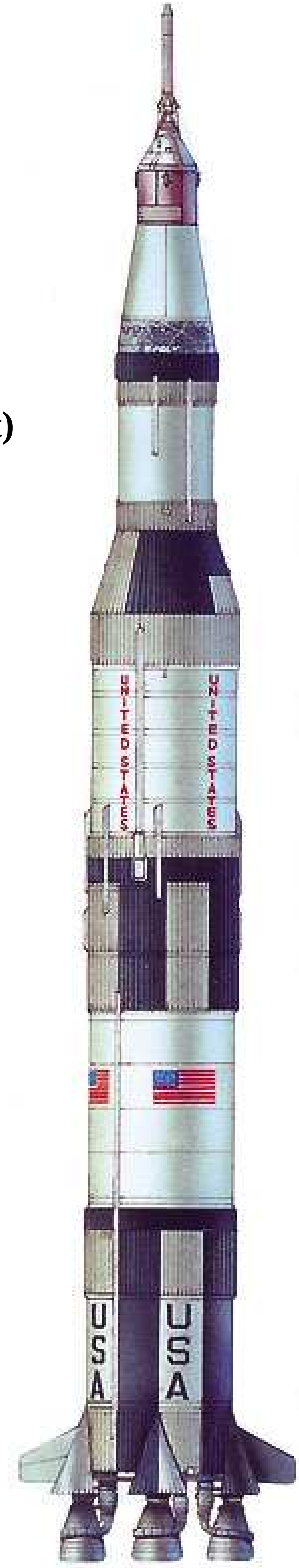
Saturn V



Daten

Höhe:	85,7 m	(ohne Nutzteil)
Durchmesser:	13m	(18m mit Stabilisierung)
Startmasse:	2 712 t	(ohne Nutzlast)
Treibstoffmasse:	2526 t	
Nutzlast:	120 t	(für 500km-Bahn)
	50 t	(für Fluchtgeschwindigkeit)

3 Stufen:

1. Stufe
5 gebündelte F-1-Raketentriebwerke
Höhe 42m, Durchmesser 10m, 135 t leer
Treibstoff: 2000 t
(Flüssigsauerstoff, Kerosin RP-1)
Treibstoffverbrauch: pro Sekunde 13,5 t
Schubkraft: 35 000 kN

2. Stufe
5 gebündelte J-2-Raketentriebwerke
Höhe 25m, Durchmesser 10m
36 t leer, 422 t Brennstoff, 400s Brenndauer
Schubkraft: 4 650 kN

3. Stufe
Höhe 12,5m, Durchmesser 5,6m
6,1 t leer, 45,36 t Brennstoff

Aufgabe:

1. **Mit welcher Beschleunigung startet die Saturn V ? Welche Beschleunigung hat die Saturn V kurz vor dem Ausbrennen der 1. Stufe?**
2. **Schätzen Sie ab, welche Geschwindigkeit die Saturn V kurz vor dem Ausbrennen der 1. Stufe hat! Welche Höhe erreicht die Saturn V dabei etwa? (vgl.: 3,7 km/s und 60 km)**
3. **Welche Beschleunigungen treten zu Beginn und am Ende des Brennens der 2. Stufe auf?**

Lösungen zur Aufgabe „Saturn V“

1. Beim Start gilt:

$$\textit{Gewichtskraft} \;\; F_G = m \cdot g \approx 2750t \cdot 10 \frac{N}{kg} = 27{,}5 \cdot 10^6 \, N$$

$$\textit{Beschleunigende Kraft} \;\; F_b = F_{Schub} - F_G = 35 \cdot 10^6 \, N - 27{,}5 \cdot 10^6 \, N = 7{,}5 \cdot 10^6 \, N$$

$$\textit{Beschleunigung} \;\; a = \frac{F_b}{m} = \frac{7{,}5 \cdot 10^6 \, N}{2{,}75 \cdot 10^6 \, kg} = 2{,}7 \frac{m}{s^2}$$

