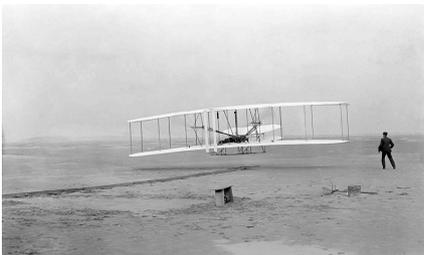


Vom Flug der Vögel



Otto Lilienthal bei einem seiner Testflüge im Jahre 1895, nahe Berlin.

Ende des 19. Jahrhunderts ging einer der größten Träume der Menschheit in Erfüllung: der Traum vom Fliegen. Erfinder wie etwa **Otto Lilienthal** (Deutschland) oder die **Gebrüder Wright** (USA) waren die Vorreiter der Eroberung des Luftraumes durch den Menschen. Sie entwickelten unzählige Flugmaschinen und unternahmen zahlreiche Testflüge. Otto Lilienthal bezahlte seinen Forscherehrgeiz schließlich sogar mit dem Leben, als er bei einem seiner Flugversuche abstürzte und ums Leben kam.



Die Gebrüder Wright bei ihrem ersten motorisierten Flug.

Bis sich der Mensch jedoch zum ersten Mal erfolgreich in die Lüfte erheben konnte, verging eine lange Zeit, in der unzählige Wissenschaftler und Erfinder immer neue Flugapparate entwickelten und erprobten. Als Vorbild dienten ihnen meist die Vögel. Bereits Leonardo da Vinci beobachtete den Vogelflug ausführlich und entwickelte auf dieser Grundlage Modelle von Fluggeräten, die er jedoch nie bauen ließ. Erst den **Gebrüder Wright** gelang es schließlich, ein motorisiertes Fluggerät zu entwickeln, das sich erfolgreich für längere Zeit in der Luft halten konnte.

Auf den folgenden Seiten findet ihr eine Menge interessante Versuche und zahlreiche Informationen rund um den Vogelflug. Sie sollen euch helfen, zu verstehen, wie Vögel es schaffen, in der Luft zu fliegen, und wie selbst riesige Kolosse wie etwa eine Boing 747 überhaupt vom Boden abheben können. Dazu beschreiten wir gemeinsam einen Weg, den zahlreiche Wissenschaftler bereits lange vor uns gegangen sind.

Aufgabe 1:

Um zu verstehen, wie Vögel fliegen, muss man *die* Körperteile genauer betrachten, die ihnen das Fliegen überhaupt ermöglichen: **die hoch spezialisierten Flügel**.

Sieh Dir im Museum bzw. in der Lehrsammlung der Universität die ausgestellten Vogelexemplare an! Bei einigen Exemplaren kannst du die Flügel gut von allen Seiten betrachten.

Fertige eine **Draufsicht** und einen **Querschnitt** eines Vogelflügels an!

Die Schüler sollten etwas Zeit bekommen, sich im Museum oder in der Lehrsammlung der Universität umzusehen und die ausgestellten Vögel zu betrachten. Danach sollte die Aufgabe innerhalb von ca. 15 Minuten bearbeitet werden. Zum Abzeichnen sollten die Schüler möglichst Vogelexemplare verwenden, die mit ausgebreiteten Flügeln ausgestellt sind. Lassen Sie die Schüler aber auch die entsprechend ausgestellten oder im Koffer vorhandenen präparierten einzelnen Flügel genau anschauen, um die genaue Flügelform und den genauen Querschnitt erkennen zu können.

Deutscher Name des Vogels (wenn möglich):

Der deutsche Name reicht völlig aus. Er ist den Beschriftungen der Exponate zu entnehmen.

Draufsicht:

s. Exponate!

Querschnitt:

s. Exponate und Bild Aufgabe 2!

Aufgabe 2:

Im Bionik-Koffer findest Du drei verschiedene Modelle, mit denen versucht wurde, die Form des Flügelquerschnitts eines Vogelflügels nachzuahmen.

- a) Welches dieser Modelle kommt dem tatsächlichen Flügelquerschnitt deiner Meinung nach am nächsten? Begründe kurz!

