. Die ersten systematischen Versuche dazu fanden Anfang des 20. Jahrhunderts statt – mit Göttingen als einem der weltweit führenden Orte. Hier entwickelte ein Ingenieur namens Ludwig Prandtl die ersten Windkanäle, in denen verkleinerte Modelle auf ihre aerodynamischen Eigenschaften getestet wurden. Noch heute werden im Göttinger DLR-Standort wie auch im benachbarten Braunschweig große Windkanäle betrieben, in denen für das Flugzeug der Zukunft geforscht wird.

Mithilfe von Hochleistungsrechnern können Flugzeuge auf ihr Flugverhalten untersucht (links) und im Detail „besichtigt" (rechts) werden – lange bevor sie überhaupt gebaut werden und zum Erstflug abheben. Bilder: ZAL

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

Daneben gibt es auch computergestützte Verfahren, um die Strömungseigenschaften von geplanten Flugzeugen zu ermitteln. Hochleistungsrechner werden mit den Daten eines geplanten Flugzeugs gefüttert und so lässt sich das Flugverhalten eines Fliegers untersuchen, lange bevor er überhaupt gebaut wird. Dieser digitale Flugzeugentwurf samt virtueller Testflüge ist mittlerweile eine wichtige Ergänzung zum „klassischen" Windkanalversuch. Zu beiden Verfahren nachfolgend zwei Anregungen für den Unterricht.

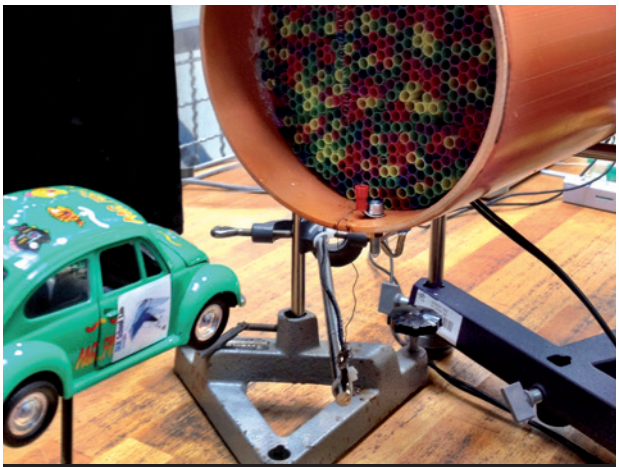
Schon gewusst?

Warum Hummeln (nicht) fliegen können

Immer wieder wird behauptet, dass Hummeln physikalisch gesehen eigentlich gar nicht fliegen können. Angeblich geht diese seltsame Geschichte auf Studenten des Göttinger Wissenschaftlers Ludwig Prandtl zurück: Sie sollen die Flügelfläche und den Auftrieb berechnet und mit dem typischen Gewicht einer Hummel verglichen haben. Demzufolge wäre die Hummel für ihre kleinen Flügel viel zu schwer. Nun ist bekanntlich erwiesen, dass Hummeln fliegen können. Doch da sie wirklich vergleichsweise schwer sind, müssen sie ihre Flügel bis zu 200-mal pro Sekunde schwingen – und zwar kreisförmig. Das erzeugt besonders viel Auftrieb, was erst durch Aufnahmen mit einer Superzeitlupenkamera herausgefunden wurde. Solche Kameras werden auch in der Luftfahrt-Forschung eingesetzt, etwa um die Vorgänge in einem Triebwerk genau zu studieren.

Eine Hummel im Flug. Bild: K.-A.

Mitmach-Experiment: Der Schul-Windkanal



Hier wird ein Spielzeugauto mit dem selbstgebauten Windkanal getestet, aber natürlich kann man damit auch die Strömung um ein kleines Flugzeugmodell untersuchen. Das Experiment wurde im DLR_School_Lab Göttingen entwickelt. Bild: DLR

Ein Stück Abwasserrohr aus dem Baumarkt dient als Windkanal, in den ein Föhn Luft bläst. Im Rohr sorgen Trinkhalme und feine Gitter für eine gleichmäßig gerichtete Luftströmung. Am gegenüberliegenden Ende hält man ein kleines Flugzeugmodell oder ein anderes Objekt an die Öffnung. Mit Räucherstäbchen wird die Luftströmung um das Modell herum sichtbar gemacht. Man erkennt, wo das Modell störende Wirbel erzeugt. In der echten Luftfahrt-Forschung geht es darum, diese Wirbel zu minimieren.

Das Experiment eignet sich für eine Projektwoche oder eine andere Beschäftigung über einen längeren Zeitraum. **Hinweis:** Es muss wie alle Versuche in diesem Heft unter Mitwirkung und Aufsicht einer Lehrkraft durchgeführt werden.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

Bauanleitung:

