

Der **aerodynamische Auftrieb** ist ein Effekt, der sich durch die spezielle Umströmung eines Körpers (z. B. eines Flügels) ergibt. Die Strömungsgeschwindigkeit ist im Allgemeinen auf der Oberseite des Flügels größer als auf der Unterseite des Flügels. Nach dem **Gesetz von Bernoulli** herrscht dadurch eine Druckdifferenz zwischen diesen Flügelseiten. Das zugehörige Strömungsbild stellt sich durch das Ablösen des „**Anfahrwirbels**“ ein und lässt sich mithilfe der **Zirkulation** beschreiben.

## Material

### Aufbau 1

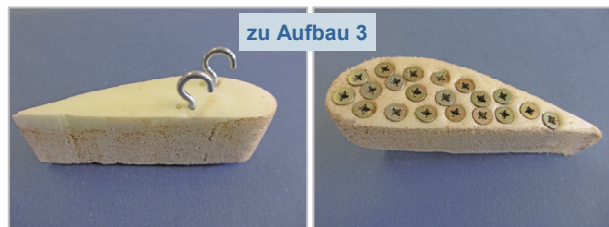
- ▶ Flügelmodell (Polystyrol) auf Stativ
- ▶ Briefwaage
- ▶ Fön oder Windkanal

### Aufbau 2

- ▶ Chromatographiepapier (10 cm x 15 cm)
- ▶ wasserlöslicher Folienstift
- ▶ quaderförmiges Glasgefäß

### Aufbau 3

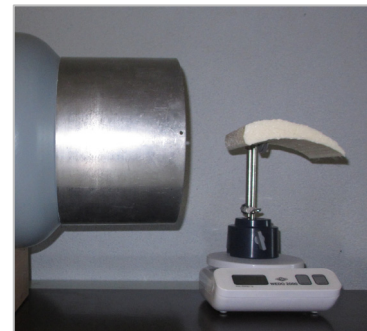
- ▶ Flügelmodell (Polystyrol) ca. 2 cm breit mit zwei kleinen Ösen (bzw. fast geschlossenen Haken) und Schnur
- ▶ Spax-Schrauben (Länge ca. 2 cm)
- ▶ große, flache Wasserwanne
- ▶ Zimtpulver



### Aufbau 1, Durchführung

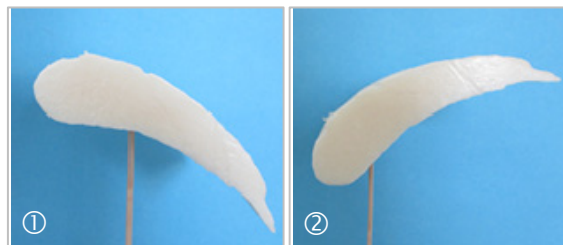
Das Flügelmodell wird vor dem ausgeschalteten Gebläse auf die Waage gestellt. Diese wird durch die Tarafunktion auf die Nullstellung gebracht.

Wird das Gebläse eingeschaltet, kann der Auftrieb als Gewichtsreduzierung (negatives Vorzeichen) gemessen werden.



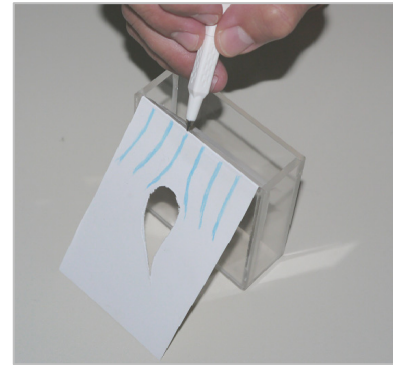
### Arbeitsaufträge 1

- (1) Variiere die Strömungsgeschwindigkeit um den Flügel, beobachte und beschreibe die Veränderung des Auftriebs.
- (2) Führe die Messung mit verschiedenen geformten Flügelprofilen durch und vergleiche den Auftrieb.
- (3) Variiere den Anstellwinkel des Flügels wie in den nebenstehenden Bildern gezeigt.
  - a) Beobachte und beschreibe den Auftrieb bei positiven (Bild ①) und bei negativen (Bild ②) Anstellwinkeln. Achte besonders auf das Vorzeichen.
  - b) Neben der Auftriebskraft tritt auch immer die Luftwiderstandskraft auf. Versuche, während der Experimente ihre Abhängigkeit vom Anstellwinkel zu erkennen, und beschreibe diese. Überlege dir einen möglichen Versuchsaufbau mit zwei Waagen, der eine bessere Aussage über die Luftwiderstandskraft zulässt.
- (4) Beim Fahrzeugbau im Rennsport werden Spoiler eingesetzt. Diese haben den gleichen Effekt wie negativ angestellte Flügel. Erkläre ihre Bedeutung.



