

## Warum das Flugzeug fliegt

### *Gegenstand:*

Warum ein Flugzeug fliegt, wird nicht nur in Fachbüchern über Strömungsmechanik erörtert. Es wird auch in Physikbüchern für Schule und Hochschule und in populärwissenschaftlichen Büchern beschrieben. Dabei findet man eine ganze Reihe verschiedener Erklärungen. In einigen Büchern die eine, in anderen die andere, in wieder anderen gleich mehrere. Die häufigsten sind:

- Die Strömungsgeschwindigkeit an der Oberseite des Tragflügels ist größer als an der Unterseite. Nach der Bernoulli-Gleichung herrscht damit oben ein geringerer Druck als unten.
- Luftteilchen werden am Tragflügel reflektiert. An der Unterseite ist der Impulsübertrag größer als an der Oberseite.
- Um den Tragflügel bildet sich eine Zirkulationsströmung. Diese führt zu einer Kraftkomponente nach oben.

Bei den erwähnten Erklärungen handelt es sich nicht um verschiedene Mechanismen, sondern um unterschiedliche Betrachtungsweisen ein und desselben Vorgangs.

### *Mängel:*

1. Die Erklärungen sind oft nicht verständlich. Manche Texte erschlagen den Leser mit Einzelheiten und Fachausdrücken: Grenzschichtablösung, Formwiderstand, Reynoldszahl, Anstellwinkel, Auftriebsbeiwert, Zirkulation, Anfahrwirbel, Zähigkeit, Stokesches Gesetz, Newtonsche und Stokesche Reibung, Bernoullische Gleichung, turbulente Strömung.
2. Manche Texte suggerieren, es handle sich bei den oben erwähnten Vorgängen um mehrere voneinander unabhängige Beiträge zum Auftrieb. Ich habe ein Buch gefunden, in dem gesagt wird, dass die Moleküle von unten Impuls übertragen, und dass *zusätzlich* oben ein Unterdruck entsteht.
3. Das wichtigste Problem aber, das wir hier diskutieren wollen, ist: Wenn ein Schüler fragt, warum ein Flugzeug fliegt, – mit was für einer Antwort wird er wohl zufrieden sein?

Wir meinen, keine der oben angeführten Erklärungen stellt eine solche Antwort dar. Zur Verdeutlichung betrachten wir eine andere Situation, die aber mit dem fliegenden Flugzeug etwas gemeinsam hat. Statt "Warum fällt das Flugzeug nicht auf die Erde?" fragen wir: "Warum fällt die Vase, die vor uns steht, nicht auf die Erde?"

Ein hypothetischer Physiker, der für die Erklärung des fliegenden Flugzeugs die Bernoulli-Gleichung heranzieht, würde hier konsequenterweise etwa das Folgende antworten: "Der Untersetzer, auf dem die Vase steht, ist elastisch. Er verhält sich wie eine gespannte Feder und übt auf die Unterseite der Vase eine Kraft aus." Die Aussage ist zwar nicht falsch, aber wahrscheinlich interessiert es den Frager gar nicht, wer warum auf die Unterseite der Vase eine Kraft ausübt. Ähnlich ist es beim Flugzeug. Wenn man weiß, wie es die Luft anstellt, die Tragflügel nach oben zu drücken, hat man wahrscheinlich nicht das Gefühl, den Grund für das Fliegen verstanden zu haben.

Derjenige hypothetische Physiker, der für die Erklärung des fliegenden Flugzeugs die stoßenden Moleküle braucht, könnte antworten: "Die Vase fällt nicht auf die Erde, weil es zwischen den Molekülen des Untersetzers und den Molekülen der Vase eine abstoßende elektrostatische Wechselwirkung gibt." Auch mit dieser Antwort würde der Frager nicht sehr glücklich. Und auch beim Flugzeug bringt die Antwort mit dem Impulsübertrag der Luftmoleküle nicht die erwünschte Einsicht. Muss man denn die Atomphysik bemühen, um das Fliegen zu verstehen?

