

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!

Deutscher Name des Vogels (wenn möglich):

Draufsicht:

Querschnitt:

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!

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!)

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!

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

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!

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!

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

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!

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.

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?



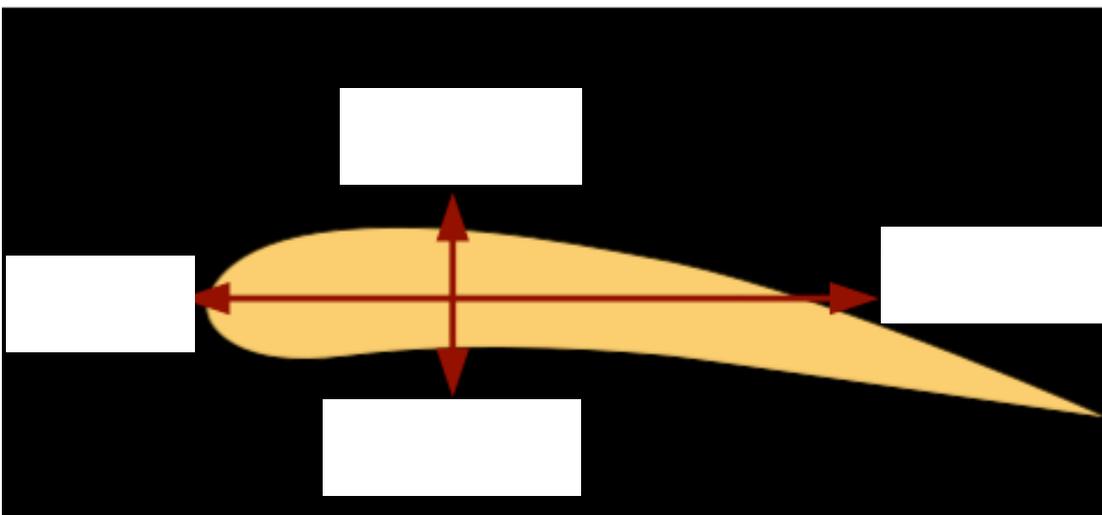
Erkläre Deine Beobachtungen!

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!

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!

Aufgabe 9:

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

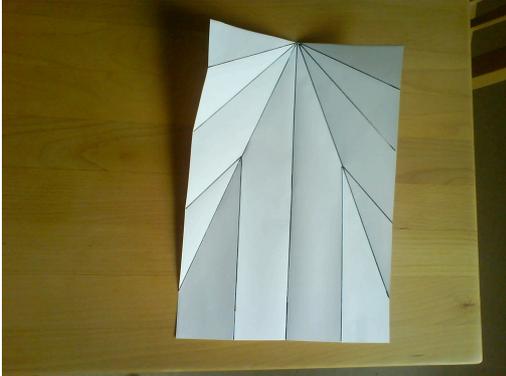
Durch welche technischen Besonderheiten versuchen Flugzeugbauer, die extrem gute Beweglichkeit von Vogelflügeln am Flugzeug technisch umzusetzen?

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

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!**

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.

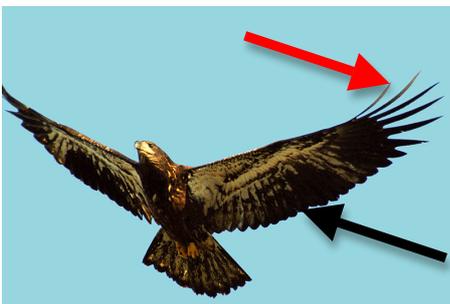
Vögel können die Wölbung der Flügelflächen durch die Stellung der Federn an der Flügelhinterkante verändern. Werden die Federn hier nach unten „geklappt“, so verstärkt sich die Flügelwölbung. Dadurch erhöht sich der Luftwiderstand an der Flügelunterseite und



Landeklappen an der Tragfläche eines Flugzeugs (nach unten geklappt).

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.

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 11):

- A. Schönborn, privat.

drei Bilder auf dem Info-Blatt „Vögel – Künstler im Federkleid“ (Seite 13):

- <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.