



## Rundlauf

Die große Maschine fängt träge an, sich zu bewegen, als schaffte sie es kaum. Doch ihre Motoren brüllen, und immer mehr nimmt sie an Geschwindigkeit zu. Schon nach knapp 15 Sekunden ist sie schnell genug. Sie hebt die Nase, und ihre Räder verlassen den Boden. Die tonnenschwere Maschine schwebt durch die Luft. Wie kommt das Fliegen zustande? Wie werden die dafür notwendigen Kräfte erzeugt? Welches Prinzip liegt dem Flug des Vogels zugrunde? Und welches dem des Flugzeugs? Das sind einige Fragen, die wir uns stellen und die wir im Rahmen dieses Experiments zu klären versuchen.

## Der Versuchsstand im DLR\_School\_Lab

Der Rundlauf ähnelt einem einfachen Karussell. An der Spitze eines kräftigen Stativs ist ein 2 Meter langer drehbarer Ausleger montiert. An dessen Ende lässt sich das Modell eines Vogels, einer Tragfläche oder eines anderen Flugobjektes einhängen. Der Ausleger wird durch einen Elektromotor in Drehbewegung versetzt, und das Modell wird somit im Kreis gedreht. Geschwindigkeiten von bis zu 10 m/s lassen sich erzielen, und damit werden die Strömungsverhältnisse um einen fliegenden Vogel erreicht. Verfügt das Modell über einen eigenen Antrieb (einen eigenen Motor zum Beispiel), so setzt dieser den Ausleger selbst in Bewegung.

Mit diesem Versuchsaufbau können wir unter anderem den verschiedenen Flugprinzipien von Vogel und Flugzeug auf die Spur kommen.

## Fliegen – wahrgewordener Menschheitstraum

Schon vor langer Zeit haben sich die Menschen mit dem Thema Fliegen beschäftigt, wie wir aus Mythen und Sagen lernen können. So erzählt der Mythos von Dädalus und seinem Sohn Ikarus, dass ihnen, da sie Gefangene des Königs von Kreta waren, als einzige Fluchtmöglichkeit der Weg durch die Luft blieb. Mit an ihren Armen befestigten Flügeln seien sie ihrem Peiniger entwichen. Auch Leonardo da Vinci hat noch angenommen, dass Vogelflug für Menschen möglich sei. Heute wissen wir, dass der Schwingenflug für den Menschen nicht zu verwirklichen ist, da seine Muskelkraft für die Überwindung der Schwerkraft viel zu gering ist. Erst die Erfindung des Verbrennungsmotors lieferte die dafür nötige Leistung.



Abb. 1: Den Gebrüdern Wright gelang es 1903, ein motorgetriebenes Flugzeug zu fliegen.

### Fliegen verstehen

Am Rundlauf ANIPROP RL3 im DLR\_School\_Lab Hamburg lässt sich eine Vielzahl von Versuchen zu Grundlagen des Fliegens durchführen. Das Gerät ist mit verschiedenen Messeinrichtungen ausgestattet, welche die Flugdaten des Modells mechanisch oder elektronisch erfassen. Die gemessenen Daten können dann an einem Oszilloskop veranschaulicht werden. Aus diesen Daten lassen sich wesentliche Eigenschaften wie Geschwindigkeit, Auftriebskraft und Luftwiderstand bestimmen. Gerade mit dem Vogelmodell kann man Merkmale des Schwingenfluges beobachten und erklären. Zusätzlich erlaubt das Modell eine Abschätzung der beim Flug erbrachten Leistung eines Vogel.

Bei einem ersten Besuch des Labors ist es einfacher, mit dem Tragflächenmodell statt mit dem „Vogel“ zu arbeiten. Hier kann untersucht werden, wie der Auftrieb entsteht und beim Fliegen das Gewicht ausgleicht.



