

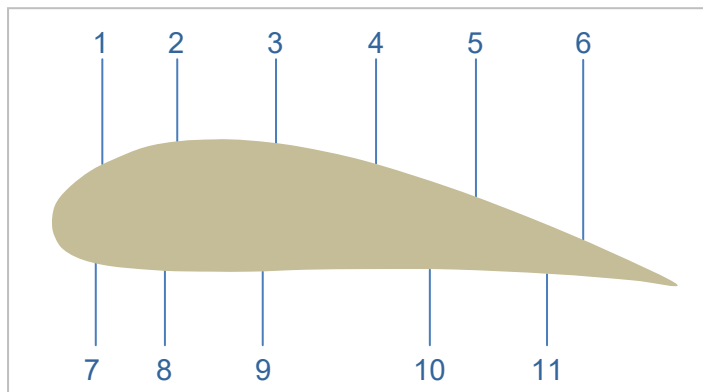
Die Strömungsgeschwindigkeit ist im Allgemeinen auf der Oberseite eines umströmten Flügels größer als auf der Unterseite des Flügels. Nach dem **Gesetz von Bernoulli** nimmt der Druck mit steigender Strömungsgeschwindigkeit ab. Dieser so verursachte **Druckunterschied** bewirkt den **aerodynamischen Auftrieb** am umströmten Flügel. Die Druckverteilung am Tragflächenprofil und der damit verbundene Druckunterschied sollen im Folgenden untersucht werden.

Material

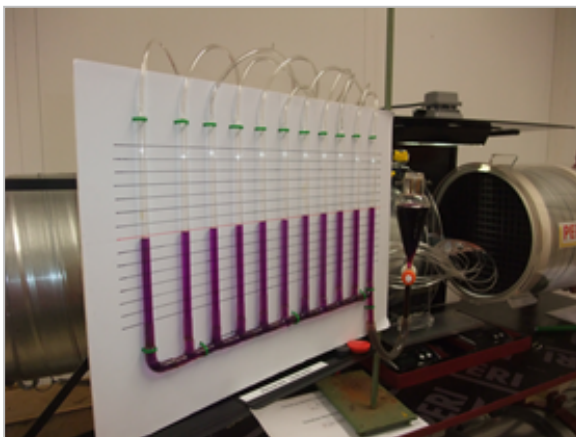
- Flügelmodell (z. B. aus Polystyrol, ca. 20 cm x 20 cm x 5 cm)
- LötKolben
- mehrere, ca. 1 m lange, transparente PVC-Schläuche
- Wasserwanne
- Stativmaterial
- Fön, Gebläse oder Windkanal

Aufbau

In das Flügelmodell aus Polystyrol werden mit einem heißen LötKolben Löcher senkrecht zur Flügeloberfläche „gebrannt“ (Positionen siehe Zeichnung). Diese Löcher werden ebenfalls mit dem LötKolben seitlich am Flügelmodell „ausgeleitet“. Dabei muss darauf geachtet werden, dass die unterschiedlichen Lochkanäle untereinander keine Verbindungen haben.



An den seitlichen Löchern werden die PVC-Schläuche dicht angeschlossen, um so über den Lochkanal den Druck an der jeweiligen Stelle der Flügeloberfläche abgreifen zu können. Die Schlauchenden werden mithilfe des Stativmaterials auf gleicher Höhe in die Wanne mit (gefärbtem) Wasser positioniert. Alternativ werden die Schläuche mit Pipetten verbunden, die an ein gemeinsames Wasserreservoir angeschlossen sind (siehe Bilder).

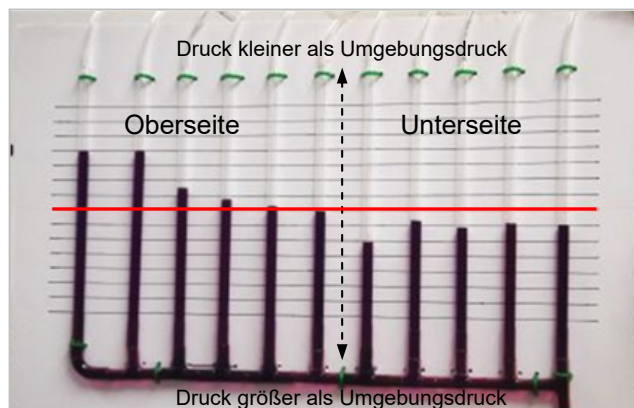


Positioniere den Flügel mit Stativmaterial fest vor dem Gebläse. Achte dabei auf eine möglichst gleichmäßige und laminare Umströmung des Flügels.