1. 10 Trinkhalme nebeneinander auf den Tisch legen und mit Sprühkleber besprühen. Danach weitere 10 Trinkhalme auf die ersten 10 Trinkhalme legen und ebenfalls mit Sprühkleber besprühen. Diesen Vorgang wiederholen, bis ein Paket von 10 x 10 Trinkhalmen entsteht. Man sollte 2 bis 3 solcher Trinkhalm-Pakete herstellen. Die Trinkhalm-Pakete mit dem durchsichtigen Klebeband umwickeln. **Hinweis:** Das Klebeband ist wichtig, da man sonst die Trinkhalme nicht richtig schneiden kann. Die Trinkhalmpakete nun mit dem Cuttermesser in Stücke von 3 cm Länge schneiden. Die 3 cm langen Trinkhalmpakete zu einem Kreis anordnen. Zum Teil müssen Pakete auseinandergeschnitten werden, damit sie in entstehende Lücken passen und einen Kreis ergeben. Anschließend den Kreis außen herum mit Klebeband stabilisieren. Der „Trinkhalm-Kreis" muss exakt in das Rohr passen! Er dient als „Gleichrichter" für die Luft, die nicht bereits verwirbelt, sondern als gleichmäßiger Luftstrom auf das Modell treffen soll.
2. Das Rohr auf das Metallnetz (z. B. Maschendraht) stellen und mit dem Filzstift zweimal nebeneinander den Umriss aufzeichnen. Dann mit der Schere die beiden runden Netze ausschneiden.
3. Das erste Netz muss in 9 cm Tiefe mit der Heißklebepistole im Rohr befestigt werden, das zweite in 7,5 cm Tiefe (immer vom „Ausgang" her gemessen).
4. Der „Trinkhalm-Gleichrichter" wird vom „Ausgang" aus gesehen in 4 cm Tiefe mit Heißkleber befestigt.
5. Jetzt benötigt man noch eine Abdichtung am „Eingang" des Rohres, durch die der Föhn gesteckt wird. Als Abdeckung und Halterung für den Föhn eignet sich am besten ein sogenannter KG-Blindstopfen. Alternativ geht auch Sperrholz: Dabei das Rohr auf das Sperrholz stellen und mit dem Filzstift den Umriss nachzeichnen, anschließend den aufgezeichneten Kreis mit der Stichsäge ausschneiden und ein Loch als Aussparung für den Föhn in die Platte sägen.

Materialien

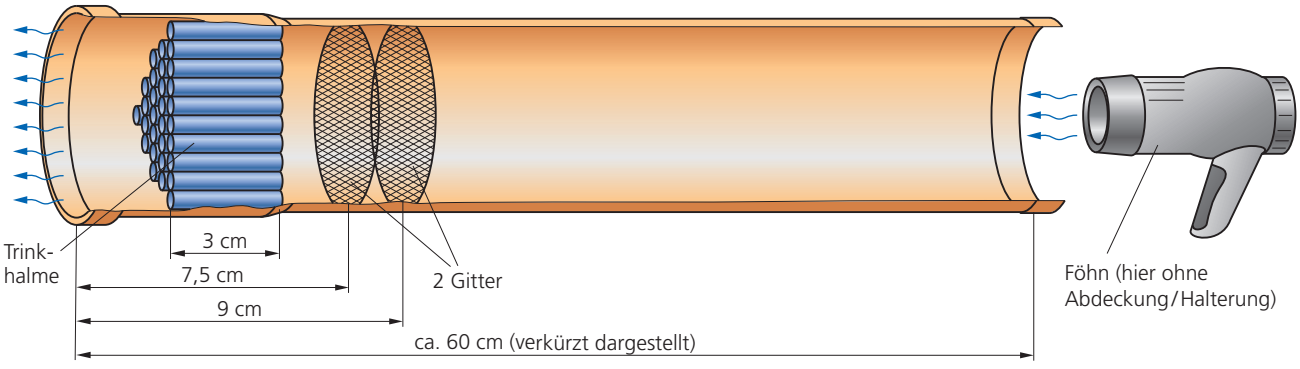
- Föhn mit Kaltluftfunktion
- Abwasserrohr (KG-Rohr) 15 cm x 60 cm (aus dem Baumarkt)
- Maschendraht oder Fliegengitter (mindestens doppelter Rohrdurchmesser)
- größere Packung Trinkhalme
- Sperrholz oder Abdeckkappe (Durchmesser des Rohres)
- Rolle durchsichtiges Klebeband
- Sprühkleber
- Flugzeugmodell oder andere Untersuchungsobjekte
- Draht (als Halterung für das Modell)
- Räucherstäbchen

Werkzeuge

- Schere
- Akkuschrauber
- Holzbohrer (4 mm)
- Heißklebepistole
- Stichsäge
- Filzstift
- Cuttermesser

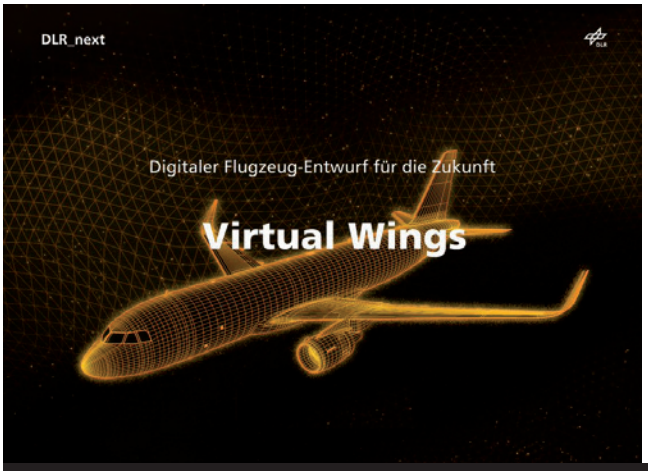
Durchführung:

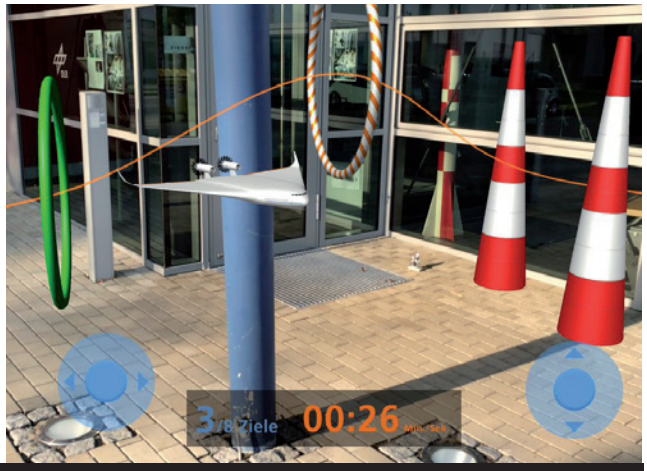
Wenn der Windkanal fertig ist, geht das eigentliche Experimentieren los! Dazu muss man nacheinander verschiedene Objekte an den Ausgang des Windkanals stellen und die Strömung mit dem Rauch der Räucherstäbchen sichtbar machen. Wie verläuft sie um die Objekte herum? Erkennt man Unterschiede – etwa wenn man verschiedene Flugzeugmodelle oder Spielzeugautos nacheinander testet? Wo entstehen Wirbel und wie ändern sie sich, wenn man am Objekt etwas verändert? Neben Auto- und Flugzeugmodellen können auch ganz andere Dinge untersucht werden – etwa Tischtennis- und Golfbälle oder Würfel.



