

LÖSUNGEN

Aufgabe 11.2.1

- a) An den Tragflächen greifen die Auftriebskräfte an. Die Schwerkraft greift im Schwerpunkt an. Die Luftwiderstandskraft wirkt gegen die Flugrichtung und die Vortriebskraft gleicht diese Luftwiderstandskraft aus.
Die Kräfte am Querruder drehen das Flugzeug um seine Längsachse.
Die Kräfte am Höhenruder drehen das Flugzeug um seine Querachse.
Die Kräfte am Seitenruder drehen das Flugzeug um seine Hochachse.
Im Windkanal kann man diese Kräfte mit Kraftmessern bestimmen.
- b) Im Horizontalflug gleicht die Auftriebskraft die Schwerkraft aus, und die Vortriebskraft gleicht die Luftwiderstandskraft aus.
- c) Bei wachsendem Anstellwinkel steigt die Auftriebskraft bis die Strömung abreißt.
(Beim Start liegt bei ausgefahrenen Starterklappen schon deshalb ein großer Anstellwinkel (= Landeklappen) vor, weil das Flugzeug für den anschließenden Steigflug die Nase anhebt.
Bei der Landung sind die Landeklappen ausgefahren und das Flugzeug landet bei hohem Anstellwinkel, die Nase des Flugzeugs ist angehoben. Erst wenn die hinteren Räder des Flugzeugs den Boden berühren, sinkt die Nase und der Anstellwinkel nimmt ab – und damit auch die Auftriebskräfte an den Tragflächen.
- d) Beim Start und bei der Landung sind die Starterklappen ausgefahren, d.h. der Flächeninhalt der Tragflächen ist in dieser Phase besonders groß.
- e) Beim Start und bei der Landung herrscht zwar eine geringe Strömungsgeschwindigkeit, aber es gibt einen großen Anstellwinkel und eine große Tragfläche bei gleichzeitig hoher Luftdichte. Diese Parameter passen so zusammen, dass die Auftriebskraft sowohl in 10.000 m Höhe als auch am Boden ausreicht, um die Schwerkraft des Flugzeugs auszugleichen.

Aufgabe 11.4.1

Beim Aufsetzen des Fahrwerks auf der Landebahn werden die Räder beim ersten Bodenkontakt in extrem kurzer Zeit vom Stillstand auf eine Rotationsgeschwindigkeit gebracht, die der Landegeschwindigkeit des Flugzeugs entspricht. Um diese extrem hohe Belastung der Reifen zu mindern, werden die Räder beim A380 schon in der Luft auf die passende Rotationsgeschwindigkeit gebracht.

Aufgabe 11.4.2

Wenn man das Fahrwerk schon im Flug schwenken kann, besteht die Möglichkeit, dass bei Seitenwindlandung, bei denen die Längsachse des Flugzeugs nicht parallel zur Flugrichtung liegt, das seitliche Schieben der Maschine beim Aufsetzen ausgeglichen wird. Bei Flugzeugen ohne diese Einrichtung, muss der Pilot die Längsachse der Maschine bei Seitenwindlandungen ganz kurz vor dem Aufsetzen parallel zur Landebahn drehen.

Aufgabe 11.5.1

- a) Das Flugzeug dreht sich hierbei um die Hochachse. Es fliegt horizontal – allerdings zeigt seine Längsachse nicht in die Flugrichtung.
- b) Die Geschwindigkeit nimmt eventuell ab, weil das Flugzeug, vor allem der Rumpf, einen höheren Luftwiderstand bietet.
- c) Mit dem Seitenruder alleine kann man eigentlich keine Kurve fliegen. Dazu muss zusätzlich zum Seitenruder noch das Querruder betätigt werden – nur dann liegt das Flugzeug so in der Kurve, dass die resultierenden Kräfte in Richtung des Kurvenmittelpunkts zeigen. Man darf aber nicht vergessen, dass die Drehung des Flugzeugs um die Hochachse durch das Seitenruder dazu führt, dass die Tragfläche, die in Richtung des Kurvenmittelpunkts zeigt, über eine geringe Relativgeschwindigkeit und damit über einen geringen Auftrieb verfügt. Die andere Tragfläche wird stärker angeströmt und erfährt deshalb einen größeren Auftrieb. Also kippt das Flugzeug, wie bei einer Querruderbetätigung, in die Kurve.
- d) Ein großes Seitenleitwerk oder Seitenruder führt dazu, dass für die notwendigen Lenkkräfte nur kleine Ruderausschläge notwendig sind und damit ein niedriger Luftwiderstand verbunden ist. Bei kleineren Ruderflächen wäre der Anstellwinkel entsprechend größer.