Die hypothetischen Physiker hatten offenbar die Frage nicht so recht zur Kenntnis genommen. Sie haben die

ursprüngliche Frage sofort übersetzt in eine andere, die es ihnen gestattet zu zeigen, was sie alles wissen. Sie haben daraus ein Anwendungsbeispiel des Kräfteadditionsprinzips bzw. der Atomphysik gemacht. Zu beanstanden ist an ihren Antworten, dass sie keinerlei Aussage darüber machen, welche Rolle die Tischplatte und die Tischbeine spielen. Wie oft versuchen wir Lehrer doch, unseren Schülern eine andere Frage unterzuschieben als die, die sie gestellt hatten: eine Frage, auf die wir eine schnelle Antwort haben, oder eine Frage, die es uns gestattet, unsere Überlegenheit zu demonstrieren.

Bevor wir zum Flugzeug zurückkommen: Warum fällt eigentlich ein Hubschrauber nicht auf die Erde? Auf diese Frage pflegt die Physik eine Antwort ganz anderer Art zu geben. Sie sagt dazu nicht viel mehr, als auch jeder physikalische Laie sagen würde. Die Erklärung dieses Laien wäre wohl einfach: Der Hubschrauber fliegt, weil er Luft nach unten pustet. Die Physik ergänzt diese Aussage: Die Luft muss nach unten geblasen werden, weil der Hubschrauber über das Gravitationsfeld ständig Impuls bekommt (Richtung des Impulsvektors nach unten), und dieser Impuls darf sich nicht ansammeln, der Hubschrauber muss ihn loswerden. Die einzige Möglichkeit, die er dazu hat, ist, den Impuls an die Luft weiterzugeben.

Beim Flugzeug ist es nicht anders. Es muss Impuls loswerden, und den kann es nur an die Luft abgeben. Es muss Luft nach unten hin in Bewegung setzen. Genau das machen die Tragflächen, wenn sich das Flugzeug nach vorn bewegt.

Der Grund dafür, dass ein Flugzeug fliegt, ist nicht nur derselbe wie der, dass ein Hubschrauber fliegt. Es ist auch derselbe, wie der, dass ein Fallschirm mit konstanter Geschwindigkeit (und nicht beschleunigt) fällt, und es ist auch der Grund dafür, dass ein Ventilator bläst. Alle diese Geräte kann man erklären mit Bernoulli, durch die Stöße der Moleküle oder mit der Zirkulation. Alle blasen sie aber auch Luft nach unten bzw. nach vorn, und damit übertragen sie Impuls auf die Luft. Das ist, unserer Meinung nach, für den, der kein Spezialist in Flugmechanik werden will, eine befriedigende Erklärung.

#### *Herkunft:*

Was wir in manchen Schulbüchern und anderen Büchern, die für den Nichtspezialisten bestimmt sind, antreffen, ist unverdaute Ingenieurliteratur. Selbstverständlich ist es wichtig, das Strömungsfeld genau zu kennen, wenn ein Tragflügelprofil optimiert werden soll. Selbstverständlich ist es wichtig, eine Strömung in einen zirkulationsfreien und einen quellfreien Anteil zu zerlegen, um die Potenzialtheorie zur Berechnung von Profilen heranziehen zu können. Zur Allgemeinbildung wird man diese Themen aber sicher nicht zählen.

#### *Entsorgung:*

Man beschränkt sich auf die folgende Erklärung: Das Flugzeug muss Luft nach unten in Bewegung setzen, genauso wie der Vogel, das Insekt, der Hubschrauber, die Frisbee-Scheibe und der Bumerang, ja sogar wie der Fallschirm, denn es muss den Impuls loswerden, den es ständig mittels der Schwerkraft von der Erde bekommt. Die nach unten strömende Luft nimmt diesen Impuls mit, und gibt ihn schließlich an die Erde zurück.

*F. H.*