©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

Virtual Wings: Lernspiel zum Flugzeug von morgen





Die beiden Screenshots stammen aus der App „Virtual Wings“ des DLR. Das virtuelle Flugzeug fliegt hier vor dem Eingang des DLR_School_Labs in Braunschweig durch einen Hindernisparcours. Aber auch im Klassenzimmer oder an jedem anderen Ort kann man den „Flieger“ per Augmented Reality abheben lassen. Bilder: DLR

Windkanäle sind das eine „Werkzeug“ der Strömungsforschung, Hochleistungsrechner das andere – und von ihnen handelt unsere zweite Anregung für den Unterricht. Auf unserem Jugendportal DLR_next finden Sie unter dem Suchbegriff „Virtual Wings“ eine App, die wir speziell für jüngere Schülerinnen und Schüler entwickelt haben. Die Nutzer können dabei aus vielen Komponenten ihr eigenes Flugzeug konstruieren. Mithilfe von Augmented Reality wird der Flieger dann auf einen virtuellen Testflug quer durchs Klassenzimmer geschickt. Auf dem Tablet-Bildschirm tauchen frei im Raum schwebende Hindernisse auf, die durchflogen werden müssen. Wer ein besonders schadstoffarmes oder leises Flugzeug konfiguriert hat, wird am Ende mit Bonussekunden belohnt.

Interessant!

Forschungsflieger im Dienst der Umwelt

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) forscht nicht nur am Flugzeug für morgen, sondern es setzt auch Flugzeuge zur Umweltforschung ein. So unterhält das DLR die größte Flotte mit zivilen Forschungsflugzeugen in ganz Europa. Die Maschinen werden für ihre Einsätze mit zahlreichen Instrumenten und Sensoren ausgestattet, die zum Beispiel die Luftqualität oder die Zusammensetzung der Atmosphäre in verschiedenen Höhen messen. Oder es werden spezielle Kameras eingebaut, die der Erdbeobachtung aus der Luft dienen. Manchmal testet man so Kamerasysteme oder andere Instrumente wie etwa Radarsensoren, die später auf Satelliten zum Einsatz kommen sollen. Oder ein Forschungsflugzeug fliegt dicht hinter einer normalen Maschine her, die Biotreibstoff getankt hat, um die chemische Zusammensetzung der Abgase zu analysieren.

Ein Forschungsflugzeug wird startklar gemacht. Bild: DLR

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

Alternative Treibstoffe

Der Labortest zeigt: Bio-Treibstoff (links) erzeugt viel weniger Ruß als normales Kerosin (rechts). Bild: DLR

Hintergrund-Info

Kennen Sie zufällig die Science-Fiction-Filme „Zurück in die Zukunft"? In einer Szene kommt Doc Brown – der verrückte Erfinder mit der Einsteinfrisur – aus der Zukunft zurück und hat inzwischen das Zeitmaschinen-Auto so modernisiert, dass es mit Bioabfall fährt und sogar fliegt … So verrückt, wie diese Filme insgesamt sind: Die Szene mit dem „Sprit aus der Biotonne" ist nicht mal so abwegig.

Schon heute gibt es an jeder Tankstelle Benzin oder Diesel mit einer Beimischung pflanzlicher Kraftstoffe. Auch Flugzeuge können mit solchen Zusätzen fliegen. Das DLR hat das bereits mehrfach getestet und Fluggesellschaften haben ein Gemisch aus normalem Kerosin und alternativen Treibstoffen bereits auf Linienflügen eingesetzt.

Das Problem an der Sache ist nur: Alternative Treibstoffe, die auf Pflanzenbasis hergestellt werden, haben nach Ansicht vieler Umweltorganisationen auch Nachteile. Denn um genügend Biokraftstoff herzustellen, sind riesige Felder mit Raps, Weizen, Mais oder anderen Pflanzen nötig. Das zieht weitere Probleme nach sich: Es werden dafür mancherorts wertvolle Waldgebiete gerodet, der Anbau der „Treibstoff-Pflanzen" geht zulasten von Lebensmitteln oder Futterpflanzen, die sonst auf den Äckern wachsen würden, und die meist riesigen Felder sind anfälliger für Schädlinge, sodass mehr Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden müssen.

Den Nachteilen steht ein großer Vorteil gegenüber: Wenn man Pflanzen in Treibstoff umwandelt und dabei in Automotoren oder Flugzeugtriebwerken verbrennt, entsteht zwar Kohlenstoffdioxid. Aber da die Pflanzen dieses Gas vorher beim Wachstum aus der Luft „genommen" und in ihre Zellen eingebaut haben, ist die Verbrennung am Ende klimaneutral, denn es wird dabei nur so viel CO_2 freigesetzt, wie vorher aus der Luft aufgenommen wurde. Vielleicht findet man Pflanzenarten und Anbaumethoden, bei denen die oben erwähnten Nachteile nicht entstehen. In einigen Projekten wird mit Algenzucht experimentiert – auch das könnte eventuell eine Lösung sein. Ein weiterer Vorteil: Die Flugzeugtriebwerke müssen nicht umgerüstet werden.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

Ähnlich sieht es bei synthetischen Treibstoffen aus. „Synthetisch“ heißt hier, dass sie künstlich hergestellt werden. In diesen Verfahren sieht das DLR die besten Chancen. Man kann zum Beispiel das CO_2 aus der Luft herausfiltern und daraus über einige „Umwege“ Kerosin gewinnen. Warum die Rechnung klimaneutral ist? Ein Flugzeug, das mit diesem synthetischen Kerosin fliegt, stößt – ähnlich wie beim „Biokraftstoff“ – nur so viel CO_2 aus, wie vorher zur Herstellung des Treibstoffs aus der Atmosphäre genommen wurde.

