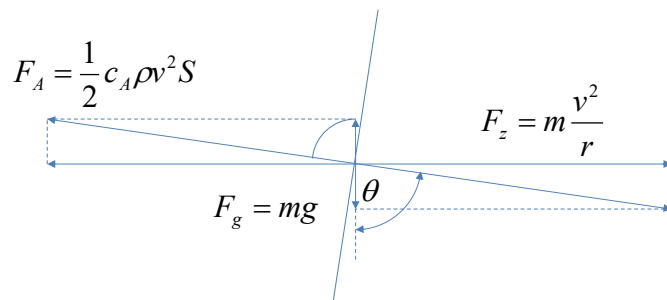


## Physikaufgabe 72

[Home](#) | [Startseite](#) | [Impressum](#) | [Kontakt](#) | [Gästebuch](#)

**Aufgabe:** Um wieviel Prozent muß man die Geschwindigkeit bei einem Kurvenflug mit 9 g gegenüber dem Geradeausflug erhöhen, damit das Flugzeug nicht durchsackt? Wie sieht es bei einem Lenkflugkörper mit maximal 30 g Querbeschleunigung aus?

**Lösung:** Betrachten wir die folgende Zeichnung mit dem Kräfteparallelogramm. Darin ist  $F_g$  die Gewichtskraft,  $F_z$  die Zentripetalkraft und  $F_A$  die Auftriebskraft,  $\rho$  ist die Dichte,  $v$  die Bahngeschwindigkeit,  $r$  der Bahnradius,  $g$  die Erdbeschleunigung,  $m$  die Masse,  $S$  die Tragfläche und  $c_A$  der Auftriebsbeiwert.



Nach dem Vektordiagramm gilt

$$F_z = F_A \sin \theta,$$

$$F_g = F_A \cos \theta,$$

wobei

$$\theta = \arctan \frac{F_z}{F_g} = \arctan \frac{mv^2}{mgr} = \arctan \frac{a_z}{g}$$

die Querneigung ist. Für eine Querbeschleunigung von  $a_z = 9g$  ist

$$\theta = \arctan \frac{a_z}{g} = \arctan 9 = 83,66^\circ.$$

Die erforderliche Auftriebserhöhung erfordert also eine Geschwindigkeitserhöhung im Verhältnis

$$\frac{F_A}{F_A \cos \theta} = \frac{1}{\cos \theta} = \frac{v(0)^2}{v(\theta)^2} = \frac{a_z}{g \tan \theta},$$

d.h.

$$\frac{v(\theta)^2}{v(0)^2} = \frac{1}{\cos \theta} = \sqrt{1 + \tan^2 \theta} = \sqrt{1 + \left(\frac{a_z}{g}\right)^2}$$

oder

## Physikaufgabe 72

---

$$v(\theta) = v(0) \sqrt{\sqrt{1 + \left(\frac{a_z}{g}\right)^2}}$$

Die Querbeschleunigung eingesetzt, erhalten wir einen Geschwindigkeitswert gegenüber dem Geradeausflug von

$$v(83,66^\circ) = v(0) \sqrt{\sqrt{82}} \approx 3v(0).$$

Eine Kurve mit 9g Querbeschleunigung kann daher nur geflogen werden, wenn die Geschwindigkeit in Geradeausrichtung, bei der das Manöver eingeleitet wird, ein Drittel der Maximalgeschwindigkeit nicht übersteigt. Sie muß nach Einleitung der Drehbewegung durch Linearbeschleunigung um zwei Drittel erhöht werden, damit das Flugzeug mangels Auftrieb nicht durchsackt.

Bei einer Querbeschleunigung von 30g haben wir

$$v(88,09^\circ) = v(0) \sqrt{\sqrt{901}} \approx 5,5 \cdot v(0),$$

entsprechend kann eine Kurve mit 30g Querbeschleunigung nur geflogen werden, wenn die Geschwindigkeit in Geradeausrichtung, bei der das Manöver eingeleitet wird, 18,25 % der Maximalgeschwindigkeit nicht übersteigt. Eine Rakete, die mit ihrer maximalen Geschwindigkeit fliegt, ist daher zu keiner Querbeschleunigung fähig, wenn sie ihre Geschwindigkeit nicht innerhalb kürzester Zeit auf einen Bruchteil verringern kann. Dazu muß sie allerdings abgebremst werden, was wiederum Energie kostet.

Angenommen, eine Rakete fliegt mit 80 % ihrer maximalen Geschwindigkeit in die Kurve, d.h.

$$\frac{v(0)}{v(\theta)} = \frac{4}{5},$$

dann ist die Querbeschleunigungsfähigkeit

$$\frac{a_z}{g} = \sqrt{\frac{v(\theta)^4}{v(0)^4} - 1} = \sqrt{1,25^4 - 1} = 1,2.$$

Fliegt sie mit einem Viertel, d.h. mit 25 %, so ist

$$\frac{a_z}{g} = \sqrt{\frac{v(\theta)^4}{v(0)^4} - 1} = \sqrt{4^4 - 1} = \sqrt{255} \approx 16.$$

Nur wenn sie zu Beginn der Drehbewegung 18,25 % ihrer maximalen Marschgeschwindigkeit nicht überschreitet, erreichen wir in der Kurve bei maximaler Geschwindigkeit, die ja beibehalten werden soll, um das Ziel möglichst schnell zu erreichen, einen Wert von

## Physikaufgabe 72

---

$$\frac{a_z}{g} = \sqrt{\frac{v(\theta)^4}{v(0)^4} - 1} = \sqrt{(100 / 18,25)^4 - 1} \approx 30.$$

Der Sprung in der Bahngeschwindigkeit aufgrund der Leistungserhöhung müßte aber sofort mit Einleiten der Drehbewegung erreicht werden, und dazu muß, wie bereits gesagt, eine geradeaus mit maximaler Geschwindigkeit fliegende Rakete zuvor abgebremst worden sein. Eine hohe Agilität setzt eine hohe Querbeschleunigungsfähigkeit voraus. Ein Lenkflugkörper, der mit seiner maximalen Geschwindigkeit fliegt, ist also zu gar keiner Querbeschleunigung fähig, weil er eine Rutschkurve fliegt und durchsackt, sobald er sich querlegt. Für eine Lenk-rakete ist es demnach nicht opportun, ihren Gegner sofort mit maximaler Geschwindigkeit anzugreifen, weil dieser ihr sonst ganz leicht ausweichen kann, wenn er wesentlich langsamer fliegt.