

Fragen zum Nachdenken

Welche Bedeutung haben diese Versuche für unsere Umwelt und Industrie?
Für welche Bereiche benötigen wir diese Untersuchungen in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr?
Wie erzeugen Flugzeuge Vortrieb?
Wie erzeugen Vögel im Vergleich dazu Vortrieb?
Wie entwickelt sich der Auftrieb bei größer werdendem Anstellwinkel?
Was passiert mit der den Tragflügel überströmenden Luft?
Wozu braucht ein Flugzeug klappen?

Glossar

Aerodynamik

Lehre von den mechanischen Wechselwirkungen zwischen einem in Luft bewegten Körper und dem umgebenden Strömungsfeld.

Anstellwinkel

ist der Winkel zwischen der Anströmung und der Verbindungslinie zwischen dem vordersten und hintersten Punkt eines Tragflügels.

Flügeltiefe

Abstand von der Vorderkante des Flügels bis zur Hinterkante.

Oszillograph

Schwingungsschreiber; Messgerät, das Schwingungen aufzeichnet.

Reynoldszahl

beschreibt das Verhältnis von Trägheits- zu Reibungskräften. Sie ist definiert als $Re = U L / \nu$; U = Strömungsgeschwindigkeit; L = charakteristische Länge; ν = kinematische Zähigkeit des Strömungsmediums. Die kritische Reynoldszahl

bezeichnet den Übergang der laminaren in die turbulente Strömung. Strömungen des gleichen Typs, mit derselben Reynoldszahl sind ähnlich.

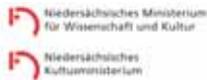
Tragfläche

Sammelbegriff für tragende Flächen an Fluggeräten, bei denen die umgebende Strömung eine nennenswerte Kraft quer zur Fläche ausübt.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Niedersächsisches
Kulturministerium

ROBERT BOSCH STIFTUNG



GvF



Herausgeber:



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Standort Göttingen
Bunsenstraße 10
D-37073 Göttingen

Text:
DLR_School_Lab Göttingen

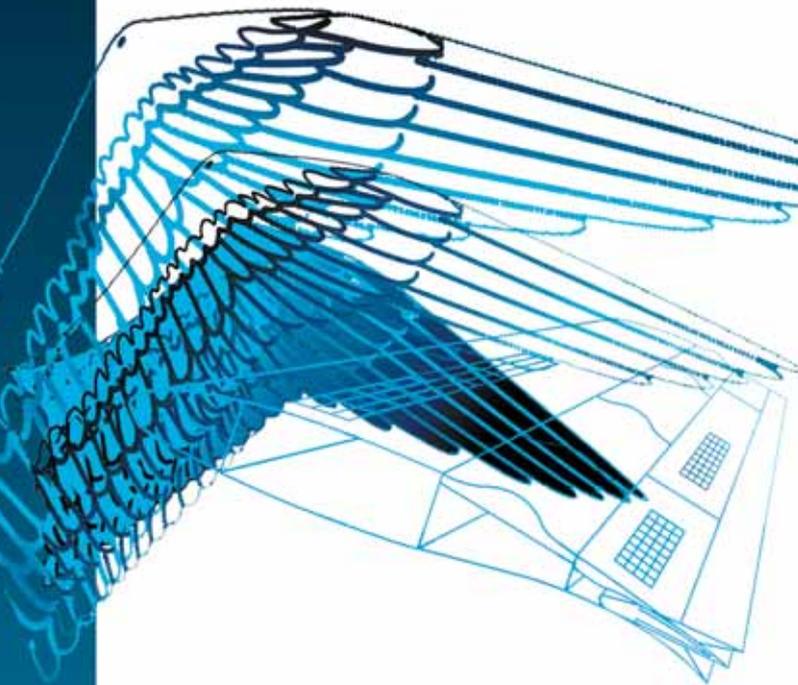
Gestaltung:
ziller design, Mülheim an der Ruhr