Aufgabe 11.5.2

- a) In großer Höhe ist der Luftwiderstand wesentlich kleiner. Damit ist weniger Treibstoff für die gleiche Flugstrecke nötig. Gleichzeitig ist eine höhere Fluggeschwindigkeit möglich.
- b) Wenn das Flugzeug bei konstanter Vortriebskraft steigt, gewinnt es an Lageenergie auf Kosten der kinetischen Energie. Das Flugzeug wird langsamer, die Auftriebskräfte nehmen ab und das Flugzeug kippt in die Horizontale und geht in den Sinkflug über.
- c) Im Sinkflug nimmt die Lageenergie ab und die kinetische Energie steigt an. Das Flugzeug wird schneller und die Auftriebskräfte an den Tragflächen wachsen an. Das Flugzeug hebt seine Nase und geht aus dem Sinkflug in die Horizontale und anschließend in den Steigflug über.
- d) Man erkennt die Querruder am äußeren Rand der Tragfläche, die Landeklappen und die Störklappen. Die Störklappen führen beim Aufsetzen des Flugzeugs zum Abriss der Strömung, so dass das Flugzeug bei Bodenkontakt sicher auf der Landebahn bleibt.
- e) Die Störklappen werden nur bei der Landung ausgefahren. Also muss das Flugzeug gerade gelandet sein.

LÖSUNGEN

Aufgabe 11.6.1

- a) Der Pilot muss hinreichend viele Passagiere bitten, sich aus dem vorderen in den hinteren Teil des Flugzeugs zu setzen. Der Schwerpunkt des Flugzeugs wird damit nach hinten verschoben.
- b) Das ist nicht möglich. Eine Unsymmetrie des Flugzeugs bzgl. seiner Flugrichtung könnte man nur durch hinreichend große, äußere Kräfte ausgleichen – z. B. durch das Seitenruder oder durch unterschiedliche Schubstärken der Triebwerke.
- c) Wenn ein Triebwerk ausfällt, führt das zu einer seitlichen Schubkomponente der restlichen Triebwerke. Diese Kraftkomponente, die das Flugzeug um die Hochachse dreht, kann man durch eine entsprechende Seitenrudereinstellung ausgleichen.
- d) Im Fall, dass sich das Essen vor dem Verteilen im Heckcontainer befunden hat, verschiebt sich der Schwerpunkt nach vorne. Im anderen Fall nach hinten.
- e) Wenn sich der Schwerpunkt nach vorne verlagert, kann der Pilot durch einen Ausschlag des Höhenruders nach oben diese Schwerpunktverlagerung ausgleichen. Oder er muss mehr Treibstoff in den Tank im Höhenleitwerk pumpen.
- f) Die Piloten müssen den Höhenruderausschlag nach unten korrigieren oder Treibstoff aus dem Höhenleitwerk in die Tragflächen pumpen.
- g) Wenn sich die Treibstofftanks in den Tragflächen befinden, liegen sie in der Nähe des Schwerpunkts – sie sind gewissermaßen „schwerpunktneutral“. Die Tanks in den Höhenleitwerken können zur Trimmung des Schwerpunkts eingesetzt werden.

Aufgabe 11.7.1

- a) Wenn man das Querruder betätigt, dann zeigt die Auftriebskraft, die senkrecht auf die Tragfläche wirkt, mit einer Kraftkomponente in Richtung des Kurvenmittelpunkts. Diese Kraftkomponente wirkt als Zentripetalkraft.
- Allerdings führen die Querruderausschläge zu einem unterschiedlichen Luftwiderstand an den beiden Tragflächen. Die kurveninnere Tragfläche erfährt bei einem Ausschlag nach oben einen kleineren Luftwiderstand, die andere Tragfläche einen größeren Luftwiderstand. Also dreht sich das Flugzeug um seine Hochachse aus der Kurve heraus.
- Wenn man also eine Kurve ohne Seitenruder fliegen muss, dann giert das Flugzeug bei der Einleitung der Kurve aus der Kurve heraus, bevor es in den Kurvenflug übergeht. Dieses Verhalten nennt man negatives Wendemoment.
- b) Wenn man das Seitenruder – z. B. nach links – betätigt, dann dreht sich das Flugzeug um seine Hochachse nach links. Durch diese Drehung wird die rechte Tragfläche schneller angeströmt als die linke. Wegen der schnelleren Anströmung der rechten Tragfläche erfährt sie einen größeren Auftrieb und geht nach oben, entsprechend erfährt die weniger angeströmte Tragfläche einen kleineren Auftrieb und kippt nach unten.
- Durch die Betätigung des Seitenruders und die Drehung um die Hochachse erfährt das Flugzeug indirekt eine Drehung um die Längsachse. Damit ist ein Kurvenflug alleine mit dem Seitenruder möglich.
- c) Wenn das Flugzeug um die Längsachse gedreht wird und die Auftriebskräfte nicht mehr in der Vertikalen stehen, sinkt der Betrag der vertikalen Auftriebskraftkomponente. Das heißt, das Flugzeug würde in einen Sinkflug übergehen. Also benötigt man eventuell auch noch eine Korrektur der Fluglage durch das Höhenruder.
- d) Bei ganz einfachen Modellen steuert man die horizontale Fluglage über die Motordrehzahl. Soll das Modellflugzeug an Höhe gewinnen, dann erhöht man die Motordrehzahl: Das Flugzeug beschleunigt (nimmt Fahrt auf), der Auftrieb an den Tragflächen nimmt zu, das Flugzeug steigt. Entsprechend führt eine Reduktion der Motordrehzahlen zum Sinkflug. Mit solch einfachen Modellen kann man aber natürlich keine dynamischen Flugfiguren fliegen.