

UNTERRICHTS MATERIALIEN

Physik Sek. II



Die Grundlagen des Fliegens

Auftrieb und Besonderheiten bei Steig- und Gleitflug

Impressum

RAABE UNTERRICHTS-MATERIALIEN Physik

Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für die elektronische oder sonstige Vervielfältigung, Übersetzung, Verbreitung und öffentliche Zugänglichmachung.

Für jedes Material wurden die Endrechte recherchiert und angefragt. Sollten dennoch an einzelnen Materialien weitere Rechte bestehen, bitten wir um Benachrichtigung.

Dr. Josef Raabe Verlags-GmbH
Ein Unternehmen der Klett Gruppe
Rotebühlstraße 77
70178 Stuttgart
Telefon +49 711 62900-0
Fax +49 711 62900-60
meinRAABE@raabe.de
www.raabe.de

Redaktion: Anna-Greta Wittnebel
Satz: Röser MEDIA GmbH & Co. KG, Karlsruhe
Illustrationen: Dr. Wolfgang Zettlmeier
Bildnachweis Titel: © Airbus
Korrekturat: Mona Hitznauer, Johanna Stolz

Die Grundlagen des Fliegens

Teil 1: Vom Auftrieb bis zum Gleitflug

Flugzeuge sind heutzutage eine Selbstverständlichkeit, um Menschen und Frachtgüter über kleine oder große Distanzen von A nach B zu bringen. Dabei sind nicht einmal 130 Jahre vergangen, seit der Menschheitstraum vom „Fliegen wie ein Vogel“ ganz langsam zur Realität wurde. Es waren waghalsige Pioniere, wie Otto Lilienthal (1848–1896) mit seinem ersten Gleitflug im Jahr 1891 oder die Gebrüder Wright, die es im Jahr 1903 erstmals mit Motorkraft schafften, für wenige Sekunden in der Luft zu bleiben, und dabei 37 Meter zurücklegten (Abb. 1 oben).

Gute 100 Jahre später startete im Jahr 2005 der erste Airbus A 380 zu seinem erfolgreichen Jungfernflug – ein technisches Wunderwerk, das bei einem Startgewicht von etwa 560 Tonnen über 800 Menschen über eine Distanz von bis zu 13 000 km befördern kann (Abb. 1 unten)



Abb. 1: Oben links Otto Lilienthal – oben rechts die Gebrüder Wright
Unten Airbus A 380 in Werkslackierung © dpa/picture-alliance.de und Airbus

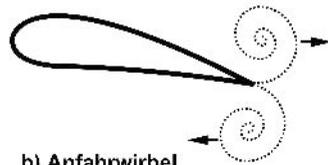
Der Auftrieb – Grundvoraussetzung für das Fliegen

Ein Flugzeug kann nur vom Boden abheben, wenn es gelingt, eine Kraft nach oben zu generieren, die mindestens so groß ist wie die Gewichtskraft des Flugzeugs. Diese Kraft nach oben nennt man Auftrieb; sie wird erzeugt, wenn die Luft mit einer genügend großen Geschwindigkeit die Tragflächen umströmt. Dabei benötigen die Tragflächen ein bestimmtes Profil, damit zum einen der gewünschte Auftrieb entstehen kann und zum anderen aber der unerwünschte Luftwiderstand des Flügels nicht zu groß wird. Es gibt eine Vielzahl von verschiedenen Flügelprofilen, deren Form davon bestimmt wird, welche Flugeigenschaften ein Flugzeug haben soll.

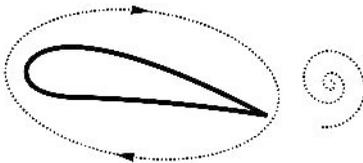
2. Die Abbildungen 3 a–d zeigen, wie es aufgrund der sogenannten Zirkulationsströmung zum für das Fliegen entscheidenden, sogenannten *dynamischen Auftrieb* kommt.
- Erläutern Sie kurz den Unterschied zwischen einem statischen und einem dynamischen Auftrieb.
 - Beschreiben und erläutern Sie nun die in Abb. 3 a–d nacheinander ablaufenden Vorgänge.



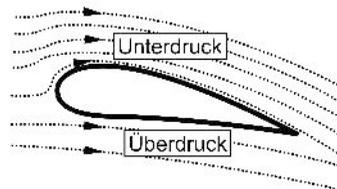
a) Parallelströmung



b) Anfahrwirbel



c) Zirkularströmung



d) Überlagerung

Abb. 3: Entstehung des Auftriebs; Grafik: W. Zettlmeier

4. Eine genaue Betrachtung der auf einen Tragflügel wirkenden Kräfte zeigt: Der dynamische Auftrieb \vec{F}_A als senkrechte Kraftkomponente der von der anströmenden Luft ausgehenden Strömungskraft bildet die Grundlage für das Fliegen. Die zweite Kraftkomponente der Strömungskraft wirkt in Strömungsrichtung auf den umströmten Flügel und wird Strömungswiderstand \vec{F}_W genannt. Die Resultierende aus Auftrieb und Strömungswiderstand wird als Gesamtluftkraft \vec{F}_L bezeichnet (Abb. 4).