Im Koffer finden Sie drei Flügelmodelle mit je einem ovalen, einem tropfenförmigen und einem tatsächlich vogelflügelähnlichen Querschnitt (letzteres siehe folgende Abbildung).



b) Teste nun alle drei Modelle wie folgt:

Halte das Modell jeweils an einer Seite fest und versuche, von vorne möglichst waagrecht darauf zu blasen.

Was kannst Du an den drei Modellen jeweils beobachten? Schreibe es auf!

(Du kannst zur Veranschaulichung auch Skizzen von deinen Beobachtungen machen!)

Nur das Modell, das dem tatsächlichen Flügelquerschnitt an ähnlichsten ist, wird in den meisten Haltepositionen nach oben abheben. Das zeigt den „Flugeffekt“ des Vogelflügels. Dieser Versuch dient als Ausgangspunkt für die Erklärung des Bernoulli-Effekts, weshalb Sie sich immer wieder auf ihn beziehen sollten. Eine Erklärung dieses Versuches wird zunächst aufgeschoben! Zur besseren Veranschaulichung werden weitere Versuche durchgeführt.

Hinweis: Selbstverständlich wird der Flügel vorne nach unten gedrückt, sobald man ihn zu weit nach vorne neigt! Das hat dann nichts mehr mit dem Bernoulli-Effekt zu tun, sondern nur damit, dass der Luftstrom aus dem Mund der Schüler auf die Flügeloberseite drückt und ihn deshalb nach unten presst.

Die Schüler sollten ruhig auch wieder zeichnen, was sie beobachten konnten. Eine Zeichnung anzufertigen, ist oftmals anschaulicher als das reine mündliche Beschreiben. Fordern Sie allerdings von den Schülern immer auch eine Beschreibung ihrer Beobachtungen ein.

Die Schüler sollen hier zunächst erkennen, dass die **Form** des Flügelquerschnitts für den „Auftrieb“ entscheidend ist, dass es also nicht egal ist, wie der Vogel-/Flugzeugflügel geformt ist.

Information für den Lehrer (Erklärung für die Schüler hier noch aussparen!): Der Grund für das Verhalten des Vogelflügels im Luftstrom ist eine dynamische Auftriebskraft, die am Flügel angreift und senkrecht nach oben, also der Gewichtskraft des Vogels entgegen gerichtet ist (anders als bei der Schwimmblase von Fischen, bei der eine statische Auftriebskraft für das Schweben der Tiere im Wasser verantwortlich ist (vgl. Station „Von schwimmenden Fischen“)).

Verändere nun die Lage des jeweiligen Flügelmodells im Luftstrom, indem Du ihn einseitig nach oben und unten kippst, während Du darauf bläst!

Was kannst Du beobachten? Beschreibe genau!

s. o.!

Bestätigen Deine Beobachtungen unter Aufgabe 2b) deine in Aufgabe 2a) geäußerte Vermutung? Begründe kurz!

Das sollte der Fall sein. Die Schüler erkennen, dass sich der Flügel im von vorne kommenden Luftstrom stark nach oben bewegt. Die Tatsache, dass dieser Effekt beim genannten Querschnittsmodell am stärksten ist, sollte die Schüler erkennen lassen, dass gerade diese Flügelform günstig für einen guten Auftrieb in der Luft ist. Gegebenenfalls müssen sie auch ihre Zeichnungen zu Aufgabe 1 noch einmal überprüfen und korrigieren. Die Schüler können so selbst sehr gut testen, ob sie in Aufgabe 1 gut beobachtet haben, wie der Querschnitt eines Vogelflügels tatsächlich aussieht.

Das, was Du an *dem* Modell beobachtet hast, das dem tatsächlichen Flügelquerschnitt am ähnlichsten ist, kann man mit dem so genannten **Bernoulli-Effekt** erklären. Dieser physikalische Effekt ist nach dem Schweizer Mathematiker und Physiker **Daniel Bernoulli** benannt. Den Bernoulli-Effekt kannst Du auch in den folgenden spannenden Versuchen gut sichtbar machen:

Aufgabe 3:

Nimm einen Fön zur Hand!