Natürlich sind auch bei alternativen Treibstoffen wie dem synthetischen Kerosin noch viele Tests nötig. Und man muss die Herstellung solch alternativer Treibstoffe immer von Anfang bis Ende betrachten: Die Anlagen, die das synthetische Gemisch herstellen, verbrauchen schließlich auch Energie – und die muss ebenfalls klimaneutral bereitgestellt werden, etwa durch Solaranlagen. Funktioniert das alles, wären wir tatsächlich ziemlich nah an der Vision einer klimaneutralen Luftfahrt. Nicht ganz so wie im Film „Zurück in die Zukunft“, aber immerhin!

Interessant!

Weniger Kondensstreifen!

Forschungsflieger des DLR und der amerikanischen NASA beim Test von Biotreibstoff. Bild: DLR/NASA/Friz

Ein anderes Ziel bei der Entwicklung alternativer Treibstoffe ist es, dass weniger Rußpartikel entstehen. Das ist wichtig, weil Rußteilchen im Abgasstrahl eines Flugzeugs zu Kondensstreifen führen können. Diese hellen Streifen, die man oft am Himmel sieht, bilden sich dann, wenn die Luft so kalt ist, dass sie die Feuchtigkeit nicht mehr aufnehmen und „speichern“ kann (was bei warmer Luft besser klappt als bei kalten Temperaturen). Kommen dann noch Rußteilchen oder andere Partikel dazu, wirken sie wie „Kristallisationskeime“ für die Kondensstreifen. Also: Weniger Ruß, weniger Kondensstreifen. Warum das wichtig ist? Weil Kondensstreifen ebenfalls zur Erwärmung unseres Klimas beitragen.

Mitmach-Experiment: Die Olivenöl-Weihnachtspyramide

Ein für jüngere Jahrgangsstufen geeignetes „Mitmach-Experiment“ im eigentlichen Sinne, das die Schülerinnen und Schüler aktiv einbezieht, ist zu diesem Thema der Biotreibstoffe kaum möglich. Der eingängigste Versuch wäre eine aus Sicherheitsgründen alleine durch die Lehrkraft vorgeführte Präsentation, bei der ein pflanzliches Öl (z. B. Olivenöl) in eine kleine Öllampe gefüllt und anschließend entzündet wird. Versetzt man damit eine Weihnachtspyramide oder eine ähnliche Konstruktion in Drehung, wird zusätzlich die Umwandlung in Bewegungsenergie augenfällig – vom Prinzip her grundsätzlich ähnlich den Vorgängen in Turbinen.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

Verbesserte Abläufe am Boden und in der Luft

In diesem Simulator des DLR in Braunschweig testen Fluglotsen neue Instrumente und Verfahren, die es ihnen künftig erleichtern sollen, die anfliegenden Maschinen ohne lange Warteschleifen auf die Landebahn zu dirigieren. Die umfangreichen Tests sind nötig, bevor ein System im echten Luftverkehr im Tower zum Einsatz kommt. Bild: DLR

Hintergrund-Info

Sie und Ihre Schülerinnen und Schüler haben das vielleicht auch schon erlebt: Man sitzt im Flugzeug, ist fast am Ziel – und dann dauert es doch noch eine ganze Weile bis zur Landung. Und es dauert und dauert … Viele Minuten verbringen Flugzeuge täglich weltweit in solchen Warteschleifen. Sie kreisen über dem Flughafen oder eigentlich sogar weit um ihn herum. Wie kann man solche „Ehrenrunden", die jede Menge Treibstoff kosten und damit auch zu einem zusätzlichen CO_2-Ausstoß führen, vermeiden? Und wie kann man unterwegs lange vor der Landung Treibstoff sparen?

Entscheidend ist die Planung der Flugrouten. Die ist in Europa insgesamt zwar schon recht gut, aber Experten sagen: Da geht noch was! Vor allem müssen die Boden- und Bordabläufe und -systeme perfekt aufeinander abgestimmt werden – über Ländergrenzen hinweg und bei allen Beteiligten von der Fluglinie über die Flugsicherheit bis zu den Flughäfen. Mithilfe neuer Instrumente und Verfahren nimmt ein Flugzeug in Zukunft die schadstoffärmste Flugroute und auch der Landeanflug funktioniert kontinuierlich in einem „Rutsch", also ohne Unterbrechung und Warteschleifen. Dadurch können weltweit viele Tonnen Abgase vermieden werden – jeden Tag! Außerdem wird untersucht, welche Vorteile niedrigere Flughöhen und eine Reduzierung der Fluggeschwindigkeit haben könnten.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

Interessant!