Für die Gesamtluftkraft \vec{F}_L gilt, wenn der Druckpunkt als Nullpunkt gewählt wird und \vec{F}_W in die positive x-Richtung zeigt:

$$\vec{F}_L = \vec{F}_A + \vec{F}_W = F_A \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} + F_W \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_W \\ F_A \end{pmatrix} = \frac{\rho_L}{2} \cdot v_{\infty}^2 \cdot A \cdot \begin{pmatrix} c_W \\ c_A \end{pmatrix}$$

Die Fläche A ist eine zu definierende Referenzfläche – dafür eignet sich die Tragflügelfläche A.

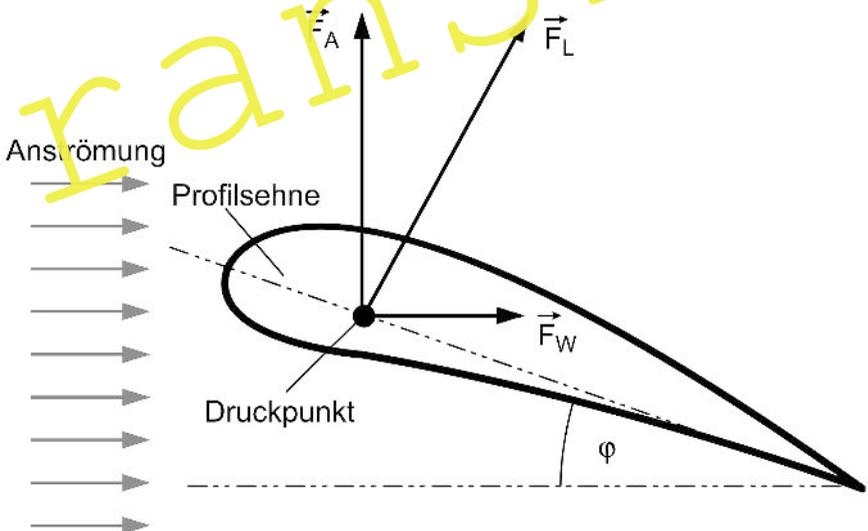


Abb. 4: Auf den Tragflügel wirkende Strömungskräfte; Grafik: W. Zettlmeier

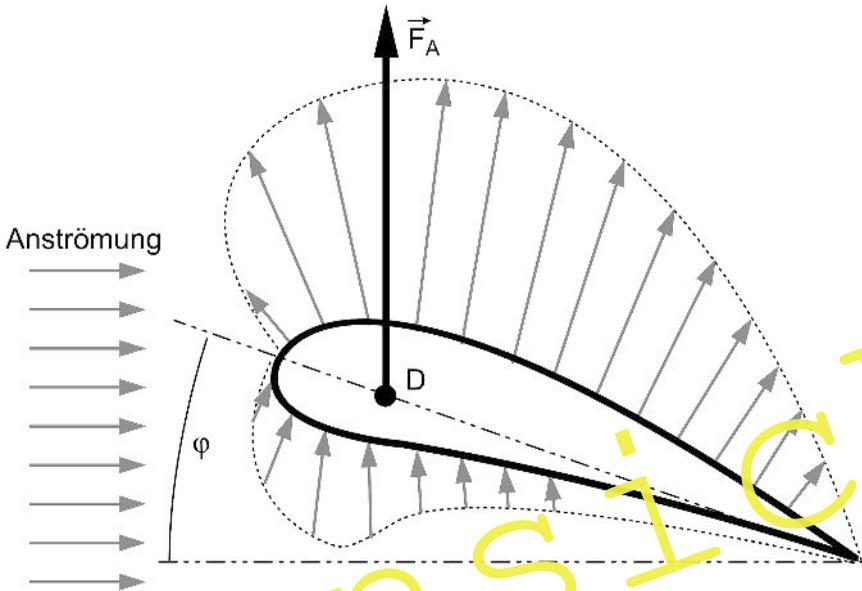


Abb. 5 Anströmung; Grafik: W. Zettlmeier

5. Ein Airbus A 380 hat eine maximale Startmasse von $m = 560 \text{ t}$. Der für den Auftrieb zur Verfügung stehende Tragflächenquerschnitt beträgt 846 m^2 . Die vier Triebwerke haben zusammen eine Schubkraft von $\overline{F}_S = 1244 \text{ kN}$. Die Geschwindigkeitskomponente in Bewegungsrichtung beträgt beim Start $v_{ST} = 69,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und erhöht sich in der Reiseflughöhe $h = 11 \text{ km}$ auf $v_{RF} = 262 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

- Berechnen Sie zunächst den Auftriebsbeiwert $c_{A,RF}$ in Reiseflughöhe, wenn dort die Dichte der Luft $\rho_{RF} = 0,364 \text{ kg/m}^3$ beträgt.
- Berechnen Sie nun den Auftriebsbeiwert $c_{A,St}$ beim Steigflug (Luftdichte am Boden $\rho_B = 1,225 \text{ kg/m}^3$), der unter einem Anstellwinkel von $\varphi = 10^\circ$ erfolgen soll.

