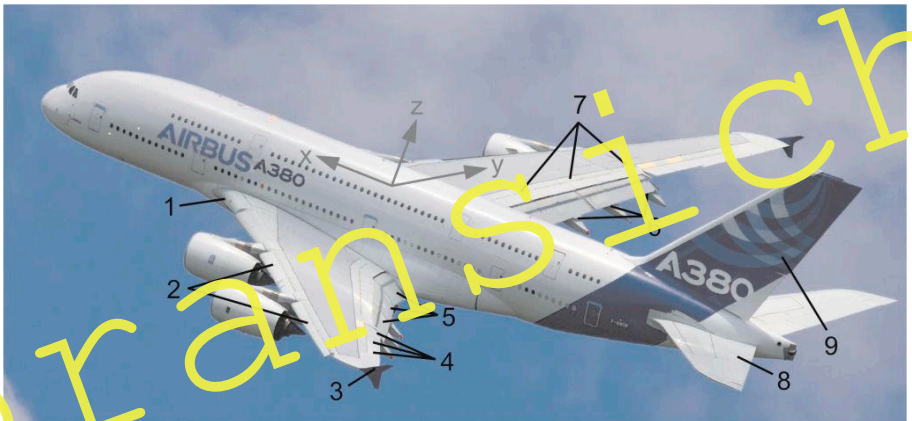


UNTERRICHTS MATERIALIEN

Physik Sek. II



Die Grundlagen des Fliegens

Teil II

Impressum

RAABE UNTERRICHTS-MATERIALIEN Physik

5/2019

Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Es ist gemäß § 60b UrhG hergestellt und ausschließlich zur Veranschaulichung des Unterrichts und der Lehre an Bildungseinrichtungen bestimmt. Die Dr. Josef Raabe Verlags-GmbH erteilt Ihnen für das Werk das einfache, nicht übertragbare Recht zur Nutzung für den persönlichen Gebrauch gemäß vorgenannter Zweckbestimmung. Unter Einhaltung der Nutzungsbedingungen sind Sie berechtigt, das Werk zum persönlichen Gebrauch gemäß vorgenannter Zweckbestimmung in Klassensatzstärke zu vervielfältigen. Jede darüber hinausgehende Verwertung ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Hinweis zu §§ 60a, 60b UrhG: Das Werk oder Teile hiervon dürfen nicht ohne eine solche Einwilligung an Schulen oder in Unterrichts- und Lehrmedien (§ 60b Abs. 3 UrhG) vervielfältigt, insbesondere kopiert oder eingescannt, verbreitet oder in ein Netzwerk eingestellt oder sonst öffentlich zugänglich gemacht oder wiedergegeben werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen. Die Aufführung abgedruckter musikalischer Werke ist ggf. GEMA-meldepflichtig.

Für jedes Material wurden die Fremdrechte recherchiert und ggf. angefragt.

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
Korrektorat: Johanna Stotz, Wyhl a. K.

Die Grundlagen des Fliegens – Teil II

Von der Steuerung bis zum Triebwerk

Nach der intensiven Behandlung des Auftriebes als Grundvoraussetzung des Fliegens sowie der Besonderheiten bei Steig- und Gleitflug in Teil 1 erfolgt nun eine genaue Betrachtung der technischen und physikalischen Abläufe bei der Steuerung eines Flugzeuges, insbesondere beim koordinierten Kurvenflug. Zudem werden Grenzfälle des Fliegens ebenso behandelt wie die heutzutage verfügbaren sparsamen und leisen Turbo-Fan-Antriebe.

Auftriebs- und Steuerelemente eines Flugzeuges

Bei jedem Flugzeug – insbesondere aber bei den großen Verkehrsflugzeugen – sind an den Flügeln sowie am Seiten- und Höhenleitwerk am Heck die entsprechenden Hilfsmittel angebracht, die es ermöglichen, ein Flugzeug gemäß den gegebenen Notwendigkeiten beim Start, beim Reiseflug, bei Richtungsänderungen und bei der Landung zu steuern. Abb. 1 zeigt die wichtigsten Auftriebs- und Steuerelemente beim Airbus A-380.



Abb. 1: Auftriebs- und Steuerelemente beim A-380 © Airbus

Die jeweiligen Zahlen zeigen auf folgende Bauteile:

- | | | |
|-------------------|----------------------|-----------------------|
| 1: Vorflügel | 2: Krügerklappen | 3: Winglet |
| 4: drei Querruder | 5: drei Landeklappen | 6: Landeklappenträger |
| 7: Störklappen | 8: Höhenruder | 9: Seitenruder |

1. Beschreiben und erläutern Sie die Bedeutung und Funktionsweise der mit den Ziffern 1–9 versehenen Bauteile des Flugzeuges.