Luftfahrt – nicht nur in der Luft

Ein Teil des Luftverkehrs spielt sich gar nicht in der Luft ab, sondern am Boden! Und auch da, auf den Flughäfen, lässt sich einiges verbessern. Dort sind ja viele Fahrzeuge unterwegs: Busse, die die Passagiere zum Flieger bringen, Fahrzeuge für den Gepäcktransport, Follow-me-Autos, die das gelandete Flugzeug zum Gate geleiten und so weiter. Sie alle sollten vorzugsweise mit Elektroantrieben statt mit Verbrennungsmotoren ausgestattet werden. Auch die Flugzeuge selbst rollen täglich viele Kilometer auf dem Weg zur Startbahn oder nach der Landung zum Gate. Normalerweise sorgen die Triebwerke für die Fortbewegung. Doch das DLR hat bereits im Jahr 2011 einen elektrischen Antrieb mit Brennstoffzelle für das „rollende" Flugzeug entwickelt und getestet. All diese Maßnahmen zusammen – an möglichst vielen Flughäfen – würden den Luftverkehr etwas klimafreundlicher und leiser machen.

Dieses DLR-Forschungsflugzeug rollte in Tests mit einem Brennstoffzellen-Antrieb. So könnte auch der Flugverkehr am Boden umweltfreundlicher gestaltet werden. Bild: DLR

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

Drohnen, Flugtaxis und andere Fluggeräte

Gehören Flugtaxis bald zum normalen Stadtbild? Bild: DLR

Hintergrund-Info

Neben Flugzeugen gibt es andere Fluggeräte, von denen manche aktuell an Bedeutung gewinnen. Dazu gehören ferngesteuerte Drohnen, die als „Freizeitspaß" gerade auch bei jungen Leuten beliebt sind. Professionelle Einsatzgebiete im zivilen Bereich sind beispielsweise die Lageerkennung im Katastrophenfall, der Transport medizinischer Güter in entlegene Gebiete oder auch die Inspektion technischer Infrastrukturen wie etwa von Windkraftanlagen auf See.

Die Idee eines „Flugtaxis", das Passagiere etwa innerhalb einer Großstadt von A nach B transportiert, ist eigentlich nicht neu. In den Metropolen dieser Welt sind schon jetzt täglich Tausende solcher Flüge unterwegs – nur dass man die Fluggeräte nicht als „Flugtaxi" bezeichnet: Es handelt sich um ganz „normale" Hubschrauberflüge. Etwas anderes wären autonome Flugtaxis, die Passagiere ohne Pilot an Bord befördern und selbstständig ihren Weg zum Ziel finden. Technisch ist das in absehbarer Zeit machbar. Das Problem liegt allerdings in der sicheren Luftraumüberwachung, also in der Kontrolle und Führung solcher Flugbewegungen durch Fluglotsen. Experten stufen das in innerstädtischen Gebieten als sehr kritisch ein, während Transporte zwischen verschiedenen Städten realistischer erscheinen. Der Vorteil: Flugtaxis lassen sich mit bis zu vier Insassen oder entsprechender Fracht voll-elektrisch antreiben, was die Umwelt entlasten würde.

Helikopter – quasi die Vorläufer der Flugtaxis – sind seit Jahrzehnten ein fester Bestandteil des Flugverkehrs. Ihre Fähigkeit, ohne Start- und Landebahn auszukommen und in der Luft gewissermaßen „auf der Stelle" schweben zu können, macht sie für viele Einsätze unentbehrlich – von der Rettung auf See oder im Gebirge bis zur ersten Hilfe nach Verkehrsunfällen.

Einen Sonderfall nehmen Ballone und historische Zeppeline ein: Während die meisten anderen Fluggeräte wie Flugzeuge und Helikopter schwerer als Luft sind, folgen Ballone und Zeppeline dem Prinzip „leichter als Luft". Mit heißer Luft oder mit leichtem Gas gefüllt steigen sie in die Höhe – weil ihre gesamte Masse einschließlich der Hülle und der Passagiere bzw. Fracht in der Summe geringer ist als die von ihnen verdrängte Umgebungsluft.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

Vergleicht man einen Ballon mit einem Zeppelin, so fällt ein gravierender Unterschied auf: Der Ballon treibt je nach Windrichtung eher zufällig durch die Luft, während ein Zeppelin mit eigenem Antrieb und Steuer gelenkt werden kann. Daher wird Zeppelinen seit einiger Zeit wieder eine Zukunft vorausgesagt. Es handelt sich dabei genauer gesagt um „Blimps", die innen kein festes Gerüst haben, sondern als Prallluftschiff mit flexibler Hülle „aufgepumpt" werden.

Mit Elektromotoren ausgestattet, könnten sie umweltfreundliche Frachttransporte erledigen – zwar langsamer als Flugzeuge und mit deutlich geringerer Ladekapazität, aber eben nahezu umweltneutral und zu niedrigen Kosten. So oder so: Auch bei einem „Comeback" werden sie ein Außenseiter am Himmel bleiben.

Zu zwei dieser „Exoten" am Himmel nachfolgend leicht umsetzbare Mitmach-Experimente.

Spannend!

