

## Übersicht Unterrichtssequenz 2

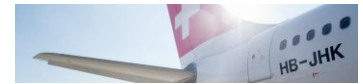
<b>Arbeitsauftrag</b>	Die SuS machen den Postenlauf in Einzel- oder Gruppenarbeit.
<b>Ziel</b>	Die SuS lernen das Prinzip der Aerodynamik kennen und vertiefen es in Versuchen im virtuellen Windkanal.
<b>Material</b>	<p>Pro SuS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• unten aufgeführte Arbeitsblätter 1–7</li> </ul> <p>4 Posten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Posten 1:</b> Arbeitsblatt 1 „Auftrieb versus Schwerkraft“</li> <li>• <b>Posten 2:</b> Arbeitsblatt 2, 3 „Newton“</li> <li>• <b>Posten 3:</b> Arbeitsblatt 4, 5 „Bernoulli“</li> <li>• <b>Posten 4:</b> Arbeitsblatt 6, 7 „Zirkulationsströmung“</li> </ul> <p>Pro Gruppe:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Internetzugang: <a href="http://www.planet-schule.de/sf/multimedia-simulationen-detail.php?projekt=fliegen">http://www.planet-schule.de/sf/multimedia-simulationen-detail.php?projekt=fliegen</a> (virtueller Windkanal)</li> </ul>
<b>Sozialform</b>	Einzel- oder Gruppenarbeit
<b>Zeit</b>	45'

### Zusätzliche Informationen:

- <http://de.wikipedia.org/wiki/Auftrieb>
- [https://www.physikalische-schuleexperimente.de/physo/Aerodynamisches\\_Fliegen\\_-\\_Impulserhaltung/3.\\_Newtonsches\\_Axiom\\_als\\_entscheidendes\\_Prinzip\\_-\\_3\\_Einführungsexperimente](https://www.physikalische-schuleexperimente.de/physo/Aerodynamisches_Fliegen_-_Impulserhaltung/3._Newtonsches_Axiom_als_entscheidendes_Prinzip_-_3_Einführungsexperimente)

### Weiterführende Ideen:

- Besuch im Verkehrshaus Luzern



## Auftrieb versus Schwerkraft

Was passiert, wenn du ...



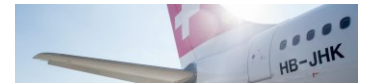
- ... einen Stein in der Luft loslässt?
- ... einen Stein und eine Feder gleichzeitig in der Luft loslässt?
- ... einen aufgeblasenen Ballon loslässt?
- ... eine Seifenblase mit Helium füllst?

**Welcher Versuch passt zu welchem Text? Schreibe zur Nummer den passenden Buchstaben.**

- Schub bezeichnet die Vortriebskraft und dient als Kenngrösse für die Leistungsfähigkeit von Strahltriebwerken. Die Einheit ist das Kilonewton (kN). Der Schub beschleunigt das Flugzeug und dient der Überwindung des Luftwiderstandes. Die Triebwerke einer Boeing 747-400 erzeugen je Triebwerk einen Maximalschub von ca. 276 kN während des Starts. Um diese Schubkraft zu erreichen, werden in jedem Triebwerk ca. drei Liter Kerosin pro Sekunde verbrannt.
- Ein Körper, der sich mit einer Geschwindigkeit relativ zu einem gasförmigen oder flüssigen Medium bewegt, erfährt einen Strömungswiderstand, eine der Bewegungsrichtung entgegengesetzt wirkende Kraft. Bewegt sich eine Person (z.B. ein Jogger) oder ein Gegenstand (z.B. ein Flugzeug) an der Luft oder durch die Luft, so spricht man auch vom Luftwiderstand.
- Unter Gewichtskraft versteht man die Kraft, die auf einen Körper auf der Erdoberfläche wirkt. Sie setzt sich zusammen aus der durch die Gravitation bewirkten Anziehungskraft der Erde und die durch die Erdrotation bewirkte Zentrifugalkraft. Die auf einen Körper wirkende Schwerkraft ist gleich dem Produkt aus seiner Masse und der Erdbeschleunigung (= Fallbeschleunigung). Die Schwerkraft ist die Ursache der Beschleunigung, die ein frei fallender Körper auf der Erdoberfläche erfährt, der ausser der Schwerkraft keiner weiteren Kraft ausgesetzt ist.
- Der Auftrieb ist die Kraft, die entgegengesetzt zur Schwerkraft wirkt. Dynamischer Auftrieb entsteht, wenn der Körper sich relativ zum Gas oder zur Flüssigkeit bewegt. Im Gegensatz zum statischen Auftrieb ist die Richtung des dynamischen Auftriebs nicht durch „oben“ und „unten“ im Sinne der Schwerkraft definiert, sondern nur dadurch, wie Körper und Strömung zueinander orientiert sind. Dennoch nennt man ihn auch dynamischen Abtrieb, wenn er in Richtung der Gewichtskraft wirkt, also entgegengesetzt zum statischen Auftrieb. Der dynamische Auftrieb hängt von der Grösse und der Richtung der Anströmgeschwindigkeit relativ zum Körper ab.