(Er sollte am vorderen Ende eine Düse besitzen, damit sich die ausgeblasene Luft „kanalisieren“ lässt.)

Halte den Fön so, dass der Luftstrom möglichst waagrecht ausströmen kann, schalte ihn ein und führe von unten her mit der anderen Hand **langsam** einen streifen Tonpapier an den Luftstrom heran.

Beschreibe Deine Beobachtungen kurz!

Achten Sie darauf, dass das Tonpapier so locker gehalten wird, dass es nicht schon durch das bloße Festhalten starr ausgerichtet wird und nicht unter Spannung steht. Es sollte ganz locker zwischen Daumen und Zeigefinger festgehalten werden.

Das Papier wird zum Luftstrom hin senkrecht nach oben gezogen. Erwarten würde man aber eigentlich eher, dass es durch die Kraft des Luftstromes nach unten gedrückt wird. Hier wirkt jedoch bereits der Bernoulli-Effekt. Auch dieser Versuch soll, wie auch der nächste, nur beobachtet und dokumentiert werden. Eine Erklärung kann noch hinten gestellt werden. (Es sei denn, sie kommt bereits von den Schülern selbst. Aufgabe 4 kann dann so bearbeitet werden, dass man zunächst eine Vermutung darüber anstellt, was man beobachten können sollte, und dann den Versuch durchführt und auswertet.)

Aufgabe 4:

Nimm je ein DIN A4 Blatt in jede Hand und halte beide parallel senkrecht nach unten! Sie sollten einen Abstand von etwa 3 bis 5cm haben. Blase nun dicht vom oberen Rand der beiden Blätter aus senkrecht nach unten in den Spalt zwischen den Blättern hinein!

Schreibe kurz auf, was Du beobachtest!

Die beiden Blätter werden bei Einsetzen des Luftstroms nach innen hin aufeinander zu bewegt. Wie in Aufgabe 3 beschrieben, würde man eigentlich eher erwarten, dass sie durch den Luftstrom voneinander weg bewegt werden. Der Bernoulli-Effekt bewirkt jedoch das Gegenteil.

Welche Gemeinsamkeit(en) zeigen Deine Beobachtungen aus den Aufgaben 3 und 4?

Der jeweils verursachte starke Luftstrom scheint eine Art Sogwirkung zu erzeugen. Es muss also eine Kraft geben, die zum Luftstrom hin gerichtet ist. Bezogen auf den Luftdruck heißt das, dass der Luftdruck außerhalb des Stromes größer als innerhalb des Luftstromes sein muss. Anders kann die zum Luftstrom hin gerichtete Kraft nicht erklärt werden. Ein ähnlicher Effekt erzeugt Winde. Es sind Luftströmungen vom Ort des höheren Luftdrucks (Hochdruckgebiet) zum Ort des niedrigeren Luftdrucks (Tiefdruckgebiet). Die Erkenntnis, dass schneller strömende Flüssigkeiten (oder Gase) einen geringeren Druck (auf eine Gefäßwand) ausüben als langsamer strömende, nennt man den **Bernoulli-Effekt**.

Lasse Dir von Deinem Lehrer erklären, was man genau unter dem **Bernoulli-Effekt** versteht! Mache Dir dazu einige Notizen und versuche gemeinsam mit deinen Mitschülern, deine Beobachtungen aus den Aufgaben 3 und 4 mit Hilfe dieser Erläuterungen zu erklären!