Durchführung, Arbeitsaufträge

- (1) Positioniere das Flügelmodell waagrecht (Anstellwinkel $\alpha = 0^\circ$) und stelle das Gebläse auf maximale Stärke.
 - a) Beobachte und beschreibe die Höhe der Wassersäulen in den einzelnen Schläuchen. Entscheide, ob an den entsprechenden Orten auf der Flügeloberfläche der Druck größer oder kleiner als der Umgebungsdruck ist.
 - b) Erkläre damit, ob die Auftriebskraft auf den Flügel nach oben oder nach unten zeigt.
 - c) Variiere die Strömungsgeschwindigkeit und beobachte jeweils die Veränderungen der Drücke.
- (2) Variiere nun den Anstellwinkel (positive und negative Winkel α).
 - a) Beobachte und beschreibe die Veränderungen der Drücke. Vergleiche deine Ergebnisse auch mit dem Video [Fliegen_Aerodynamischer_Auftrieb_Druckmessungen.avi](#) (0:36 min).
 - b) Finde den Anstellwinkel α , bei dem sich der maximale Auftrieb einstellt. Erkläre, warum dieser Winkel aber bei Flugzeugen nicht eingestellt wird.
- (3) Das folgende Bild zeigt eine konkrete Druckverteilung.
 - a) Finde mit deiner Versuchsanordnung einen Anstellwinkel α , so dass die zugehörige Druckverteilung am ehesten dem Bild entspricht.
 - b) Zeichne eine Druckverteilung ein, die einer geringeren Strömungsgeschwindigkeit (1) bzw. einem kleineren Anstellwinkel (2) entspricht. Überprüfe deine Vermutungen in deinem Experiment.

(Hinweis: siehe auch Folie 13 in [Fliegen_Aerodynamischer_Auftrieb.ppt](#))



Hinweise, Literatur und Links

- Der Druckunterschied zwischen der Flügeloberfläche und dem Umgebungsdruck kann auch quantitativ mit einem Differenzdrucksensor (z. B. SDP1000) bestimmt werden. Auch der Differenzdruck zwischen der Unter- und der Oberseite des Flügels ist eine interessante Größe, da sich hieraus direkt der Auftrieb ableiten lässt.
- Simulierte Strömungsbilder (auch unter Darstellung von Druck, Geschwindigkeit) können z. B. in der Smartphone-App [WindTunnel Free](#) (Android, iOS) betrachtet werden (siehe auch [Smartphone-Hinweise](#)). Der Anstellwinkel der Flügelform kann verändert werden.
- Mithilfe der Simulationsprogramme des Glenn Research Center der NASA [FoilW1](#) und [FoilSim](#) (siehe [Handreichung "Technik erleben"](#), S. 35) können im virtuellen Strömungskanal Strömungsbild, Geschwindigkeit und Druck bei symmetrischer Flügelform, aber auch bei unterschiedlichen Flügelformen unter verschiedensten Bedingungen untersucht werden.
- Theoretischer Hintergrund zum aerodynamischen Auftrieb, dem Gesetz von Bernoulli sowie der Auftriebsgleichung von Kutta-Joukowski: siehe Literaturangaben in [Fliegen_Aerodynamischer_Auftrieb_Grundlagen.pdf](#).
- Nikolaus-Kopernikus-Gymnasium Weißenhorn: Bau eines Windkanals, siehe Vision-Ing21-Projekt-Dokumentation [Fliegen_Projekt_Bau_eines_Windkanals.pdf](#).
- Informationen von Dr. Wolfgang Send zur Physik des Fliegens, u. a. auch zum Bau eines Windkanals unter www.aniprop.de/schulunterricht