Abb. 2: Der Rundlauf ANIPROP mit installiertem Vogelmodell

## Versuche

### Auftrieb bei einem Flugzeug

Ohne die Auftriebskräfte wäre das Fliegen unmöglich. Damit sich ein Objekt in die Luft heben kann, muss der Gewichtskraft eine andere Kraft entgegengesetzt werden. Woher kommen Auftriebskräfte? Da der Luftdruck mit zunehmender Höhe abnimmt, wirkt auf der Oberseite eines Körpers, der von Luft umgeben ist, auch ohne eine Umströmung bereits ein etwas niedrigerer Druck als auf der Unterseite. Wenn der Körper sehr leicht ist und ein großes Volumen besitzt, reicht diese Druckdifferenz, die als statischer Auftrieb der Gewichtskraft entgegenwirkt, aus, um den Körper in der Luft zu halten. Dieses Prinzip funktioniert für Ballons und Luftschiffe, allerdings nicht für Flugzeuge, die deutlich zu schwer und zu klein sind, um nur mit Hilfe des statischen Auftriebs fliegen zu können. Deshalb müssen Flugzeugtragflächen von Luft umströmt werden, um dynamischen Auftrieb zu erzeugen. Mit einem Tragflügelmodell kann man am ANIPROP sehr vereinfacht ein Flugzeug simulieren und die Auftriebskraft messen. Durch den Vergleich verschiedener Tragflächen zeigt sich, dass der Auftrieb vom Tragflügelquerschnittsprofil und vom „Anstellwinkel“ der Tragflächen abhängt.

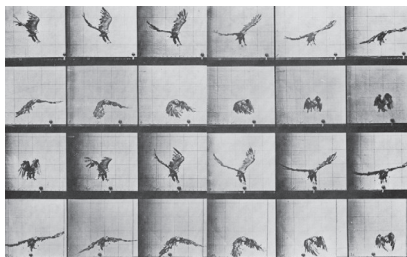


Abb. 3: Flugphasen eines Adlers

### Was ist Schwingenflug?

Wie fliegt ein Vogel? Man könnte denken, diese Frage sei leicht zu beantworten: „Er schlägt einfach mit den Flügeln auf und ab. Oder?“ Dass dies durchaus nicht so einfach ist und Dädalus und Ikarus mit ihren Schwingen schon (Luft-)Schiffbruch erlitten hätten, noch bevor sie der Sonne zu nahe gekommen wären, lässt sich mit dem Vogelmodell des ANIPROP untersuchen. Bei dem hier simulierten Schwingenflug führt tatsächlich erst eine geeignete Kombination von Schlagen und Drehen der Flügel zum gewünschten Vortrieb, der bei Flugzeugen durch die Motoren gewährleistet wird.

Alle Bewegungen des Flügels kann man messen und auf einem Oszilloskop sichtbar machen. Mit dem Vogelmodell kann man außerdem den Luftwiderstand bestimmen, den der Vogel überwinden muss, um überhaupt starten zu können. Man kann zudem die Leistung, die der Vogel zum Fliegen aufbringen muss, relativ leicht ausrechnen. Dadurch soll unter anderem illustriert werden, dass kein Mensch aus eigener Kraft fliegen kann. Anders als beim Vogel ist nämlich das Verhältnis seines Gewichts zu seiner Muskelkraft sehr ungünstig.

### Können Flugzeuge flattern?

Nein, dies ist keine dumme Frage. Tatsächlich können Tragflügel und Leitwerke der Flugzeuge flattern. Jeder umströmte Körper kann unter bestimmten Voraussetzungen anfangen zu flattern. Es liegt auf der Hand, dass ein solches Flattern zu einer enormen Belastung der Strukturbauteile führt oder gar zum Absturz. Damit diese Flugkonstellationen nicht auftreten, muss untersucht werden, wodurch sie gekennzeichnet sind.

Viele physikalische Vorgänge sind in der einen oder anderen Weise umkehrbar. Wie ein Vogel durch Flattern einen Vortrieb erzeugt, können Flügel die in einer Vorwärtsbewegung enthaltene Energie durch Flattern aufnehmen und den Flug damit bremsen. Bei Flugzeugen treten solche Flatterphänomene bei bestimmten hohen Grenzgeschwindigkeiten auf. Wenn dies geschieht, werden die Flügel ganz plötzlich zu großen Flatterbewegungen angeregt, die die Tragflächen in Sekundenbruchteilen zerstören können. Um das zu vermeiden, muss man einerseits wissen, wann und wodurch Flatterphänomene auftreten, und andererseits muss man Flügel so auslegen, dass die kritische Flattergeschwindigkeit jenseits der gewünschten Geschwindigkeitsbereiche liegt.