Bildnachweis:
DLR

Druck:
Richard Thierbach GmbH,
Mülheim an der Ruhr

DLR_School_Lab

Göttingen



www.schoollab.dlr.de

Kräfte

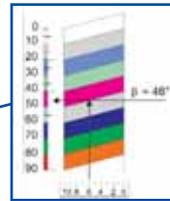
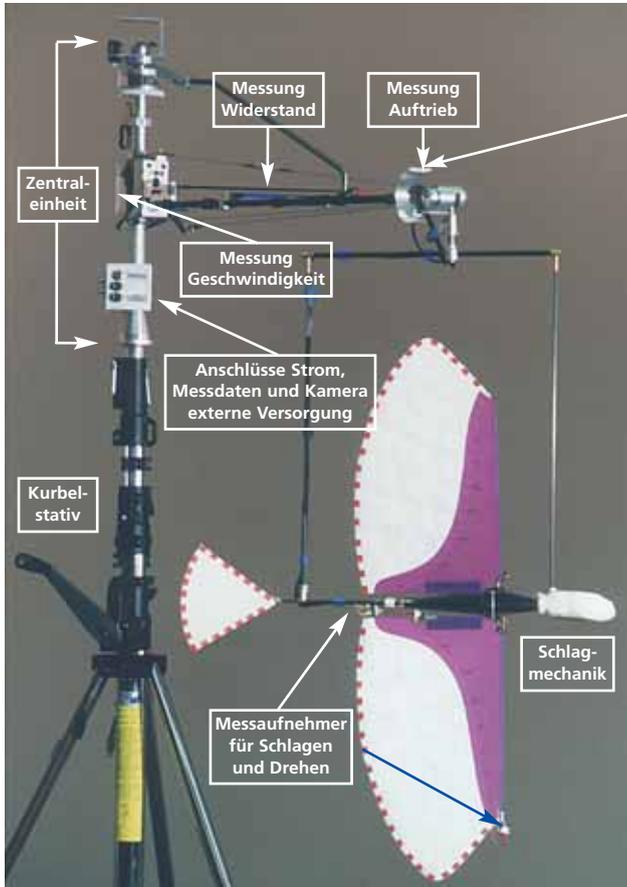
Das Fliegen – ein Menschheitstraum



„**A**lles Fliegen beruht auf Erzeugung von Luftwiderstand, alle Flugarbeit besteht in Überwindung von Luftwiderstand.“ Diese Erkenntnis war vor mehr als 100 Jahren bahnbrechend. Viele Jahre seines Lebens hatte der Ingenieur und Flugpionier Otto Lilienthal (1848-1896) darum gerungen, das Geheimnis des Fliegens zu ergründen. Die Ergebnisse seiner Forschung fasste er 1889 in dem Buch „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst“ zusammen, dem das Zitat entstammt. Das Werk gilt heute als Klassiker der Aerodynamik.

Fliegen zu können, ist einer der ältesten Träume der Menschheit. Im Laufe des vergangenen Jahrhunderts ist er Wirklichkeit geworden. Heute ist das Fliegen für uns selbstverständlich: Mit dem Flugzeug reisen wir in den Urlaub. Drachenfliegen, Segelfliegen und Paragliding gehören zu unseren Freizeitaktivitäten.

Trotz dieser Leistungen ist es dem Mensch nie gelungen, wie ein Vogel aus eigener Kraft zu fliegen. Und auch andere Rätsel des Fliegens sind noch nicht endgültig gelöst. So warten etwa die komplizierten Flügelbewegungen der wahren Künstler unter den Fliegern, der Libellen, noch immer darauf, entschlüsselt zu werden.



Das Bild zeigt den Rundlauf ANIPROP RL3 vollständig aufgebaut mit kurzem Ausleger. Mit Hilfe der Winkelskala (oben rechts) lässt sich die Neigung des äußeren Auslegers messen, an dem das jeweilige Modell befestigt ist. In Ruheposition hängt das Modell in einem Winkel von 90 Grad senkrecht herab.

deren Flugobjekt einhängen lässt. Der Ausleger wird durch einen Elektromotor in Drehbewegung versetzt, wobei das Modell Geschwindigkeiten bis zu 10 m/s erreichen kann. Die in der Strömungslehre verwendete Kennzahl, die sogenannte Reynoldszahl, erreicht Werte von 100.000, wie man sie auch bei Vögeln in der Natur findet. Verfügt das Flugmodell über einen eigenen Antrieb, setzt dieser mit seiner Schubkraft den Ausleger selbst in Bewegung.

Das Gerät ist mit Messeinrichtungen ausgestattet, welche die Flugdaten der Modelle mechanisch oder auch elektronisch erfassen. Aus den gemessenen Daten lassen sich alle wesentlichen Größen wie Auftrieb, Widerstand und Geschwindigkeit bestimmen. Die Flügelbewegung des künstlichen Vogels gibt Aufschluss darüber, wie die fliegenden Lebewesen ihre Schubkraft erzeugen. Außerdem lässt sich die Leistung ermitteln, die sie dabei aufbringen.

Mit dem Rundlauf ANIPROP RL3 kann man das Fliegen unter verschiedensten Fragestellungen untersuchen. Für einen Unterrichtsbesuch bietet sich an, das zentrale Gleichgewicht der Kräfte beim Fliegen zu erkunden: Der Auftrieb gleicht das Gewicht des Fliegers aus, der Schub überwindet den Widerstand, den ihm die Luft entgegensetzt.

Flugmodelle auf dem Prüfstand

Dem DLR_School_Lab Göttingen steht ein Versuchsgerät zur Verfügung, das es ermöglicht, die Grundlagen des Fliegens zu verstehen. Mit dem Rundlauf ANIPROP RL3 lassen sich Flugphänomene anschaulich vorführen und untersuchen.

Der Rundlauf ähnelt einem vereinfachten Karussell. An der Spitze eines Stativs ist ein zwei Meter langer Ausleger drehbar montiert, an dessen Ende sich das Modell eines Vogels, einer Tragfläche oder eines an-

Warum fliegt ein Flugzeug?