## Aufbau 2, Durchführung

Schneide in das Chromatographiepapier ein „Loch“ in der Form eines Flügelprofils. Knicke einen ca. 1 cm breiten Streifen im oberen Bereich um und setze dort jeden Zentimeter mit dem wasserlöslichen Stift eine Markierung. Tauche nun den geknickten Teil des Papiers in das mit Wasser gefüllte Gefäß. Das Wasser wird jetzt langsam vom Papier aufgesaugt und umströmt langsam das ausgeschnittene Flügelprofil. Dabei werden die Markierungen in kurzen Zeitabständen immer wieder erneuert.



## Arbeitsaufträge 2

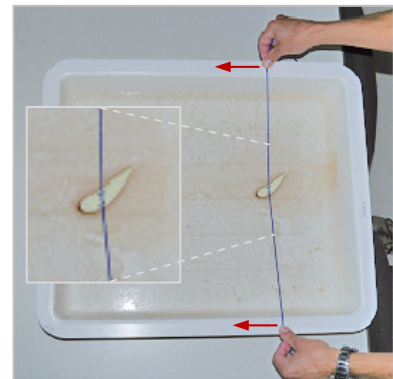
- (1) Beobachte und beschreibe die Stromlinien, die sich bei der langsamen Umströmung des Flügelprofils ergeben. Besonders interessant ist hierbei das Umströmen der Hinterkante des Flügels.
- (2) Markiere den Ablösepunkt der Strömung auf der Oberseite des Flügels. Erläutere, wie dieser zustande kommt; gehe dabei auch auf die Längen der Umströmungen auf der Ober- und der Unterseite des Flügels ein. Vergleiche die Position des Ablösepunkts mit der Position bei „Flügeln“ gleichen Profils<sup>1)</sup>, aber anderem „Anstellwinkel“.

<sup>1)</sup>Schablone verwenden!

## Aufbau 3, Durchführung

Beschwere das Flügelmodell auf der Unterseite des Querschnitts so mit Spax-Schrauben, dass es ca. 1 cm Tiefgang in der mit Wasser gefüllten Wanne hat (siehe Bilder *Material*). Achte dabei auf eine gleichmäßige Verteilung der Schraubenmasse.

Bestreue die Wasseroberfläche dünn und gleichmäßig mit Zimtpulver. Fädle die Schnur durch die Ösen auf der Flügelquerschnittsoberseite und ziehe das Modell mithilfe der straff gespannten Schnur langsam durch das Wasser. Der Anstellwinkel wird „von Hand“ über die Schnur eingestellt.



## Arbeitsaufträge 3

- (1) Ziehe das Modell zuerst sehr langsam. Beobachte und beschreibe die Umströmung des Flügelprofils, die Vorgänge an der scharfen Hinterkante des Flügels sowie die Bewegung des Modells.
- (2) Ziehe nun das Flügelmodell etwas schneller. Achte dabei wieder auf die Vorgänge an der Hinterkante des Flügels und beschreibe, wie sich das Modell bewegt, wenn du die Ablösung eines Wirbels an der Hinterkante beobachtet hast.

## Hinweise, Literatur und Links

- Simulierte Strömungsbilder (auch unter Darstellung von Druck und 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.
- Der theoretische Hintergrund zum aerodynamischen Auftrieb und dem Gesetz von Bernoulli findet sich in der Präsentation [Warum fliegt ein Flugzeug Grundlagen.ppt](#) (siehe [Handreichung „Technik erleben“](#), S. 35), oder in der Kurzfassung [Fliegen Aerodynamischer Auftrieb.ppt](#).
- Zahlreiche Hinweise und Anregungen, auch zu Literatur und Links siehe [Handreichung „Technik erleben“](#), S. 34-37 (u. a. [DLR\\_Prandtl.pdf](#), [Erklärung des Fliegens.pdf](#), Videos eines Experimentierströmungskanal [stroemungskanal\\_ton.mpg](#) (6:41 min))
- Informationen von Dr. Wolfgang Send zur Physik des Fliegens, u. a. auch zum Bau eines Windkanals unter [www.aniprop.de/schulunterricht](http://www.aniprop.de/schulunterricht)