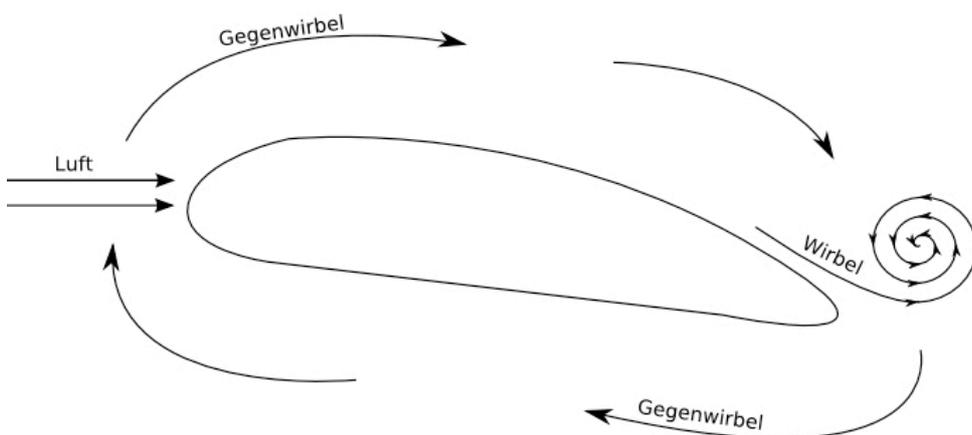
Zunächst sollte das Prinzip des so genannten dynamischen Auftriebs klar werden: durch die Flügelform (Querschnitt) wird erreicht, dass die Luft auf der Flügeloberseite insgesamt schneller strömt als auf der Unterseite. Schneller strömende Luft übt einen geringeren Druck auf die Flügeloberfläche aus als langsamer strömende Luft. Durch diese Druckunterschiede entsteht eine resultierende Kraft in Richtung des Gebietes des niedrigeren Drucks (s. o.).

Als anschauliches Experiment kann man folgendes tun:

An einer Seite des Stücks eines Plastikschauchs befindet sich ein leerer Luftballon. Ein zweiter Ballon wird nun aufgeblasen und, ohne das Luft ausströmt, mit dem Ende auf das andere Schlauchende gesteckt und weiterhin mit der Hand zugehalten (sowie mit der Hand am Schlauchende befestigt). Er ist das Hochdruckgebiet, während der leere Ballon das Tiefdruckgebiet darstellt. Der Ausgleich wird durch eine treibende Kraft erreicht, die in Richtung des geringeren Luftdrucks gerichtet ist. Wenn der Ballon fest auf dem Schlauch sitzt, wird er langsam geöffnet. Die Luft strömt dann so lange in den leeren Ballon, bis der Druck in beiden Ballons ausgeglichen ist. (Modell siehe Bionik-Koffer)

Am Flügel entsteht also eine Kraft, die von der Flügelunterseite in Richtung der Flügeloberseite gerichtet ist. Sie hängt nach oben geschilderten Sachverhalten von der Strömungsgeschwindigkeit beider Luftströmungen (ober- und unterhalb des Flügels) ab. Ab einer gewissen Strömungsgeschwindigkeit bzw. einer gewissen Differenz zwischen beiden ist die resultierende dynamische Auftriebskraft groß genug, so dass sie die Gewichtskraft des Vogels/Flugzeugs kompensieren und schließlich überwinden kann. Der Vogel/das Flugzeug bewegt sich dann nach oben.

Wenn man sich genauer anschaut, wie der Unterschied in der Strömungsgeschwindigkeit der Luft auf der Flügelober- und -unterseite zustande kommt, so findet man folgendes: auf der Oberseite entsteht am hinteren Flügelrand beim Anfahren des Flugzeugs ein so genannter Anfahrtswirbel. Auf der Unterseite des Flügels kommt es am hinteren Flügelrand deshalb zur Bildung eines entsprechenden Gegenwirbels. Wie die untere Skizze zeigt, entsteht daraus ein Gesamtwirbel, der sich um die Tragfläche herum bewegt.



(Bild siehe auch Bionik-Koffer)

Man erkennt hier, dass dieser Wirbelstrom auf der Flügelunterseite der Strömungsrichtung entgegen gerichtet ist. Dieser Gegenstrom behindert als „Luftwiderstand“ die „normale“ Luftströmung auf der Flügelunterseite und erzeugt so den für die dynamische Auftriebskraft notwendigen Luftströmungs- und damit einen Druckunterschied.

Die Betrachtung der Wirbelströmungen können Sie gerne reduzieren oder ganz weglassen. Entscheiden Sie dies auf der Grundlage der physikalischen Kenntnisse der Schülerinnen und Schüler und der Erfahrung der vorangegangenen Aufgabenstellungen.