Hinweis: Beachten Sie, dass sich beim Anstellwinkel φ eine vertikale Komponente der Schubkraft \overline{F}_S ergibt.

8. Die schematische Darstellung eines sich im Gleitflug unter einem Gleitwinkel φ bewegenden Segelflugezeugs zeigt Abb. 6.

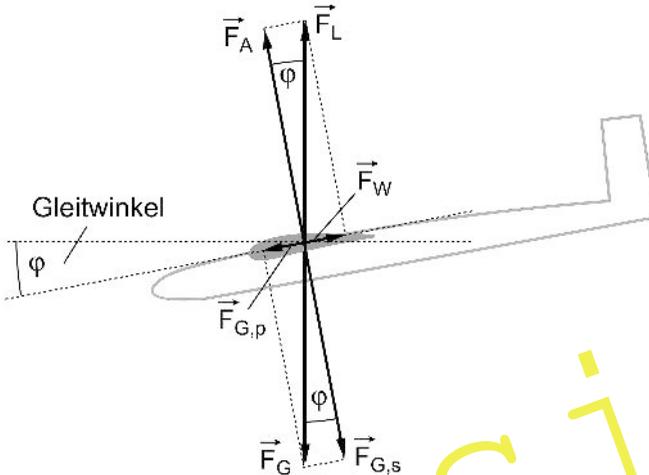


Abb. 6: Die wirkenden Kräfte; Grafik: W. Zettlmeier

- a) Erläutern Sie anhand von Abb. 6 das Zustandekommen der für den Gleitflug notwendigen Bedingungen.
- b) Zeigen Sie durch Rechnung, dass für den Gleitwinkel φ folgende Beziehung gilt:

$$\tan \varphi = \frac{c_W}{c_A}$$

- c) Der c_W -Wert eines Segelflugezeugs entspricht etwa drei Hundertstel des c_A -Wertes bei der Geschwindigkeit des optimalen Gleitens. Berechnen Sie aus dieser Angabe den Gleitwinkel φ und erläutern Sie, welche Bedeutung diese Verhältniszahl sowie ihr Kehrwert haben.
9. Ein Segelflugmodell ($m = 2,8 \text{ kg}$) hat die Gleitzahl $E = 15$, die bei einer Gleitgeschwindigkeit $|\vec{v}_{\text{Gl}}| = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ erreicht wird. Die Dichte der Luft beträgt $\rho_L = 1,225 \text{ kg/m}^3$. Berechnen Sie den Widerstandsbeiwert c_W sowie den Auftriebsbeiwert c_A , wenn das Segelflugmodell eine Flügelfläche von $A = 0,8 \text{ m}^2$ hat.

Kompetenzprofil

- Niveau: Oberstufe, weiterführend
- Fachlicher Bezug: –
- Kommunikation: physikalische Texte erfassen, argumentieren, Vermutungen äußern
- Problemlösen: Probleme formulieren, Darstellungen verwenden, Ergebnisse angeben
- Modellierung: –
- Medien: Lehrbücher, Internet
- Methode: Einzel- oder Gruppenarbeit
- Inhalt in Stichworten: Auftriebskraft, Kräftezerlegung, Kräftegleichgewicht, Luftkraft, Luftwiderstand, Widerstandsbeiwerte c_A und c_W , Dichte der Luft, Gesetz von Bernoulli, Horizontalflug, Steigflug, Gleitflug, Steigwinkel, Gleitwinkel, Gleitzahl

Autor: Wolfgang Vogg, Eurasburg

Lösung:

1. Ein beschleunigungsfreier Horizontalflug findet bei konstanter Flughöhe und Fluggeschwindigkeit statt. Die Kraft \vec{F}_S entspricht dabei der Schubkraft, die im Beispiel von den Triebwerken des A 380 erzeugt wird.

Der Schubkraft entgegengesetzt wirkt die Luftwiderstandskraft \vec{F}_W , die sowohl am Flugzeugrumpf als auch an den Tragflächen und Leitwerken angreift.

Sie besteht aus Druckwiderstand, Reibungswiderstand und induziertem Widerstand. Der Druckwiderstand entsteht beim Auftreffen der Luftmoleküle auf die Stirnflächen des Flugzeugs, was zu einer Störung der Luftströmung führt. Der Reibungswiderstand ist bedingt durch die Reibung der Luftmoleküle an den Oberflächen des Flugzeugs; vom induzierten Widerstand spricht man, wenn sich wegen des unterschiedlichen Drucks zwischen Flügelober- und Flügelunterseite Ausgleichsströmungen in Form von Randwirbeln an den Flügelenden ergeben, die viel Energie verbrauchen. Wegen dieser auch „Wirbelschleppen“ genannten Randverwirbelungen muss vor allem beim langsamen Fliegen auf ausreichend große Abstände zwischen den Flugzeugen geachtet werden. Die Beträge von Schubkraft und Luftwiderstandskraft sind bei konstanter Geschwindigkeit gleich groß

($|\vec{F}_S| = |\vec{F}_W|$ bei $v = \text{const.}$).