

Praktikumsaufgaben Grundlagen der Raumfahrt

Sebastian Karl, Martin Grabe
DLR

October 21, 2024

1 Raketen-Flugsimulator

1. Schreiben Sie ein Programm zur Lösung der vereinfachten Bewegungsgleichungen für den Aufstieg einer zweistufigen Rakete. Verwenden Sie die Konfiguration aus dem Script (Abschnitt Space Propulsion):

Table 1: Entwurfsdaten der Rakete:

	stage 1	stage 2
structure mass, m_s	20 t	5 t
propellant mass, m_f	200 t	50 t
specific impulse, I_{sp}	3500 m/s	3500 m/s
propellant mass flux, \dot{m}_p	1500 kg/s	150 kg/s
payload mass, m_p		10 t

Zur Abschätzung des Luftwiderstands wird die Luftdichte benötigt. Verwenden Sie ein vereinfachtes exponentielles Atmosphärenmodell:

$$\rho(h) = 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \exp(-1.244268 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1} h) \quad (1)$$

Die effektive Querschnittsfläche soll $A_{ref} = 15 \text{ m}^2$ betragen, der Widerstandsbeiwert ist $C_D = 1$.

Weiterhin soll die Abnahme der Erdanziehungskraft mit der Flughöhe berücksichtigt werden.

Die Zielgrößen sind:

- Kreisorbit mit einer Höhe von ca. 270 km.
- Bahnwinkel auf Zielhöhe ca. 0 grad
- Orbitalgeschwindigkeit

Hinweis: Der Zielorbit kann z.B. mit einem TVC erreicht werden bei dem der Schubvektor zwischen einer Flughöhe von 250 und 3000 m um 3,71 grad ausgelenkt wird.

2. Berechnen Sie die Flugbahn (Geschwindigkeit, Höhe, und Flugbahnwinkel über der Zeit).
3. Wie viel Treibstoff ist beim Erreichen des Orbits übrig ?
4. Wie hoch sind Gravitations- und aerodynamische Verluste (effektive Querschnittsfläche: 15 m^2) und wie hoch ist der gesamte Antriebsbedarf (Δv) ?
5. Verifizieren Sie ihre Lösung für den gesamten Antriebsbedarf mit Hilfe der Ziolkowski-Gleichung.
6. Berechnen Sie die maximal mögliche Oberflächentemperatur der Raketenspitze (Radius = 0.5 m) während des Fluges. Tipp: Die Strahlungsadiabate Wandtemperatur ergibt sich durch Gleichsetzung des einfallenden Wärmestroms (aerothermodynamische Aufheizung, Sutton-Graves) mit der abgestrahlten Wärmeleistung (Stefan-Boltzmann: $q_{rad} = \epsilon \sigma (T_{Wand}^4 - T_{Umgebung}^4)$). Die Oberfläche der Raketenspitze soll einen Emissionskoeffizienten von $\epsilon = 0.8$ haben.
7. Berechnen Sie die optimale Stufung für diese Konfiguration (gleiche Startmasse, gleicher Strukturindex). Wie hoch ist die potentielle Steigerung der Nutzlast ? (Hinweis: durch die Veränderung der Stufenmassen ändern sich Flugbahn und Verluste. Sie müssen also die Aufstiegsbahn erneut berechnen und dabei das TVC für das ungefähre Erreichen des Zielorbits anpassen. Die Nutzlaststeigerung kann durch die Differenz des verbleibenden Treibstoffes in der 2. Stufe zum ersten Fall abgeschätzt werden. Eine Iteration ist ausreichend, d.h. mit dem neuen Wert des verbleibenden Treibstoffes und damit der Restmasse der 2. Stufe soll nicht noch eine erneute Stufenoptimierung vorgenommen werden).