Kurz vor dem Ausbrennen der 1. Stufe gilt:

$$\textit{Gewichtskraft} \;\; F_G = m \cdot g \approx 750t \cdot 10 \frac{N}{kg} = 7{,}5 \cdot 10^6 \, N$$

$$\textit{Beschleunigende Kraft} \;\; F_b = F_{Schub} - F_G = 35 \cdot 10^6 \, N - 7{,}5 \cdot 10^6 \, N = 27{,}5 \cdot 10^6 \, N$$

$$\textit{Beschleunigung} \;\; a = \frac{F_b}{m} = \frac{27{,}5 \cdot 10^6 \, N}{7{,}5 \cdot 10^6 \, kg} = 37 \frac{m}{s^2}$$

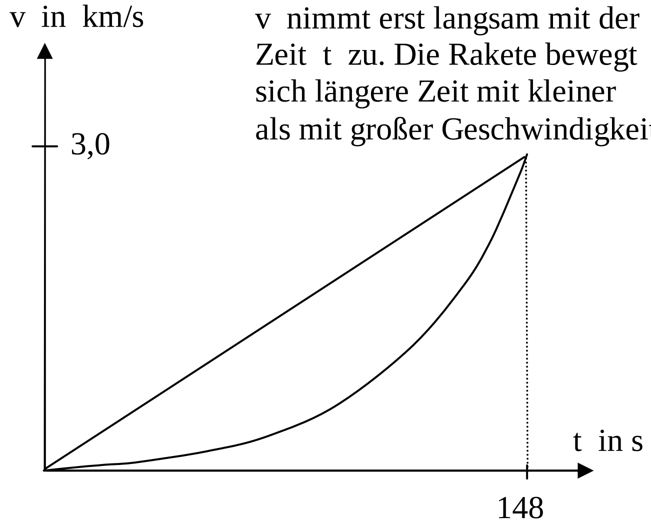
2. Die Beschleunigung nimmt von $2{,}7 \frac{m}{s^2}$ auf ca. $37 \frac{m}{s^2}$ zu.

Wir rechnen mit einer mittleren Beschleunigung $\bar{a}$ von $(2{,}7 \frac{m}{s^2} + 37 \frac{m}{s^2}):2 \approx 20 \frac{m}{s^2}$.

$$v \approx \bar{a} \cdot \Delta t = 20 \frac{m}{s^2} \cdot \frac{2000\,t}{13{,}5 \frac{t}{s}} = 20 \frac{m}{s^2} \cdot 148\,s \approx 3{,}0 \frac{km}{s}$$

Das (vermutete) t-v-Diagramm zeigt, dass die Berechnung der Flughöhe h mit der Formel $h = \frac{1}{2} \cdot \bar{a} \cdot (\Delta t)^2$ einen zu großen Wert liefern wird.

Deshalb ist eine Abschätzung der Art $h = \frac{1}{2} \cdot \bar{a} \cdot (\Delta t)^2 \cdot p$ mit $0 < p < 1$ sinnvoll.



v nimmt erst langsam mit der Zeit t zu. Die Rakete bewegt sich längere Zeit mit kleiner als mit großer Geschwindigkeit.

$$h = \frac{1}{2} \cdot \bar{a} \cdot (\Delta t)^2 \cdot p = \frac{1}{2} \cdot 20 \frac{m}{s^2} \cdot (148\,s)^2 \cdot p \approx 220\,km \cdot p \quad \text{(also } p \approx \frac{1}{4}\text{)}.$$

3. Gesamtmasse zu Beginn: 36t + 422t + 6,1t + 45,36t + 50t ≈ 560t (mit 50 t Nutzlast)

$$F_b = 4{,}65 \cdot 10^6 N - 560 \cdot 10 \cdot 10^3 N = -0{,}95 \cdot 10^6 N < 0 \quad und \quad a = \frac{-0{,}95 \cdot 10^6 N}{560 \cdot 10^3 kg} \approx -1{,}7 \frac{m}{s^2}$$

(Astronauten spüren nur ca. 20% ihres Gewichtes!)

Am Ende: Gesamtmasse = 560t – 422t = 138 t

$$F_b = 4{,}65 \cdot 10^6 N - 138 \cdot 10 \cdot 10^3 N = 3{,}27 \cdot 10^6 N \quad und \quad a = \frac{3{,}27 \cdot 10^6 N}{138 \cdot 10^3 kg} \approx 24 \frac{m}{s^2}$$