Aufgabe 5:

Kreuze bei den folgenden Fragen die jeweils richtige Antwort an!

1.) **Welcher Satz ist korrekt?**

Bringt man einen Vogelflügel (oder die Tragfläche eines Flugzeugs) in einen waagerechten Luftstrom, dann ...

- a) ... strömt die Luft auf der Flügelunterseite schneller als auf der Flügeloberseite.
- b) ... strömt die Luft an der Flügelhinterseite schneller als an der Flügelvorderseite.
- c) ... strömt die Luft auf der Flügelunterseite langsamer als auf der Flügeloberseite.

2.) **Die unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten der Luft auf beiden Flügelseiten führt zu ...**

- a) ... einem Luftdruckunterschied zwischen beiden Flügelseiten.
- b) ... einer Reibungskraft zwischen den Luftströmen auf beiden Flügelseiten.
- c) ... Wirbelströmen an der Flugzeugspitze.

3.) **Dadurch entsteht am Flügel eine ...**

- a) ... hydrostatische ...
- b) ... statische ...
- c) ... dynamische ...

... **Auftriebskraft, die ...**

- a) ... von hinten nach vorne wirkt.
- b) ... von unten nach oben wirkt.
- c) ... von oben nach unten wirkt.

4.) **Diese Auftriebskraft ist abhängig von ...**

- a) ... der Strömungsgeschwindigkeit der Luft und der Flügelwölbung.
- b) ... der Masse des Flugzeugs.
- c) ... der Gewichtskraft des Flugzeugs und der auftretenden Luftreibung.

Bei den Multiple-Choice-Fragen sind folgende Antworten richtig:

1.) c; 2.) a; 3.) c und dann b; 4.) a

Mit Hilfe des Bernoulli-Effekts kann man also erklären, durch welche Prozesse es zur Entstehung einer Auftriebskraft in einem Gas (der Luft) kommt.

Bernoulli entdeckte diesen Effekt allerdings nicht bei Gasen, sondern bei Experimenten mit Flüssigkeiten. Er erkannte, dass Flüssigkeiten, die schneller durch ein Gefäß (z. B. ein Rohr) fließen, einen geringeren Druck auf die Gefäßwand ausüben als langsamer strömende Flüssigkeiten. Erst später konnte man zeigen, dass sich dieser Effekt auch auf Gase übertragen lässt.

Aufgabe 6:

Nimm in jede Hand einen Metalllöffel (Teelöffel) und führe beide wie in der Abbildung rechts gezeigt von entgegen gesetzten Seiten her an einen Wasserstrahl (aus dem Wasserhahn) heran!

Was kannst Du beobachten?

Erkläre Deine Beobachtungen!



Die Löffel bewegen sich im Wasserstrahl aufeinander zu und klappen ständig aneinander. Das Klappern kann man auch hören (deswegen sollten Metalllöffel verwendet werden).