**Nun sollte es ein Leichtes sein, die vier Kräfte (Pfeile) zu benennen.**

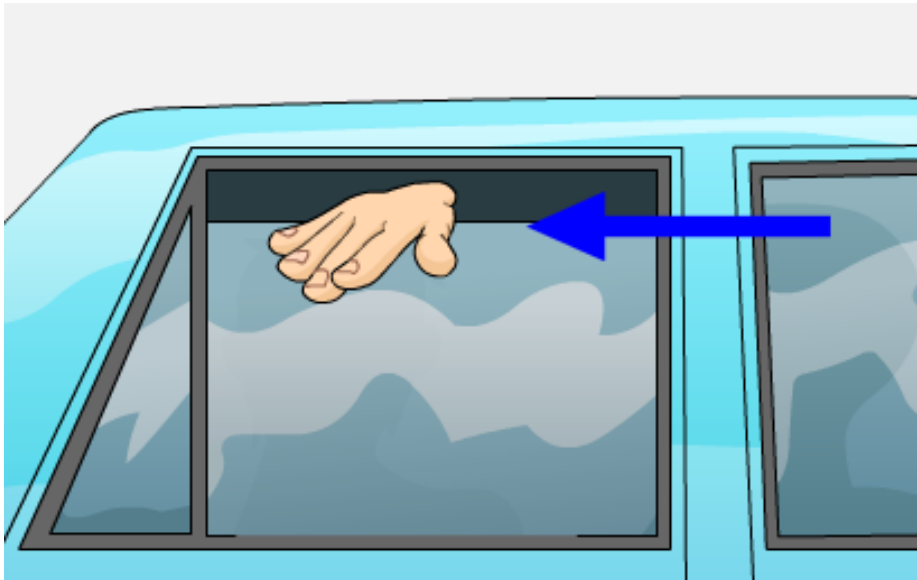




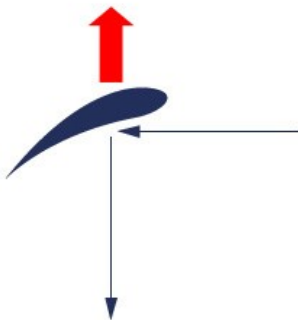
## Newton

### Was passiert, wenn du...

... die Hand beim Autofahren leicht gewinkelt aus dem Fenster hältst?

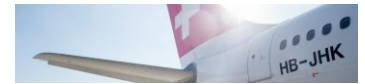


Der Physiker Isaac Newton (1642–1727) entdeckte dies auch schon ohne Auto, nach den mechanischen Prinzipien. Prallt die Luft gegen die Unterseite des Flügels, werden die Luftteilchen von diesem zurückgeworfen – ähnlich kleinen Bällen, die von der Wand abprallen. Der Rückstoss der Luftmoleküle drückt den Flügel nach oben.