Hinweis: Recherchieren Sie dazu im Internet und/oder in geeigneten Lehrbüchern. Dies gilt auch für alle weiteren Fragestellungen im Beitrag.

Der koordinierte Kurvenflug

Hinweis: Beim folgenden Beispiel – und auch bei allen weiteren Beispielen – soll das Flugzeug auf den Betrachter zufliegen, bewegt sich also aus der Zeichenebene heraus.

Man spricht von einem *koordinierten Kurvenflug*, wenn zu dessen Ausführung sowohl Seiten- als auch Querruder koordiniert betätigt werden (Abb. 2). Will man beispielsweise aus dem Horizontalflug, bei dem die Auftriebskraft \vec{F}_A gleich der Luftkraft \vec{F}_L und somit der Gewichtskraft \vec{F}_G ist, eine Kurve nach links – wie in Abb. 2 b zu sehen – einleiten, so muss das linke Querruder nach oben bewegt werden. Dies führt dazu, dass am linken Tragflügel der Auftrieb aufgrund der Bremswirkung reduziert wird. Umgekehrt wird das rechte Querruder nach unten bewegt, was durch eine stärkere Ablenkung des Luftstromes nach unten zu einer Auftriebserhöhung führt.

Durch die beiden gegengleichen Ruderbewegungen leitet der Pilot die Rollbewegung in die gewünschte Flugrichtung ein – das Flugzeug beginnt nach links zu rollen. Gleichzeitig steigt an der rechten Flügelfläche der Widerstand, was zu einer sogenannten *Gierbewegung* – also einer Drehbewegung um die z-Achse des Flugzeuges nach links – führt. Diese gleicht der Pilot mit dem Seitenruder aus. Man sieht, dass sich durch die Schräglage die Richtungen der Kräfte, die auf das Flugzeug

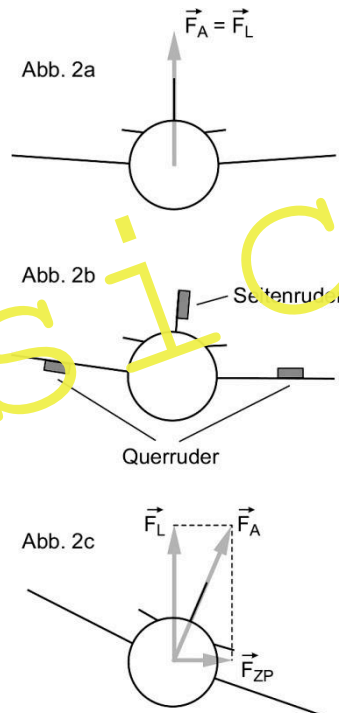


Abb. 2: Einleitung Kurvenflug

wirken, ändern. Der von den Tragflächen erzeugte Auftrieb wirkt immer senkrecht zu den Tragflächen, da die Luftströme auch stets senkrecht zu den Tragflächen umgelenkt werden.

Daraus entsteht eine nach innen gerichtete Zentripetalkraft \vec{F}_{ZP} mit der Folge, dass sich die Luftkraft \vec{F}_L , die das Flugzeug letztendlich in der Luft hält, verringert – und dies trotz gleichbleibendem Auftrieb durch die Tragflächen.

2. Aus Abb. 2 ist zu entnehmen, dass durch die vektorielle Zerlegung des Auftriebs in eine senkrechte und waagrechte Komponente – eingeleitet durch die entsprechenden Ruderbewegungen – der Kurvenflug möglich wird.
 - a) Beschreiben und erläutern sie, warum ein Flugzeug beim Kurvenflug sich nicht um beliebige Winkel zur Seite neigen darf.
 - b) Begründen Sie nun, unter Einbeziehung der Aussagen aus Teilaufgabe 2 a), welche Maßnahme der Pilot ergreifen muss, damit das Flugzeug eine Kurve ohne Höhenverlust fliegen kann.
3. Bei einem stationären Kurvenflug bewegt sich ein Flugzeug mit einer konstanten Geschwindigkeit v_L in Bewegungsrichtung auf einer horizontalen Kreisbahn mit festem Radius r und gleichbleibendem Neigungswinkel φ . Abb. 3 zeigt die auf das Flugzeug in einer Linkkurve wirkenden Kräfte an.

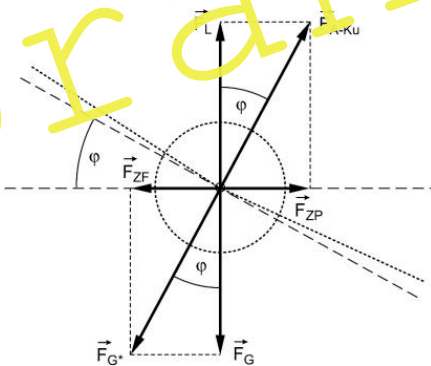


Abb. 3: Auf das Flugzeug wirkende Kräfte beim stationären Kurvenflug

Bau und Funktion von modernen Triebwerken

Der Antrieb von modernen Verkehrsflugzeugen hat sich im Verlauf der letzten Jahrzehnte ständig weiterentwickelt, nicht nur unter dem Aspekt einer Erhöhung der Wirtschaftlichkeit, sondern auch im Hinblick auf weniger Schadstoffausstoß und massive Lärmreduzierung.

Bei nahezu allen zivilen Verkehrsflugzeugen werden heutzutage sogenannte Mantelstromtriebwerke – auch Turbofans genannt – verwendet. Am Beispiel des Turbofan-Triebwerkes Trent 970 der Firma Rolls-Royce eines Airbus A-380 (Abb. 4) soll exemplarisch Bau und Funktion dieser modernen Triebwerksart veranschaulicht werden.

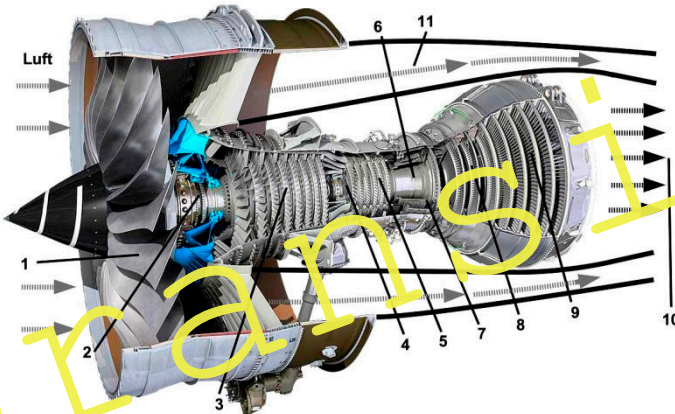


Abb. 4: A-380 Turbofan Triebwerk Rolls-Royce Trent 970, © Rolls Royce

Die jeweiligen Zahlen zeigen auf folgende Bauteile:

- | | | |
|---------------------|------------------------|--------------------------|
| 1: Fan | 2: Getriebe | 3: Niederdruckverdichter |
| 4: Niederdruckwelle | 5: Hochdruckverdichter | 6: Hochdruckwelle |
| 7: Brennkammer | 8: Hochdruckturbine | 9: Niederdruckturbine |
| 10: Erhitzte Luft | 11: Nebenluftstrom | |

8. Beschreiben und erläutern Sie anhand der zugeordneten Zahlen Bau und Funktion der einzelnen Bauteile eines Turbofan-Triebwerkes sowie die Entstehung der Schubkraft.

Hinweis: Ein erläuterndes Youtube-Video zeigt die Entwicklung von Strahltriebwerken: <https://www.youtube.com/watch?v=V9nUGYenvXo>

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, Luftkraft, Kräftezerlegung, Kräftegleichgewicht, Zentripetal- und Zentrifugalkraft, Lastvielfaches, Überziehggeschwindigkeit, Auftriebsbeiwert, Dichte der Luft

Autor: Wolfgang Vogg, Eurasburg

Grafiken von: Dr. Wolfgang Zettlmeier

Lösung

1. Die bezeichneten Bauteile haben folgende Bedeutung und Funktion:
 - Zu 1: **Vorflügel**, auch *Slats* genannt, sind am vorderen Rand der Tragfläche eines Flugzeuges angebrachte Flächen, um die Strömungsregulierung bei Start und Landung zu optimieren. Vorflügel ermöglichen es dem Flugzeug – vor allem bei der Landung – noch langsamer zu fliegen als nur mit den Landeklappen allein. Während des Fluges werden die Vorflügel eingefahren, um den Luftwiderstand zu verringern.
 - Zu 2: Die nach seinem Entwickler, dem deutschen Luftfahrtingenieur Werner Krüger benannte **Krügerklappe** wurde im Jahr 1943 entwickelt – sie befindet sich an der vorderen Tragflächenunterseite. Von ihrer Wirkung her ähnelt sie dem Vorflügel, ist jedoch von ihrer Ausführung her einfacher gebaut. Vorflügel und Krügerklappe werden als Auftriebshilfen (wie bei der A-380) auch kombiniert.
 - Zu 3: Die **Winglets** oder auch *Sharklets* (bei Airbus) sind kleine verlängerte Außenflügel an den Enden der Tragflächen. Sie erhöhen die Seitenstabilität, verringern den Luftwiderstand und verbessern so auch den Gleitwinkel bei niedriger Geschwindigkeit.