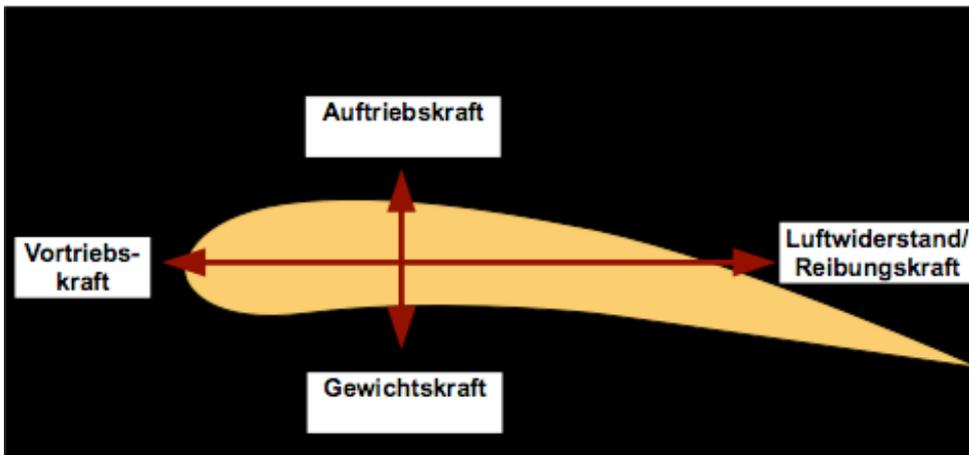
Sobald die Löffel den Wasserstrahl berühren, werden sie in Richtung des Wasserstrahls bewegt. Grund ist wieder der Bernoulli-Effekt (vgl. Aufgabe 4, dort mit Luft als Medium, anstelle von Wasser). Fließt der Wasserstrahl schnell genug, sinkt der Druck im Wasserstrahl unter den um die Löffel herum herrschenden Luftdruck (etwa 1bar, genau 1,013bar normaler Atmosphärendruck). Dieser Druckunterschied führt zu einer resultierenden Kraft, die in Richtung des Wasserstrahls gerichtet ist. Sie führt dazu, dass sich beide Löffel nach innen aufeinander zu bewegen, bis sie sich schließlich berühren. Am Punkt der Berührung fließt kein Wasser mehr zwischen den beiden Löffeln hindurch. Der Bernoulli-Effekt fällt also weg, weshalb auch die resultierende, nach innen gerichtete Kraft entfällt. Die Löffel bewegen sich, bedingt durch ihre eigene Gewichtskraft, wieder nach außen.

Rufe dir noch einmal die Beobachtungen aus **Aufgabe 3** in Erinnerung. In Bezug auf Vögel und Flugzeuge bedeutet der Bernoulli-Effekt also, dass die auf der Flügeloberseite schneller strömende Luft eine Kraft erzeugt, die nach oben und damit der Schwerkraft des Vogels bzw. Flugzeugs entgegen gerichtet ist. Diese Kraft bezeichnet man als **dynamische Auftriebskraft**, weil sie von der Strömungsgeschwindigkeit der Luft abhängt. Ist diese Auftriebskraft ab einer gewissen Geschwindigkeit größer als die Gewichtskraft des Vogels bzw. Flugzeugs, so hebt er bzw. es ab und bewegt sich in der Luft nach oben.

(Vgl. dazu Station „Von schwimmenden Fischen“!)

Aufgabe 7:

Beschrifte die vier Kraftpfeile in folgender Abbildung mit den entsprechend am Flügel wirkenden Kräften!



Aufgabe 8: Wie von Zauberhand

Nimm erneut den Fön zur Hand! Halte die Öffnung senkrecht nach oben und schalte ihn auf höchster Stufe ein! Führe mit der anderen Hand einen Tischtennisball in den Luftstrom und lasse ihn los!

Beschreibe und erkläre Deine Beobachtungen mit Hilfe des Bernoulli-Effekts!

Der Tischtennisball scheint auf dem Luftstrom zu schweben. Er tänzelt zwar auch nach außen, wird aber jedes Mal wie von Zauberhand wieder zurück in den Luftstrom gezogen.

Auch dieses Phänomen ist mit Hilfe des Bernoulli-Effekts erklärbar: der Ball wird zwar durch den starken Luftstrom nach außen getrieben. Sobald er aber einen Bereich außerhalb der schnelleren Luftströmung erreicht hat, wirkt durch den Druckunterschied zwischen der Außenluft und der im Fönstrom schnellerer strömenden Luft eine zum Zentrum des Luftstroms hin gerichtete Kraft (horizontal), die vertikal gesehen der dynamischen Auftriebskraft an Flügel eines Vogels/Flugzeugs entspricht. Diese Kraft treibt ihn immer wieder in den starken Luftstrom zurück. Das sieht magisch aus, ist aber ganz rational erklärbar.

Vögel besitzen eine einzigartige Einrichtung, die ihnen optimales Fliegen ermöglicht und sie gleichzeitig von allen anderen Tierklassen abgrenzt: **die Federn**.

Welche besonderen Eigenschaften der Federn bzw. des Federkleids könnten zum optimalen Fliegen beitragen? Betrachte dazu auch die ausgestellten Vogel- und Flügelpräparate sowie die im Bionik-Koffer enthaltenen Federn!