Der Flügel lenkt die Luft nach unten um. Dabei wird der Flügel selbst mit der gleichen Kraft nach oben gedrückt.

Eines der von Newton entdeckten Prinzipien war, dass jede Kraft, die auf ein Objekt einwirkt, eine gleich grosse Gegenkraft hervorruft.



Dieser Erklärung nach sollte ein Flügel mit einem rechteckigen Flügelprofil und gleicher Grösse einen genauso grossen Auftrieb erfahren wie ein Flügel mit dem oben abgebildeten Profil.

Wir wollen dies in unserem virtuellen Windkanal überprüfen

<http://www.planet-schule.de/sf/multimedia-simulationen-detail.php?projekt=fliegen>

Ergeben das Rechteck und das Flügelprofil gleich viel Auftrieb?  
Wie sieht es bei einem horizontalen Einstellwinkel ( $0^\circ$ ) aus?

Was hältst du davon?



---

---

---

---

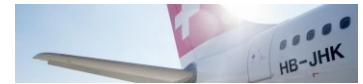
Luft bildet einen zusammenhängenden Verband, der sich bei

- hohen Geschwindigkeiten und
- unter unterschiedlichen Drucksituationen

anders verhält als viele an die Wand geschleuderte Kügelchen.

Bewegungen in einem gasförmigen Medium lassen sich nicht einfach mit den Gesetzen der Punktmechanik erklären. Solche Bewegungen müssen mithilfe der Strömungsphysik beschrieben werden.

Es muss also noch andere Gründe für den Auftrieb am Flügel geben.



## Bernoulli

### Was passiert, wenn du...

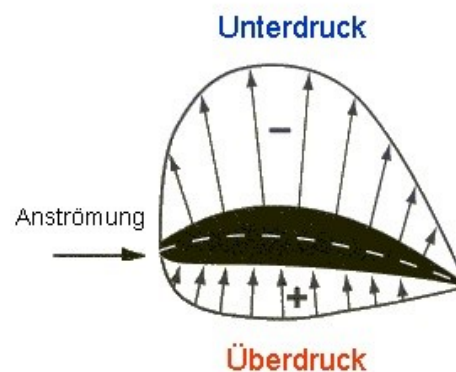
... einen wenige Zentimeter breiten Papierstreifen an die Unterlippe hältst und nun kräftig oben drüber pustest?

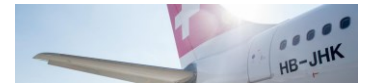
Der Schweizer Physiker Daniel Bernoulli (1700–1782) wird für die zweite Erklärung bemüht. Er hat die nach ihm benannte Bernoulli-Gleichung gefunden. Danach entsteht ein Unterdruck, wenn ein Medium an einem Objekt schnell vorbeiströmt.



Betrachtet man einen Flugzeugflügel im Profil, so sieht man, dass er oben stark gewölbt und unten fast flach ist. Bewegt sich der Flügel durch die Luft, strömt die Luft oben deutlich schneller um den Flügel als auf der Unterseite. Dadurch entsteht oben ein geringerer Druck als unten – Auftrieb resultiert, das Flugzeug steigt nach oben.

Viele Menschen glauben, dass hauptsächlich die Luft, die unter den Tragflächen entlangströmt, das Flugzeug trägt. Tatsächlich ist dies nur bedingt richtig. Die entstehende Kraft unter den Tragflächen macht nur etwa ein Drittel des gesamten Auftriebs aus. Die restlichen zwei Drittel des Auftriebs stammen vom Sog, der an der Oberseite herrscht.