Die ersten Fallschirmsprünge

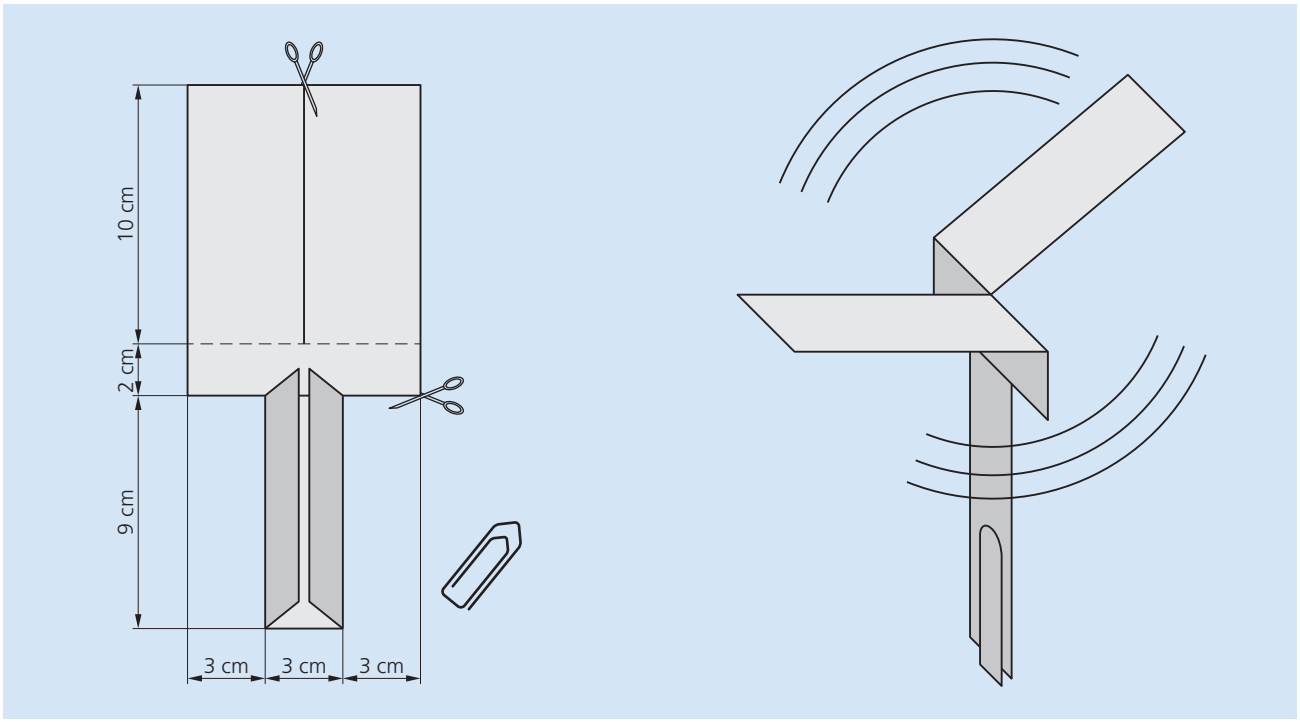
Einer der ersten Fallschirmabsprünge fand im Jahr 1785 in der Nähe von Frankfurt statt. Der Franzose Jean-Pierre Blanchard stieg dort mit einem Ballon auf. Allerdings sprang er nicht selbst aus dem Ballon in die Tiefe, sondern er ließ seinen Hund am Fallschirm zu Boden segeln (der das angeblich wohlbehalten überstand). Einige Jahre später wagte ein anderer Franzose namens André-Jacques Garnerin über Paris den ersten Fallschirmsprung aus großer Höhe (der Ballon war ungefähr 400 Meter über dem Boden). Danach wurden die Fallschirme immer weiter entwickelt und verbessert. Eine der ersten Fallschirmspringerinnen war die Deutsche Käthe Paulus. Ihr erster Sprung fand im Jahr 1893 über Elberfeld (heute Wuppertal) statt. Insgesamt soll sie über 100 Sprünge aus 1000 Metern und mehr absolviert haben.

Diese Fotomontage aus einer Zeitung zeigt Käthe Paulus. Bild: Wikipedia

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

Mitmach-Experiment: Der „Mini-Hubschrauber“

Ein Blatt Papier und eine Büroklammer – das sind die Zutaten für einen „Mini-Hubschrauber“. Mit Schere, Lineal und Stiften als „Werkzeug“ wird er wie in dieser Anleitung gezeigt gebastelt. Dann wirft man ihn hoch oder lässt ihn durchs Treppenhaus nach unten fliegen, wobei die „Rotoren“ beim Fall nach unten durch den Luftstrom in Drehung versetzt werden.



Mitmach-Experiment: Das Solar-Luftschiff

Ein Luftschiff im Original. Die Miniaturausgabe kann man mit ganz einfachen Mitteln steigen lassen. Bild: Raimond Spekking/CC BY-SA 4.0 (via Wikimedia Commons)

Das Solar-Luftschiff (oder umgangssprachlich „Solar-Zeppelin“) besteht lediglich aus einem dunklen Plastiksack. Man kann ihn im Internet bestellen oder einfach einen großen, möglichst leichten Müllbeutel nehmen – Hauptsache, er ist schwarz. Gut mit Luft gefüllt und dann verschlossen in die Sonne gelegt heizt sich die Luft im Inneren auf. Und weil die warme Luft eine geringere Dichte als die Umgebungsluft hat, steigt das „Luftschiff“ nach einiger Zeit auf. Damit es nicht davonfliegt, sollte man es von Anfang an mit einem dünnen Faden festbinden.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

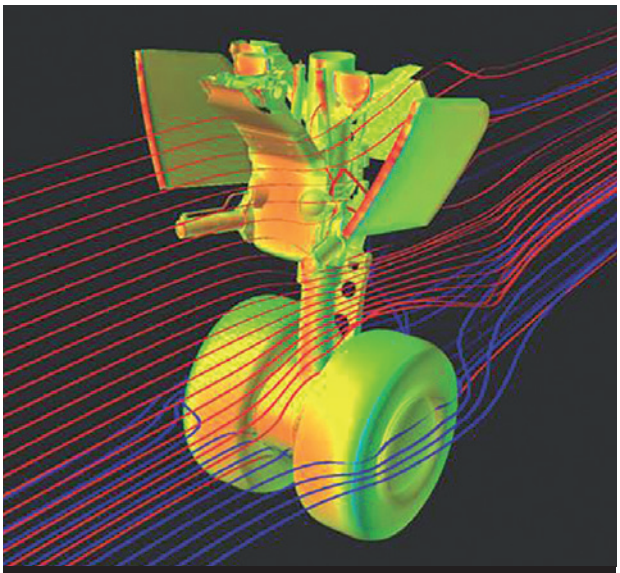
Auf dem Weg zum „flüsternden Flugzeug“

Auch die Reduzierung des Fluglärms ist ein großes Forschungsthema. Bild: DLR/K.-A.