Federn sind sehr leicht und durch ihre Biegsamkeit extrem belastbar. Sie erzielen durch viele dünne Härchen dennoch eine starke Oberflächenvergrößerung. Im Gegensatz zu den Tragflächen eines Flugzeugs sind die Flügel eines Vogels sehr beweglich, weil sie nicht aus einem starren Material bestehen, sondern aus vielen kleinen „Bauelementen“, den Federn. Diese können sich durch ihre feinen Haarstrukturen so ineinander verflechten, dass die ein dichtes Kleid bilden, welches dicht genug ist, um den Vogel in der Luft zu tragen. Auch hier kommt das Prinzip der maximalen Leistungsfähigkeit bei minimalem Materialaufwand zum Ausdruck. Bisweilen können auch einzelne Teile des Federkleids am Flügel durch separate Muskeln unabhängig von anderen

Flügelteilen bewegt und die Flügelform den jeweils herrschenden Bedingungen in der Luft optimal angepasst werden.

Aufgabe 9:

Lies dir den beiliegenden Info-Text durch und beantworte dann die folgenden Fragen!

Durch welche technischen Besonderheiten versuchen Flugzeugbauer, die extrem gute Beweglichkeit von Vogelflügeln am Flugzeug technisch umzusetzen?

Durch Winglets (engl. „Flügelchen“) und durch Landeklappen.

Wie beeinflussen diese Einrichtungen das Flugverhalten von Flugzeugen und wodurch wird das erreicht?

vgl. Info-Text!

Aufgabe 10:

Falte aus je einem DIN A4 Blatt nach folgender Anleitung **drei** Papierflieger

(Eine genaue Faltanleitung kann Dir auch Dein Lehrer geben.)!



Faltschema eines Papierfliegers. Die Faltkanten sind durch schwarze Linien markiert.

Ein Flieger bleibt als Vergleichsmodell unverändert. Der zweite Flieger wird mit *Winglets* versehen, indem die beiden äußeren Flügelkanten nach oben geknickt werden, wie es in der unteren Abbildung gezeigt ist. (Beide Winglets sollten gleich groß sein!) Das dritte Flugzeug erhält *Landeklappen*, indem die hinteren Flügelkanten wie in der unteren Abbildung gezeigt auf jeder Seite zweimal eingeschnitten werden und der Bereich zwischen den beiden Schnitten jeweils nach unten gefaltet wird.



Fertig gefalteter Papierflieger (Vergleichsmodell).



Papierflieger mit *Winglets* an den „Tragflächen“.



Papierflieger mit *Landeklappen* an den Hinterseiten der „Tragflächen“.

Lasse nun alle drei Flieger nacheinander fliegen! Achte auf folgendes:

- Wirf alle Flieger jeweils vom selben Punkt aus ab!
- Wirf alle Flieger jeweils etwa mit der gleichen Kraft ab!

Wiederhole das Experiment mehrmals und beschreibe genau, wie die einzelnen Flugzeuge fliegen! Miss auch, wie weit die einzelnen Modelle fliegen!

Erkläre Deine Beobachtungen mit Hilfe der Erkenntnisse aus **Aufgabe 8!**

vgl. Info-Text!

Info-Text: Vögel – Künstler im Federkleid

Vögel können ihren Flug sehr fein steuern, indem sie die Form ihrer Flügelflächen den jeweiligen Windbedingungen genau anpassen. Ermöglicht wird ihnen das durch das sehr bewegliche Federkleid. Einzelne Federn können mit Hilfe von Muskeln individuell und z. T. unabhängig voneinander bewegt werden. Das hat natürlich Auswirkungen auf den dynamischen Auftrieb des Vogels. Ingenieure versuchen, diese Feinheiten der Flügelstruktur auch an den Tragflächen von Flugzeugen zu realisieren umzusetzen.