Das Zusammenspiel der Kräfte beim Fliegen lässt sich am Flugzeug veranschaulichen (Bild 1): Der Auftrieb gleicht Gewicht aus; der Vortrieb (Schub), den die Triebwerke erzeugen, überwindet Widerstand. Ein Flugzeug beginnt zu steigen, wenn der Auftrieb größer ist als die Gewichtskraft.

Die Physik unterscheidet zwischen statischem und dynamischem Auftrieb. Im Gegensatz zum statischen Auftrieb, der bei unbewegten Körpern, wie etwa einem Heißluftballon, wirksam ist, muss beim dyna-

mischen Auftrieb entweder das fliegende Objekt oder die umströmende Luft in Bewegung versetzt worden sein.

Auftrieb entsteht durch eine bestimmte Druckverteilung an den Tragflächen des Flugzeugs (Bild 2): Unterdruck an der Oberseite der Tragflächen „saugt“ das Flugzeug nach oben, Überdruck an deren Unterseite „schiebt“ von unten. Der Druckunterschied stellt sich ein, wenn eine ebene Platte im Luftstrom mit der Nase nach oben gedreht wird. Gleiche Druckunterschiede bewirkt die Wölbung einer Tragfläche. In beiden Fällen teilt sich die Strömung im so genannten Staupunkt.



Die Physik des Fliegens erkunden

Versuch 1: Auftrieb und Abtrieb

Am Ausleger ist das Modell einer Tragfläche befestigt. Beobachtet die Wirkung der angestellten Tragfläche. Verstellt dazu den Anstellwinkel der Tragfläche nach oben oder unten. Wird zum Vergleich eine Kugel eingehängt, so lässt sich zeigen, dass neben der Fliehkraft und der Schwerkraft noch eine dritte Kraft auf die Tragfläche einwirkt: der von Lilienthal erstmals gemessene Auftrieb, je nach Neigung der Tragfläche aber auch Abtrieb. Ermittelt Auftriebs- und Widerstandskraft für verschiedene Anstellwinkel. Tragt beide in Abhängigkeit zum Anstellwinkel auf.

Welchen Einfluß haben Klappen auf den Auftrieb?

Versuch 2: Luftwiderstand und Flugleistung beim Vogelflug

Vögel erzeugen den zum Fliegen notwendigen Schub durch Schlagen und gleichzeitiges Drehen der Flügel. Dabei müssen sie den Luftwiderstand überwinden. Bei dem künstlichen Vogel erzeugt eine Schlagmechanik die Bewegung der Schwingen und setzt so das Modell in Bewegung.

Ermittelt die Leistung (Arbeit pro Zeiteinheit), die der Vogel gegen die Strömung erbringt, nach folgender Formel:

Leistung $P_w = \text{Kraft } F_w \cdot \text{Geschwindigkeit } U_0$
Die Einheit der Leistung ist das Watt ($1W = 1Nm/s$).

Die Bahngeschwindigkeit U_0 errechnet ihr aus der Umlaufzeit T des Modells und dem zugehörigen Bahndurchmesser D : $U_0 = \pi D/T$ wobei $\pi = 3,142$

F_w wird aus der Schleppkraft F_s am Kraftmesser errechnet. Dabei sind die unterschiedlichen Hebelarme der beiden Kräfte zu bedenken. Die Umlaufzeit T wird aus einer Messung $10T$ bestimmt.

Der Durchmesser D wird auf folgende Weise ermittelt:

Zunächst merkt ihr euch die Auslenkung des Modells am Winkelmesser, der am Ende des inneren Teils des Auslegers angebracht ist. Nach der Zeitmessung wird das Modell angehalten und von Hand auf den gleichen Winkel angehoben. Aus dem Abstand R des Rumpfes zur Drehachse des Rundlaufs folgt die gesuchte Größe $D=2R$.



Ein künstlicher Vogel, der an der Spitze des Auslegers eingehängt wird, demonstriert naturgetreu Dreh- und Schlagbewegungen des Vogelflugs.



Bild 1: Gleichgewicht der Kräfte beim Flugzeug

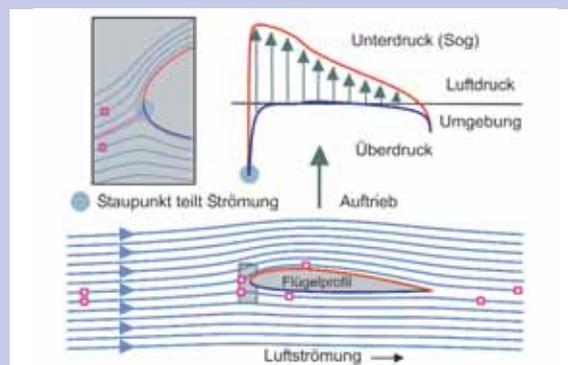


Bild 2: Dynamischer Auftrieb: Druckverteilung