

Physikaufgabe 41

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

Aufgabe: Sie wollen mit einem in allen aerodynamischen Größen baugleichen unbemannten Beobachtungsflugzeug auf dem Mars in Bodennähe fliegen. Was müssen Sie bei der Konstruktion vorrangig beachten?

Lösung: Die Vertikalkomponente des Kräftegleichgewichts beim Fliegen setzt sich zusammen aus der Auftriebskraft

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

und Gewichtskraft $F_G = mg$. Darin ist c_A der Auftriebsbeiwert, ρ die Dichte, m die Masse, v die Fluggeschwindigkeit, S die Tragfläche und g die Erdbeschleunigung am Boden. Setzen wir die beiden Kräfte gleich, erhalten wir im unbeschleunigten Horizontalflug folgende Bedingung:

$$\frac{1}{2} c_A \rho v^2 S = mg.$$

Diese Gleichung wenden wir zum einen auf die Erdoberfläche an, zum andern auf die Marsoberfläche. Damit ergeben sich folgende zwei Gleichungen:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} c_A \rho_E v_E^2 S &= m g_E, \\ \frac{1}{2} c_A \rho_M v_M^2 S &= m g_M. \end{aligned}$$

Wir dividieren nun diese beiden Gleichungen und erhalten daraus eine Formel, die angibt, um wieviel schneller wir unter sonst gleichen Bedingungen auf dem Mars fliegen müssen als auf der Erde. Sie lautet

$$v_M = \sqrt{\frac{g_M \rho_E}{g_E \rho_M}} v_E.$$

Die entsprechenden Größen besorgen wir uns aus Tabellenwerken (z.B. [1]). Die angegebenen Werte gelten jeweils in Bodennähe, aber dort wollen wir ja auch fliegen:

$$\begin{aligned} \text{Erde: } \rho_E &= 1,29 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} & g_E &= 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \\ \text{Mars: } \rho_M &= 0,02 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} & g_M &= 3,69 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \end{aligned}$$

Damit ergibt sich folgender theoretischer Rechenwert:

$$v_M = \sqrt{\frac{3,69 \cdot 1,29}{9,81 \cdot 0,02}} v_E = 4,925 v_E.$$

Physikaufgabe 41

Wir müssen also auf dem Mars ca. 5mal schneller fliegen als auf der Erde, um den gleichen Auftrieb zu erhalten. Um die erforderliche Geschwindigkeit zu reduzieren, können wir die Tragflächen vergrößern. Damit lautet die Bestimmungsgleichung

$$\frac{\rho_E v_E^2 S_E}{\rho_M v_M^2 S_M} = \frac{g_E}{g_M}$$

Wenn wir also auf dem Mars die Tragfläche vervierfachen, so sehen wir, daß sich wegen der Proportionalität

$$v_M \sim \sqrt{\frac{S_E}{S_M}}$$

die minimale Geschwindigkeit ungefähr halbiert, d.h. $v_M \approx 2,46v_E$. Bei einer Verdoppelung hätten wir $v_M \approx 3,48v_E$. Schließlich käme man mit einer Gewichtsreduktion um die Hälfte und einer gleichzeitigen Tragflächenverdopplung aufgrund der Relation

$$\frac{\rho_E v_E^2 S_E}{\rho_M v_M^2 S_M} = \frac{m_E g_E}{m_M g_M}$$

nach entsprechender Umformung sowie aufgrund die Proportionalität

$$v_M \sim \sqrt{\frac{m_M S_E}{m_E S_M}}$$

auf den gleichen Wert wie bei einer Tragflächenvervierfachung ohne Gewichtsreduktion.

Was die Antriebsleistung angeht, so nimmt unter sonst gleichen Bedingungen auf dem Mars der Gesamtwiderstand wegen der geringeren Dichte gemäß folgender Relation ab:

$$F_W = \frac{1}{2} c_W \rho v^2 S,$$

wobei c_W der Widerstandsbeiwert ist. Bei gleicher Vortriebskraft wie auf der Erde gilt auf dem Mars die Bedingung

$$\frac{1}{2} c_W \rho_E v_E^2 S = \frac{1}{2} c_W \rho_M v_M^2 S,$$

so daß dort wegen des geringeren Luftwiderstands viel schneller geflogen werden kann, und zwar bei gleicher Tragfläche im Verhältnis

$$\frac{v_M}{v_E} = \sqrt{\frac{\rho_E}{\rho_M}} = \sqrt{\frac{1,29}{0,02}} \approx 8$$

Physikaufgabe 41

mal schneller. Selbst bei einer Vervierfachung der Tragfläche kann bei gleicher Motorleistung¹ immer noch

$$\frac{v_M}{v_E} = \sqrt{\frac{\rho_E S_E}{\rho_M S_M}} \approx 4$$

mal schneller geflogen werden als auf der Erde. Bei einer Verdoppelung ist es sogar das 5,7fache. Als Triebwerk kommt vorrangig ein Elektromotor in Frage, weil ein reines Beobachtungsflugzeug außer einer Kamera nicht viele Gerätschaften an Bord haben muß.

Literatur

- [1] Wolfgang Brune, EAGLE – STARHELPFE, Physikalische Klimamodelle, Leipzig 2014.

¹ Diese hängt von zusätzlichen Bedingungen ab, auf die hier nicht eingegangen werden kann.