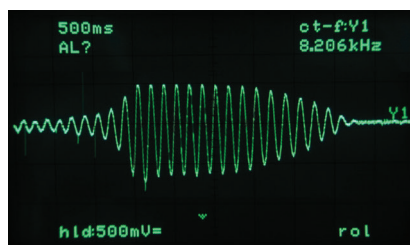


Abb. 4: Oszillogramm

Der ANIPROP stellt Versuchseinrichtungen bereit, um das Flattern von Flugzeugflügeln zu untersuchen. Dazu wird eine – nun elastischer als vorher gelagerte – Tragfläche an den Ausleger montiert. Mit einem speziellen Sensor können Bewegungen in alle Richtungen detektiert und aufgenommen werden. Mit einem Oszillographen können Schwingungen der Tragfläche sofort visualisiert werden. Das Oszillogramm auf dem Bild oben zeigt das Anwachsen der Schwingungen der Tragfläche, nachdem sie oberhalb der kritischen Geschwindigkeit von einer Windböe erfasst wurde. Außerdem kann das Flatterphänomen im Flatterkanal des DLR\_School\_Labs genauer untersucht werden.

## Wichtige Begriffe

### Anstellwinkel

Winkel zwischen der Richtung der Anströmung eines Flügels und der direkten Verbindungsgeraden von Flügelvorder- und Flügelhinterkante.

### Auftrieb

Der Anteil der dynamischen Luftkräfte, der senkrecht zur Anströmung wirkt, ist der dynamische Auftrieb.

### Abtrieb

Wie Auftrieb, allerdings in den Flugzeugkoordinaten nach unten wirkend.

### Bionik

Zusammensetzung aus „Biologie“ und „Technik“. Wissenschaft von der technischen Nutzung in der Biologie aufgedeckter Prinzipien.

### Flattern

Einerseits die Flugbewegung von Vögeln, andererseits durch Anströmung erregte Schwingungen mechanischer Strukturen.

### Luftwiderstand

Anteil der dynamischen Luftkräfte, der in Strömungsrichtung auf das angeströmte Objekt wirkt.

### Oszilloskop

Wörtlich „Schwingungsangucker“. Ein elektronisches Messgerät zur Darstellung des zeitlichen Verlaufes einer Spannung. Zum „Begucken“ anderer Schwingungen müssen diese durch geeignete Sensoren zunächst in analoge Spannungsschwingungen übersetzt werden.

### Tragfläche

Tragende Fläche an einem Fluggerät, bei dem die umgebende Strömung eine nennenswerte Kraft senkrecht zur Strömung (Auftrieb oder Abtrieb) liefert.



## Zum Nachdenken

1. Welche „Methoden des Fliegens“ finden sich neben dem Schwingenflug in der Natur?
2. Kann man das „Flattern von Flügeln im Fluidstrom“ technisch sinnvoll nutzen?



## Das DLR im Überblick

Das DLR ist das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Es betreibt Forschung und Entwicklung in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr, Sicherheit und Digitalisierung. Das DLR Raumfahrtmanagement ist im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zwei DLR Projektträger betreuen Förderprogramme und unterstützen den Wissenstransfer.

Global wandeln sich Klima, Mobilität und Technologie. Das DLR nutzt das Know-how seiner 54 Institute und Einrichtungen, um Lösungen für diese Herausforderungen zu entwickeln. Seine mehr als 9.000 Mitarbeitenden haben eine gemeinsame Mission: Sie erforschen Erde und Weltall und entwickeln Technologien für eine nachhaltige Zukunft. So tragen sie dazu bei, den Wissens- und Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken.

## TU Hamburg

Die TU Hamburg ist eine Universität mit hohem Leistungs- und Qualitätsanspruch, die in der Grundlagenforschung und ihren Kompetenzfeldern Forschungsexzellenz anstrebt. Etwa 100 Professorinnen und Professoren mit knapp 700 wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bilden hier derzeit mehr als 7500 Studierende der Ingenieurwissenschaften und der Technomathematik aus. Luftfahrt und maritime Systeme gehören zu den Forschungsschwerpunkten der TUHH. Das DLR\_School\_Lab TU Hamburg bietet Schülerinnen und Schülern Einblicke in diese Kompetenzfelder.



**Deutsches Zentrum  
DLR für Luft- und Raumfahrt**

**DLR\_School\_Lab**  
TU Hamburg

**DLR\_School\_Lab TU Hamburg**  
Am Schwarzenberg-Campus 4 (C)  
21073 Hamburg

Telefon: 040 42878-4363

[schoollab@tuhh.de](mailto:schoollab@tuhh.de)

<https://www.tuhh.de/nachwuchs/fuer-schulklassen-1/dlr-school-lab>  
<https://www.dlr.de/schoollab>