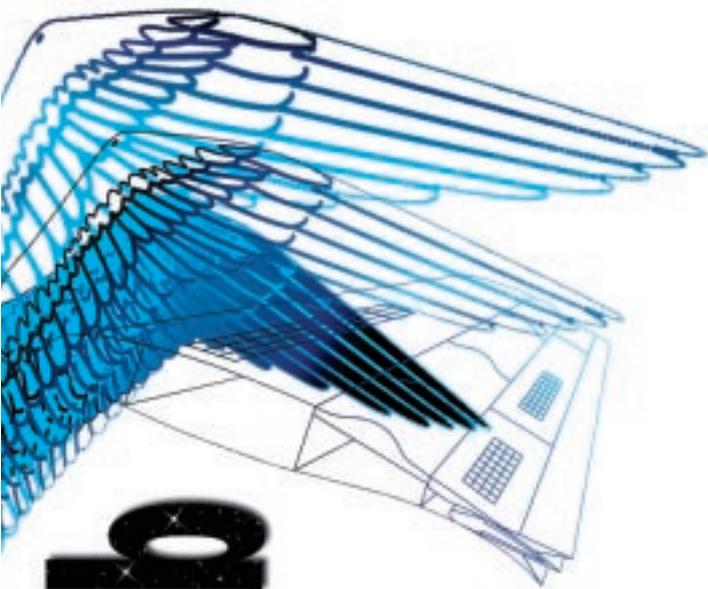


VERSUCH NR. 5

## Experimente zur Strömungslehre



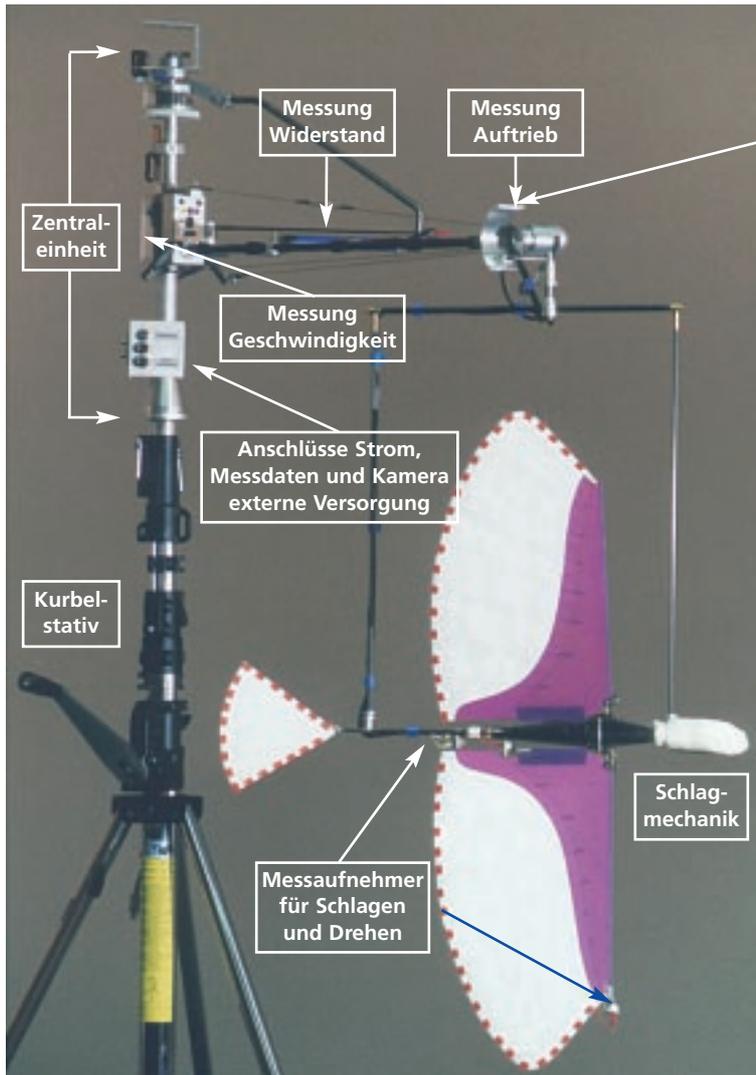
Die Geheimnisse des Fliegens ergründen:

## Das Fliegen – ein Menschheitstraum

Alles Fliegen beruht auf Erzeugung von Luftwiderstand, alle Flugarbeit besteht in Überwindung von Luftwiderstand.“ Diese Erkenntnis, für uns scheinbar selbstverständlich, 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 und Paragliding gehören zu den so genannten Adventure-Sportarten.

Trotz dieser Leistungen hat der Mensch die Natur niemals ganz besiegt: So ist es ihm 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.

## Flugmodelle auf dem Prüfstand

Dem DLR 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 drehbar ein zwei Meter langer Ausleger montiert. An dessen Ende lässt sich das Modell eines Vogels, einer Tragfläche oder eines anderen Flugobjekts einhängen. Der Ausleger wird nun durch einen Elektromotor in Drehbewegung versetzt und dreht das Modell im Kreis, wobei es Geschwindigkeiten bis zu 10 m/s erreichen kann. Die sogenannte Reynolds-Zahl, die Kennzahl bei der Umströmung von Körpern,

erreicht Werte bis 100.000. 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, welche sie dabei aufbringen.

