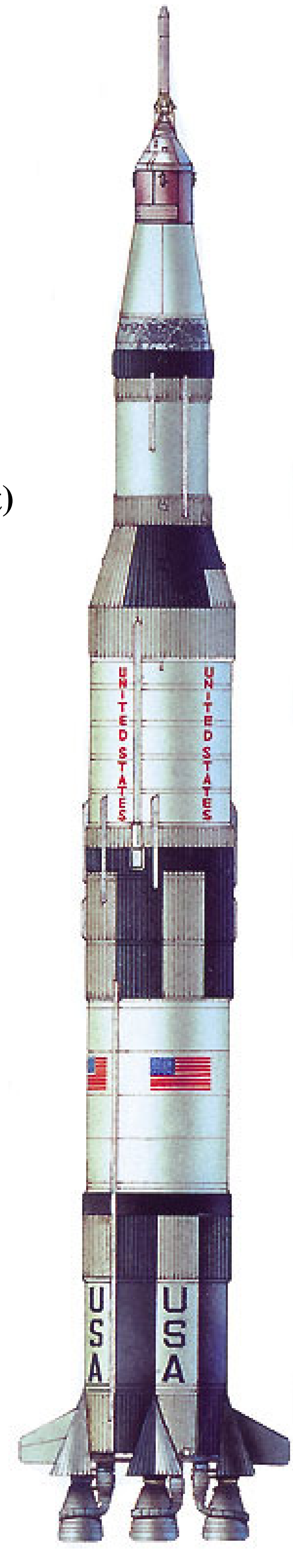
Physik * Jahrgangsstufe 10 * Raketenphysik

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

Aufgaben:

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. Bestimmen Sie mit Hilfe von Excel (Methode der kleinen Schritte), wie groß die Beschleunigung, die Geschwindigkeit und die erreichte Höhe der Saturn V kurz vor dem Ausbrennen der 1. Stufe sind.

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:

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

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

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

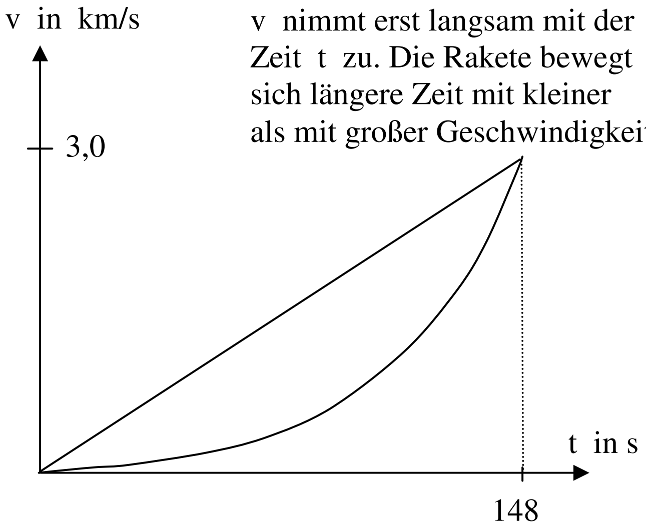
2. Die Beschleunigung nimmt von $2{,}7\frac{m}{s^2}$ auf ca. $37\frac{m}{s^2}$ zu.

   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.

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