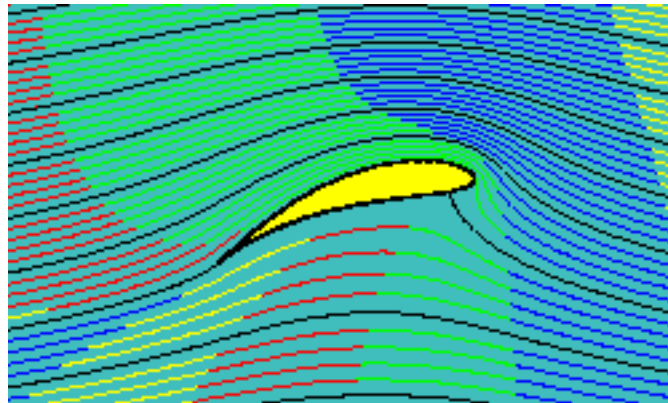




Off liest man die Behauptung, dass die Luft oben am Flügel schneller strömen müsse, um den längeren Weg genauso schnell zu schaffen wie die Luft, die unten herum strömt. Das ist aber falsch.

Die Luft strömt oberhalb und unterhalb des Flügels unabhängig voneinander. Deshalb gibt es keinen Grund, warum sie zur gleichen Zeit am Flügelende ankommen sollte.

Versuche und Simulationen haben bestätigt, dass die Teilchen nicht gleichzeitig das Ende erreichen. Luftteilchen, die oben über den Flügel strömen, kommen sogar (trotz des längeren Wegs zum Flügelende) deutlich vor den Teilchen an, die unten am Flügel vorbei strömen.



Die Darstellung zeigt, dass die roten oberen Luftteilchen das Flügelende schon erreicht haben, während sich die unteren roten Luftteilchen noch in der Mitte des Flügels befinden.

Kombiniert man Newtons Behauptungen mit den Entdeckungen Bernoullis, können wir das meiste, was in unserem virtuellen Windkanal passiert, bereits vorhersagen.

**Gebt euch gegenseitig Einstellungen im virtuellen Windkanal vor und schätzt, was passieren wird.**

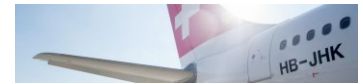


<http://www.planet-schule.de/sf/multimedia-simulationen-detail.php?projekt=fliegen>

**Welche drei Einstellungen bestimmen, wie viel Auftrieb sich ergibt?**

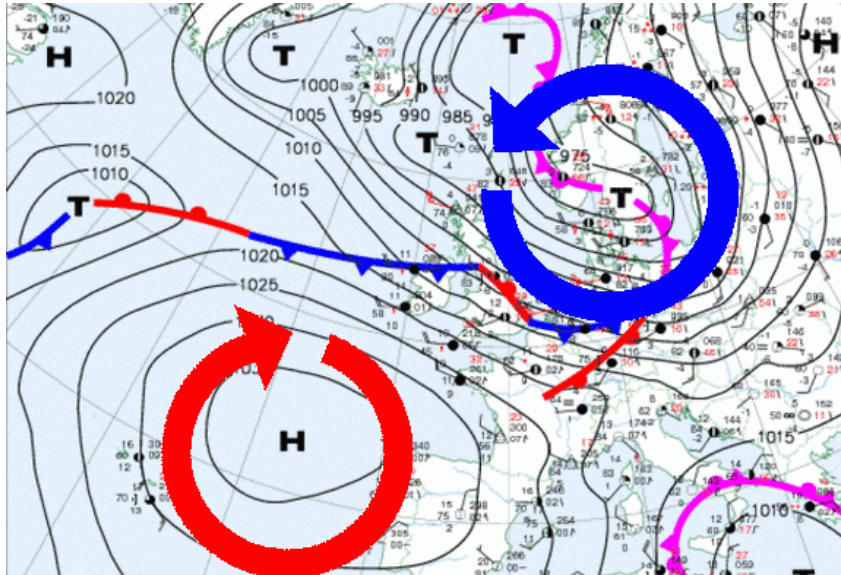


Nur eines wissen wir noch nicht. Warum die Luft über dem Flügel schneller fließt als unter dem Flügel ...