Hintergrund-Info

Auch Fluglärm ist ein Umweltfaktor – und auch hier geht es in der Forschung um eine weitere Reduzierung. Das betrifft zum einen den Lärm, den die Triebwerke verursachen. Auf dem Weg zum „flüsternden Flugzeug“ ist dabei schon viel erreicht worden. Aber es gibt viele andere „Stellschrauben“, mit denen sich Fluglärm senken lässt. Dazu gehört der sogenannte Umströmungslärm: Er entsteht außen am Flugzeug, wo einzelne Komponenten der Luftströmung ausgesetzt sind. So wird ein Flugzeug zum Beispiel abrupt lauter, wenn das Fahrwerk ausgefahren wird.

Eine andere Lärmquelle sind kleine Öffnungen in den Tragflächen. Und genau darum geht es in dem folgenden Mitmach-Experiment.

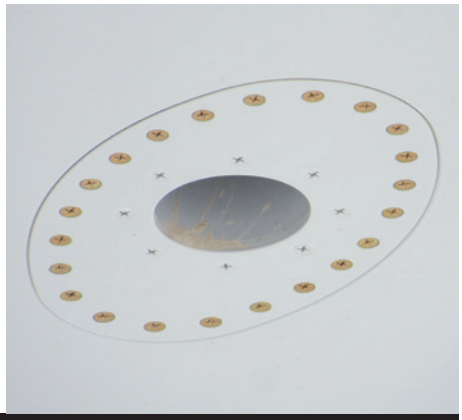


Die Luftströmung um ein Fahrwerk – hier in einer Rechnersimulation sichtbar gemacht. Bild: DLR

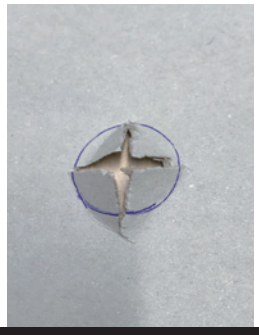
©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

Mitmach-Experiment: Die laute Flasche

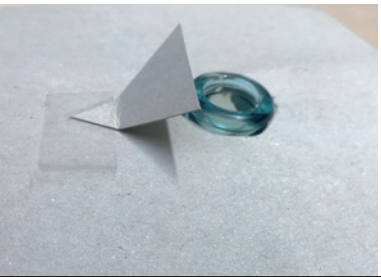
Flugzeuge haben in den Flügeln kleine Öffnungen. Das ist wichtig, weil sich in den Tragflächen die Treibstofftanks befinden: Da sich bei Hitze der Treibstoff etwas ausdehnt, sorgen die Löcher wie Ventile dafür, dass der Druck im Tank nicht zu groß wird. Die kreisrunden Öffnungen haben nur einen Nachteil: Wenn die Luft beim Fliegen über sie hinweg strömt, erzeugt das Töne – ganz ähnlich dem Geräusch, das entsteht, wenn man über die Öffnung einer Flasche bläst. Dieses Geräusch wollen wir nun mit einem kleinen Experiment „entfernen“. Schildern Sie zunächst das Problem und präsentieren Sie – wie hier in der Bildfolge gezeigt – eine „Tragfläche“ (aus dem größeren Stück Pappe bestehend) mit einem kreuzförmigen Einschnitt, in den Sie eine Flaschenöffnung gesteckt haben. Wer will, darf selbst über die Flaschenöffnung pusten und so das Geräusch erzeugen.

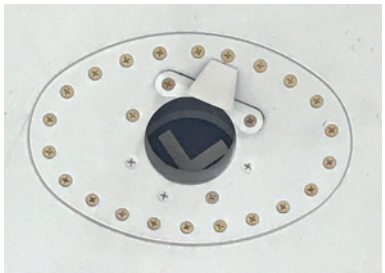


Hier erkennt man die kreisrunde Öffnung in der Tragfläche. Bilder: DLR/Fischer



Eine „Tragfläche“ aus Pappe und eine Flasche verdeutlichen das Problem.





Ein Dreieck aus Pappe wird vor die Flaschenöffnung geklebt. Das zweite Bild zeigt die Lösung in der Realität: Der Wirbelgenerator ist hier neben der Öffnung mit zwei Schrauben angebracht. Bilder: DLR/Fischer

Materialien

- leere Flasche
- Klebeband
- Schere
- Stift
- 1 großes und 1 kleines Stück Pappe

Die Aufgabe besteht nun für die Klasse darin, mit dem kleineren Stück Pappe (und den Werkzeugen wie Schere, Stift und Klebeband) eine Abhilfe zu konstruieren – fast wie echte Flugzeugingenieure, die ebenfalls mit einer Fragestellung konfrontiert werden und eine Lösung finden müssen. Sammeln Sie Vorschläge und leiten Sie wenn nötig durch Hinweise auf die Lösung hin, die in der Realität aus einem sogenannten Wirbelgenerator besteht. Der kleine Aufsatz wird unmittelbar vor der Öffnung angebracht, verwirbelt die Luftströmung und lenkt sie an der Öffnung vorbei. Im Experiment dient dazu – ähnlich wie in der Realität – ein kleines Stück Pappe, das vor der Öffnung platziert wird. Wichtig ist dabei die richtige Position, sodass die Öffnung quasi im „Windschatten“ liegt.

Übrigens: Im Internet kann man sich auf der Seite https://www.lufthansagroup.com/de/verantwortung/klima-umwelt/aktiver-schallschutz.html das Geräusch am Flugzeug einmal mit und einmal ohne Wirbelgenerator anhören.