Mit dem Rundlauf ANIPROP RL3 lässt sich 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 Luftströmung entgegensetzt.

## 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 dynamischen Auftrieb entweder das fliegende Objekt oder die umströmende Luft in Bewegung versetzt 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 in so genannten Staupunkt.



Bild 1: Gleichgewicht der Kräfte beim Flugzeug

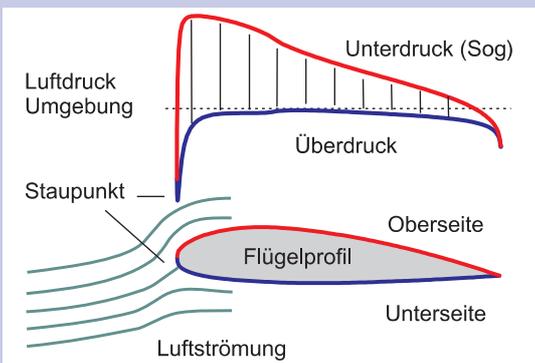


Bild 2: Dynamischer Auftrieb: Druckverteilung



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

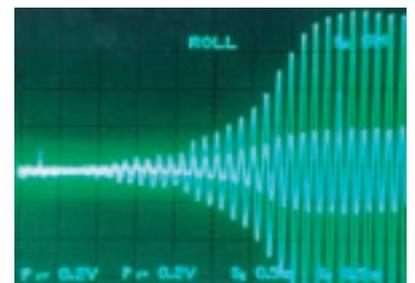
## Das „Flugzeugflattern“

Vögel erzeugen den zum Fliegen notwendigen Schub durch Schlagen und gleichzeitiges Drehen ihrer Flügel. Die gleiche Bewegung kann umgekehrt aus dem Luftstrom aber auch Leistung „abzapfen“, wenn, wie bei einem Flugzeug, Triebwerke bereits für eine hohe Fluggeschwindigkeit sorgen. Übersteigt diese eine kritische Grenze, werden die elastischen Tragflächen zu starken Schwingungen, dem so genannten Flattern, angeregt. Dieses kann das Flugzeug zerstören.



Die Tragfläche des Rundlaufs (oben) ist mit einer Dreh- und einer Schlagfeder ausgestattet, die es ermöglichen, das Flugzeugflattern zu demonstrieren.

Mit einem Oszillographen kann man die Schwingungen der Tragfläche aufzeichnen. Das Oszillogramm auf dem Bild rechts zeigt das Anwachsen der Schwingungen der Tragfläche, nachdem sie oberhalb der kritischen Geschwindigkeit von einer Windböe erfasst wurde.



## Die Physik des Fliegens erkunden

### Versuch 1: Auftrieb und Abtrieb

Am Ausleger ist das Modell einer Tragfläche befestigt. Beobachtet die Wirkung der angelegten Tragfläche. Verstellt dazu die Neigung der Tragfläche zunächst nach oben, anschließend nach 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. ▶

## Versuch 2: Größe des Luftwiderstands und der Flugleistung

Die Überwindung des Luftwiderstands  $F_w$  lässt sich gut an Hand eines künstlichen Vogels erarbeiten, der am Ausleger befestigt wird. Eine Schlagmechanik erzeugt die Bewegung der Schwingen am Modell und versetzt es in Bewegung.

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

Leistung  $P_w = \text{Kraft } F_w \times \text{Geschwindigkeit } U_0$

Die Einheit der Leistung ist das Watt ( $1 \text{ W} = 1 \text{ Nm/s}$ ).

Die Bahngeschwindigkeit  $U_0$  errechnet ihr aus der Umlaufzeit  $T$  des Modells und dem zugehörigen Bahndurchmesser  $D$ :

$U_0 = \pi D/T$  wobei  $\pi \approx 3,142$

$F_w$  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  $D = 2R$ .

## Glossar

### Aerodynamik:

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

### Flügeltiefe:

Länge von der Vorderkante eines Flügels bis zur Hinterkante.

### Oszillograph:

Schwingungsschreiber; Messgerät, das Schwingungen aufzeichnet.

### Reynolds-Zahl:

Sie gibt an, wie „heftig“ der umströmte Körper die umgebende Luft mitreißt. Der Wert lässt sich nach folgender Formel berechnen:  $Re = 6,7 \cdot 10^4 \times U_0 \ell / (\text{m}^2\text{s}^{-1})$ .  
 $\ell$  kennzeichnet eine typische Abmessung des Körpers (Flügeltiefe oder auch Durchmesser).

### Tragfläche:

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



Herausgeber:

**Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.**

Standort Göttingen

D-37073 Göttingen

Text und Gestaltung:  
Großbongardt Kommunikation GmbH

Wissenschaftliche Beratung:  
Dr. Wolfgang Send

Bildnachweis:  
DLR

Druck:  
Richard Thierbach GmbH,  
Mülheim an der Ruhr