Vögel können die Wölbung der Flügelflächen durch die Stellung der Federn an der Flügelhinterkante verändern. Werden die Federn hier nach unten „geklappt“, so verstärkt sich die Flügelwölbung. Dadurch erhöht sich der Luftwiderstand an der Flügelunterseite

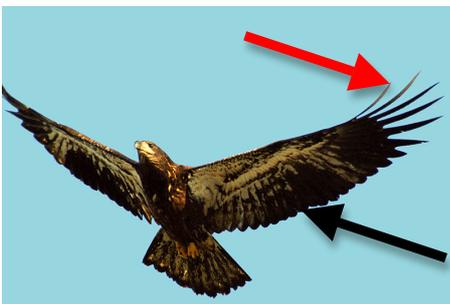


Landeklappen an der Tragfläche eines Flugzeugs (nach unten)

und die Luftströmung wird hier weiter abgebremst. Der sich so verstärkende Geschwindigkeitsunterschied zwischen den Luftströmungen oberhalb und unterhalb des Flügels hat eine Erhöhung der dynamischen Auftriebskraft zur Folge. Gleichzeitig sinkt die Fluggeschwindigkeit, weil sich die Federn gleichzeitig der Strömung entgegen stellen und den Gesamtluftwiderstand so erhöhen. Flugzeuge nutzen solche so genannten Landeklappen zum Landeanflug auf Flughäfen. Der größere Luftwiderstand bremst das Flugzeug ab, während es sich durch den erhöhten Auftrieb mit der „Nase“ aufrichtet. So wird verhindert, dass die Flugzeugnase zuerst aufsetzt und das Flugzeug zerschellt. Im normalen Schnellflug bleiben die Landeklappen allerdings in der so genannten Nullstellung oder werden sogar leicht nach oben geklappt.

verhindert, dass die Flugzeugnase zuerst aufsetzt und das Flugzeug zerschellt. Im normalen Schnellflug bleiben die Landeklappen allerdings in der so genannten Nullstellung oder werden sogar leicht nach oben geklappt.

Winglets (engl. „Flügelchen“) sind eine weitere wichtige Entwicklung der Vögel. Die Federn an den Flügelspitzen (ganz außen) können nämlich nach oben geklappt werden. Das verringert den effektiven Luftwiderstand des Vogels, indem es die Wirbelströme um den Flügel herum kompliziert verändert. Das soll hier nicht weiter erläutert werden. Durch den verringerten Luftwiderstand kann der Vogel allerdings sehr energiesparend gleiten. Auch für Flugzeuge ist diese technische Entwicklung wichtig, weil die dadurch im Schnellflug Treibstoff sparen können.



"Landeklappen" (schwarzer Pfeil) und "Winglets" (roter Pfeil) eines Adlers.



Winglets eines modernen Flugzeugs (rote Pfeile).

Genutzte Quellen:

Webseiten:

- [http://de.wikipedia.org/wiki/Fliegen_\(Fortbewegung\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Fliegen_(Fortbewegung))
- <http://experimentis.de/PhysikExperimente/Versuche/306Bernoulli.html>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Auftrieb>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Auftriebshilfe>
- <http://www.deutsches-museum.de/ausstellungen/verkehr/luftfahrt/luftfahrt-bis-1918/>

zwei Bilder des Einleitungstextes (Seite 1):

- http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lilienthal_in_flight.jpg
- <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wrightflyer.jpg>

(Stand: 29.10.2010, 18.08 Uhr)

ein Bild Aufgabe 6 (Seite 7):

- <http://experimentis.de/PhysikExperimente/Versuche/306Bernoulli.html>

(Stand: 29.10.2010, 18.06 Uhr)

ein Bild Aufgabe 7 (Seite 8):

adaptiert nach:

- <http://de.wikipedia.org/wiki/Auftrieb>

(Stand: 29.10.2010, 18.05 Uhr)

vier Bilder Aufgabe 10 (Seite 9):

- A. Schönborn, privat.

Drei Bilder auf dem Info-Blatt „Vögel – Künstler im Federkleid“ (Seite 11):

- <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fig028.jpg>
- http://commons.wikimedia.org/wiki/File:BAe_146_Landeklappen_20090404_004.JPG
- http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fledging_Bald_Eagle.jpg

(Stand: 29.10.2010, 17.57 Uhr)

Fachbücher:

- Hill, B. (12006): Bionik. Lernen von der Natur. Berlin, Frankfurt a. M.: Paetec.