Hinweis: Das ursächliche Problem, dass sich der Treibstoff in den Tragflächentanks bei Wärme ausdehnt und deshalb eine Art Ventil nötig ist, können Sie vorab in einem Handversuch verdeutlichen. Dabei stülpt man einen Luftballon über die Öffnung eines Erlenmeyer-Kolbens, den man in einer leeren Wanne erst mit heißem Wasser übergießt und dann in einer zweiten leeren Wanne mit kaltem Wasser abkühlt. Das heiße Wasser erhitzt die Luft, was den Luftballon deutlich sichtbar aufbläht, das kalte Wasser senkt die Temperatur im Ballon und führt (in diesem nur der Kontrolle dienenden zweiten Versuchsdurchgang) dazu, dass er sich wieder zusammenzieht. Das kleine Experiment funktioniert auch mit anderen hitzefesten Behältern wie etwa einer Babyflasche.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

Vom Traum zur Realität

Vor über 100 Jahren flog Otto Lilienthal als erster Mensch durch die Lüfte – hier ein Nachbau seines „Normalsegelapparates". Heute transportieren große Flugzeuge Hunderte von Passagieren. Bild: DLR

Aus dem Traum vom Fliegen ist längst Realität geworden. Zu Beginn waren Flugreisen nur für privilegierte Gruppen der Gesellschaft erschwinglich. Inzwischen sind sie für die meisten Menschen Normalität. Trotzdem: Der Flug hoch über den Wolken ist für viele nicht nur eine Frage der Fortbewegung, sondern er ist gerade auch für junge Leute ein faszinierendes Erlebnis – von der Vorfreude und Aufregung beim Einsteigen und Start über den Blick aus dem Fenster hinab auf die Erde bis zur geglückten Landung. Diese „Faszination Fliegen" lässt sich im Unterricht nutzen, um insgesamt Interesse an naturwissenschaftlichen Themen und Technik zu fördern. Zugleich sollten die hier in aller Kürze dargestellten Projekte zeigen, dass Umweltfragen die alles beherrschende Thematik der heutigen Luftfahrt-Forschung sind – natürlich verbunden mit der Sicherheit, die im Flugverkehr immer an oberster Stelle steht.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2022

Hinweis
Zugunsten einer leichteren Lesbarkeit wird in diesem Heft nicht immer ausdrücklich die weibliche Form genannt. Selbstverständlich sind aber immer weibliche und männliche Personen gemeint: Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Pilotinnen und Piloten usw. Wir bitten für dieses Vorgehen um Ihr Verständnis.

2. Auflage April 2022

Herausgegeben vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und Klett MINT GmbH

© Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) Köln und Klett MINT GmbH, Stuttgart

Redaktion:
Dr. Volker Kratzenberg-Annies, DLR Köln
Lektorat:
Hanne Lier, Medienwerk Lier, Stuttgart

Redaktionelle Beiträge und Mitwirkung:
Dr. Oliver Boguhn, Frank Fischer, Dr. Albrecht Weidermann

Projektkoordination und Herstellung:
Annkathrin Rapp, Klett MINT

Gestaltung: Bettina Herrmann, Stuttgart
Illustrationen: Grafische Produktionen Neumann, Rimpar
Druck: C. Maurer GmbH & Co. KG, Geislingen an der Steige

Haftungsausschluss
Die in dieser Broschüre beschriebenen Mitmach-Experimente wurden sorgfältig ausgearbeitet. Sie können jedoch auch bei ordnungsgemäßer Durchführung und Handhabung mit Gefahren verbunden sein. Die hier vorgeschlagenen Mitmach-Experimente sind ausschließlich für den Einsatz im Schulunterricht vorgesehen. Ihre Durchführung sollte in jedem Fall durch eine Lehrkraft betreut werden. Die Richtlinien zur Sicherheit im Schulunterricht sind dabei einzuhalten. Die Herausgeber können keine Garantie für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Durchführbarkeit der hier beschriebenen Experimente geben. Die Herausgeber übernehmen keine Haftung für Schäden, die bei Durchführung der hier vorgeschlagenen Mitmach-Experimente entstehen. Die Herausgeber übernehmen keine Verantwortung oder Gewähr für die Richtigkeit der Inhalte auf genannten Webseiten Dritter.

Hinweis zur Genehmigung des Nachdrucks
Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Für nichtkommerzielle schulische Zwecke ist das Kopieren der Materialien erlaubt und erwünscht. Kopieren, Nachdruck oder Vervielfältigung, auch auszugsweise, außerhalb des Unterrichtseinsatzes nur mit schriftlicher Genehmigung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und des Verlages. Hinweis § 52a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Genehmigung eingescannt und in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen.

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) …

… ist mit rund 10.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern eine der größten und modernsten Forschungseinrichtungen Europas. In unseren 27 Standorten werden unter anderem die Flugzeuge der nächsten Generation entwickelt, Raketen-Triebwerke getestet oder auch Bilder von fernen Planeten ausgewertet. Außerdem beschäftigt sich das DLR mit umweltfreundlichen Verfahren zur Energiegewinnung, Technologien für die mobile Gesellschaft von morgen und vielen anderen spannenden Zukunftsthemen.

Unsere Begeisterung für die Forschung geben wir gerne an junge Menschen weiter. So können Schulklassen bzw. -kurse nach Voranmeldung unsere Schülerlabore, die DLR_School_Labs, besuchen – Infos unter www.DLR.de/dlrschoollab

Daneben bieten wir auf unserem Jugendportal DLR_next – siehe www.DLR.de/next – altersgerechte Informationen für junge Leute an. Und mit Unterrichtsmaterialien wie der DLR_School_Info wollen wir die Behandlung aktueller Forschungsthemen im Unterricht unterstützen.

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt