

LÖSUNGEN

Aufgabe 7.2.1

a) Wenn die Handfläche senkrecht zur Luftströmung steht, also bei einem Anstellwinkel von 90° , erfährt die Hand den größten Luftwiderstand.

b) Wenn die Handfläche parallel zur Luftströmung gehalten wird, spürt man keinen Auftrieb.

Wenn man den Anstellwinkel vergrößert, steigt die Auftriebskraft bis zu einem maximalen Wert. Vergrößert man den Anstellwinkel noch weiter, dann sinkt die Auftriebskraft wieder ab, bis die Luftströmung an der Handfläche „abreißt“ und die Auftriebskraft aufhört.

Aufgabe 7.2.2

a) Der Simulator zeigt, dass auch ein Brett bei einem passenden Anstellwinkel einen Auftrieb erfährt. Das erkennt man gut bei den einfachen Kinderdrachen, die ja im Prinzip nur aus einer glatten Fläche im Wind bestehen.

b) Der Simulator zeigt, dass eine Kugel in keiner Lage einen dynamischen Auftrieb erfährt. Es wäre auch sehr verwunderlich, denn diese Kugel ist symmetrisch relativ zur Strömung gebaut. Jeder Effekt, der nach oben wirkt, müsste in gleicher Weise nach unten wirken.

c) Der Simulator zeigt, dass auch eine achsensymmetrische Tragfläche bei einem Anstellwinkel einen Auftrieb erfährt. Der Luftwiderstand bei dieser Tragfläche ist aber geringer im Vergleich zu einem einfachen Brett.

Bei der geschwungenen Tragfläche zeigt der Simulator bei einem kleineren Anstellwinkel schon eine größere Auftriebskraft. Die Tragfläche, die bei Flugzeugen eingesetzt wird, hat also bei einem kleineren Luftwiderstand eine höhere Auftriebskraft.

Symmetrische Tragflächen spielen bei Flugzeugen eine Rolle, die auch gut auf dem Rücken fliegen müssen.

Aufgabe 7.2.3

a) Veränderbar sind die Strömungsgeschwindigkeit, der Anstellwinkel und die Tragflächenform.

b) Je größer der Anstellwinkel, desto größer ist der Auftrieb – bis zu einem gewissen Grad. Wenn die Strömung abreißt, müsste der Auftrieb zusammenbrechen. Soweit kann man in diesem Simulator den Anstellwinkel aber nicht vergrößern.

c) Die geschwungene Tragfläche hat bei einem kleineren Anstellwinkel schon einen großen Auftrieb. Damit hat eine geschwungene Tragfläche bei kleinerem Luftwiderstand einen größeren Auftrieb.

d) Auch ein Brett, wie auch ein Drachen, erfährt bei einem geeigneten Anstellwinkel einen Auftrieb, allerdings bei einem großen Luftwiderstand. Ein Flugzeug mit Brettern als Tragflächen könnte fliegen, aber mit einem gewaltigen Energieaufwand, um den Luftwiderstand zu überwinden.

e) Eine symmetrisch aufgebaute Kugel kann schon aufgrund ihrer Symmetrie keine Auftriebskraft in einer Richtung zeigen. Der Simulator bestätigt diese Vorhersage.

Aufgabe 7.3.1

Ein Modellauto (man kann es sich als Quader mit der Frontfläche A vorstellen) fährt mit der Geschwindigkeit v . Wir nehmen an, dass das Modellauto die Luft direkt vor dem Auto auf die Autogeschwindigkeit beschleunigen muss. Es liegen folgende Formeln vor:

$$F = \Delta p_{\text{Impuls}} / \Delta t$$

$$E = \frac{1}{2} m_{\text{Luft}} \cdot v^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Impuls}} &= m_{\text{Luft}} \cdot v \dots \Delta p_{\text{Impuls}} = m \cdot \Delta v \\ \rho &= m_{\text{Luft}} / V_{\text{Luft}} \\ V_{\text{Luft}} &= A \cdot \Delta s \\ F &= m_{\text{Luft}} \cdot a \\ a &= \Delta v / \Delta t \end{aligned}$$

Wir gehen folgende Rechenschritte:

- In der Zeit Δt muss die Luftmasse $m = v \cdot A \cdot \Delta t \cdot \rho$ direkt vor dem Auto auf die Geschwindigkeit v gebracht werden.
- Die Bewegungsenergie dieses Luftpakets hat den Wert: $E = \frac{1}{2} v \cdot A \cdot \Delta t \cdot \rho \cdot v^2$
- Diese mechanische Energie muss durch die Kraft F längs des Wegs $v \cdot \Delta t$ aufgebracht werden: $E = F \cdot v \cdot \Delta t$
- Mit dem Energieerhaltungssatz bekommen wir: $F = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$

Vergleicht man die hier hergeleitete Formel mit der Formel aus der Literatur, sehen wir, dass uns noch ein Proportionalitätsfaktor c fehlt. Das passt aber sehr gut zu unserem Ansatz bei der Herleitung. Dort sind wir davon ausgegangen, dass das Fahrzeug die gesamte Luftmasse vor sich auf die Fahrzeuggeschwindigkeit beschleunigt. Das ist aber nicht der Fall, denn ein Teil der Luft fließt seitlich ab. Daher kommen wir also zu der Literaturformel:

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$$

Aufgabe 7.3.2

a) Die Form der Tragfläche beeinflusst ganz massiv den Widerstandsbeiwert (Proportionalitätsfaktor).

b) Der Anstellwinkel beeinflusst ganz massiv den Widerstandsbeiwert (Proportionalitätsfaktor).

Aufgabe 7.3.3

a) Der Auftriebsbeiwert verändert sich nicht mit der Höhe, denn die Luftdichte, die in größeren Höhen kleiner wird, steht explizit in der Auftriebsformel:

$$F_A = \frac{1}{2} \cdot c_A \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$$

Der dynamische Auftrieb ist allerdings direkt proportional zur Luftdichte und damit stark von der Höhe abhängig.

b) Der Auftriebsbeiwert ist unabhängig von der Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeit steht explizit in der Auftriebsformel:

$$F_A = \frac{1}{2} \cdot c_A \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$$

c) Der Anstellwinkel bei einer fest vorgegebenen Tragfläche und Tragflächenform bestimmt weitgehend den Auftriebsbeiwert c_A . Mit wachsendem Anstellwinkel steigt der Auftriebsbeiwert bis die Strömung abreißt, dann bricht der Auftriebsbeiwert und damit die dynamische Auftriebskraft zusammen.

Aufgabe 7.4.1

a) Für die Auftriebskraft gilt die Formel: $F_A = \frac{1}{2} \cdot c_A \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$

Diese Formel kann man nach c_A auflösen und erhält: $c_A = \frac{2 \cdot F_A}{A \cdot \rho \cdot v^2}$

LÖSUNGEN

Diese c_A -Werte werden auf der Hochachse der Profilpolaren abgetragen. Für die Luftwiderstandskraft gilt die Formel:

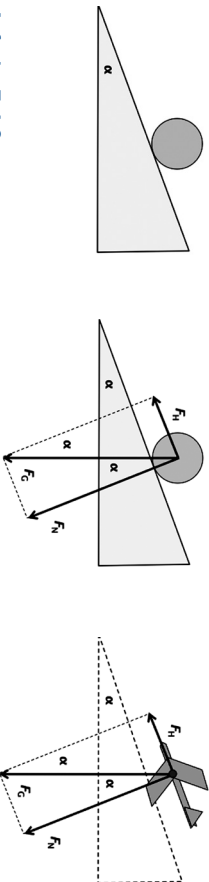
$$F_w = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$$

Diese Formel kann man nach c_w auflösen und erhält: $c_w = \frac{2 \cdot F_w}{A \cdot \rho \cdot v^2}$

Diese c_w -Werte werden auf der Querachse der Profilpolaren abgetragen.

b) Wenn die Geschwindigkeit v sich z. B. verdoppelt, dann vervierfacht sich der Luftwiderstand ebenso wie die Auftriebskraft. Setzt man diese Werte in die obige Formel ein, sieht man, dass sich weder c_A noch c_w verändert. Beide Beiwerte sind also unabhängig von der Geschwindigkeit. Also ergibt sich das gleiche Diagramm bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten.

Aufgabe 7.4.2



Aufgabe 7.4.3

a) Die beste Gleitzahl stellt sich ein, wenn man den Anstellwinkel wählt, der genau dem Tangens φ der Profilpolare entspricht.

b) Den größten Auftrieb erreicht man bei einem Anstellwinkel am oberen Ende der Profilpolare.

c) Reduziert man den Anstellwinkel bekommt man am unteren Ende der Profilpolare negative Auftriebe.

Aufgabe 7.4.4

a) Gilt man von der Formel

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$$

aus, wird man ein Diagramm erhalten, in dem eine Parabel entsteht.

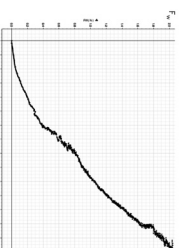
Dieses Diagramm zeigt die Abhängigkeit der Luftwiderstandskraft von der Strömungsgeschwindigkeit bei konstantem Anstellwinkel.

b) Gilt man von der Formel

$$F_A = \frac{1}{2} \cdot c_A \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$$

aus, wird man ein Diagramm erhalten, in dem eine Parabel entsteht.

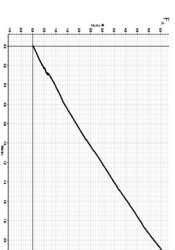
Dieses Diagramm zeigt die Abhängigkeit der Auftriebskraft von der Strömungsgeschwindigkeit bei konstantem Anstellwinkel.



c) Bildet man den Quotienten aus der Auftriebskraft und der Luftwiderstandskraft, ergibt sich:

$$\frac{F_A}{F_w} = \frac{c_A}{c_w}$$

Das heißt bei dem gleichen Profil und dem gleichen Anstellwinkel ergibt sich im F_A - F_w -Diagramm eine Gerade. Dieses Diagramm zeigt die Auftriebskraft auf der Hochachse und den Luftwiderstand auf der Querachse bei konstantem Anstellwinkel der Tragfläche.



Aufgabe 7.4.5

a) Zwischen der Hangabtriebskraft und der Gewichtskraft gilt: $\sin \varphi = F_H / F_G$; im Gleitflug bei konstanter Geschwindigkeit gilt $F_H = F_{\text{Luftwiderstand}}$. Damit ergibt sich für die Luftwiderstandskraft $F_{\text{Luftwiderstand}} = 5.000 \text{ N} \cdot \sin 5^\circ = 436 \text{ N}$. Zwischen der Normalkraft und der Gewichtskraft gilt: $\cos \varphi = F_N / F_G$; im Gleitflug bei konstanter Geschwindigkeit gilt $F_N = F_{\text{Auftriebskraft}}$. Damit ergibt sich für die Auftriebskraft $F_{\text{Auftrieb}} = 5.000 \text{ N} \cdot \cos 5^\circ = 4.98 \text{ kN}$.

b) Für das Gleitverhältnis gilt: $\frac{h}{l} = \frac{1}{52}$

damit ergibt sich $l = h \cdot 52$; Daraus resultiert eine maximale Flugstrecke von $l = 52 \text{ km}$. Bei einer Gleitgeschwindigkeit von 110 km/h kann der Pilot etwa eine halbe Stunde nach dem Landeplatz Ausschau halten.

c) Die Flugstrecke kann man aus dem Gleitverhältnis bestimmen: $l = h \cdot 17$; daraus ergibt sich $l = 16,6 \text{ km}$.

Aufgabe 7.5.1

a) Unterhalb der Tragfläche herrscht ein Überdruck und oberhalb der Tragfläche ein Unterdruck. Diese Druckdifferenz führt zu einer Strömung an den Enden der Tragfläche und zu einem Wirbel. Diese Strömung führt dazu, dass die Druckdifferenz am Tragflächenende zusammenbricht und das Flügelende wenig zum Auftrieb beiträgt. Die Wirbeln reduzieren den Widerstand der Tragflächenenden und erhöhen auch damit den Auftrieb.

b) Z.B.: unter www.youtube.com/watch?v=6ULSAvnbTco, www.diam.unige.it/~irmo/profilo1a_e.html, de.wikipedia.org/wiki/Wirbelschlepe.

c) Der Gegenwirbel im Sinne des Drehimpulserhaltungssatzes bildet sich um die Tragfläche des Flugzeugs.

d) Die Zirkulation (Wirbel um die Tragfläche) dreht sich hierbei im Uhrzeigersinn. Der Anfahrwirbel auf der Startbahn dreht sich beim Start des Flugzeugs gegen den Uhrzeigersinn. Nach einer gewissen Zeit, wenn das Flugzeug in der Luft ist, zerstreut sich der Anfahrwirbel und das nächste Flugzeug kann starten. Ganz wesentlich für die Kapazität eines Flughafens sind also die Abklingzeiten dieser Anfahrwirbel auf einer Landebahn.

e) In großen Höhen kondensiert in Bereichen mit übersättigtem Wasserdampf dieses Gas zur Flüssigkeit – zu den Wassertropfen –, wenn Kondensationskeime vorhanden sind. Die Abgase aus den Turbinen der Verkehrsflugzeuge liefern diese Kondensationskeime, so dass man hinter den Turbinen Kondensstreifen beobachten kann.