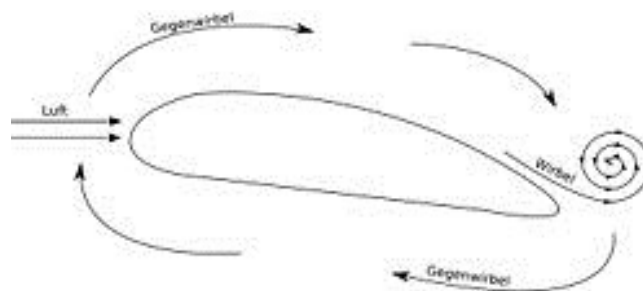
## Zirkulationsströmung

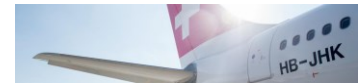
Vielleicht kennst du dies schon?



Eine Wetterkarte mit einem Hochdruck- und einem Tiefdruckgebiet. Sie treten immer in Paaren auf, oder gar mehrere miteinander, aber nie allein. Es ist eine Eigenschaft der Luft, dass Wirbel immer auch einen Gegenwirbel erzeugen.

Beim Start eines Flugzeugs bildet sich, ab einem gewissen Anstellwinkel, an der hinteren Kante der jeweiligen Tragfläche ein starker Anfahrwirbel. Da Wirbel nur paarweise auftreten, bewirkt diese Wirbelbildung, dass sich eine gegenläufige Strömung bildet, die Zirkulationsströmung.

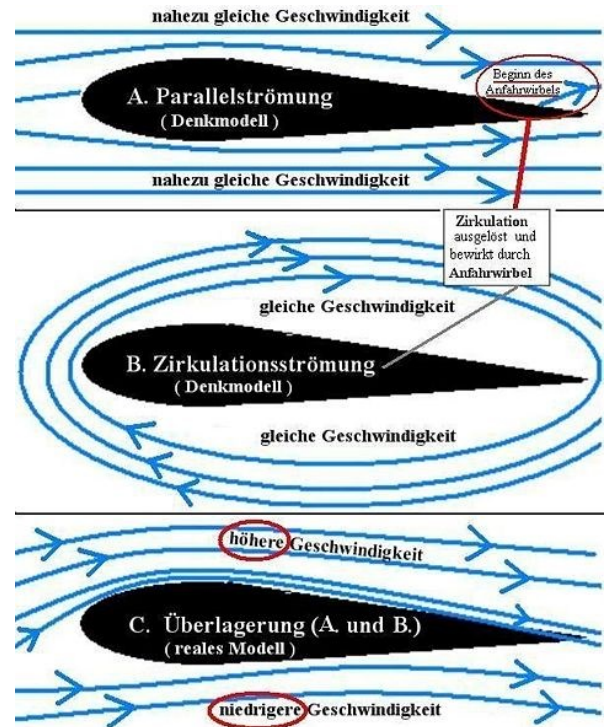




Diese Zirkulation verhält sich so, dass sie auf der Oberseite der Tragfläche mit der Strömung (Ergebnis: die Luft strömt an der Oberseite schneller), an der Unterseite der Tragfläche gegen die Strömung fließt (Ergebnis: die Luft strömt hier langsamer).

Der Begriff Zirkulation kann jedoch irreführend wirken. Denn tatsächlich bewegt sich die Luft dabei nicht gegen die Strömung. Der Begriff ist eher als ein mathematisches Modell zur Berechnung des Auftriebs zu verstehen.

Die gewölbte Form (das Profil) der Tragfläche schafft erhöhten Auftrieb, indem sie die Strömung am Ende des Flügels effizienter nach unten ablenkt. Die nach unten abgelenkte Luft erzeugt nach dem Newtonschen Gesetz von Kraft und Gegenkraft zusätzlichen Auftrieb.



Versuche nun in eigenen Worten die drei Eigenschaften aufzuschreiben, die ein Flugzeug zum Fliegen bringen.



---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---