

## Anwendung der Raketengleichung

### Einführung (für die SchülerInnen)

Um sich fortzubewegen, stößt die Rakete heiße Gase mit hoher Geschwindigkeit aus und verliert dadurch Masse. Dies bewirkt eine Erhöhung der Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeit, die die Rakete dabei erreicht, lässt sich mittels der **Raketengleichung** berechnen:

$$v_{End} = v_g \ln \frac{m_0}{m_{End}} + v_0 \quad (0.8)$$

$v_{End}$  ist die Geschwindigkeit, die die Rakete hat, nachdem all ihr Treibstoff in dem Treibstofftank verbraucht ist.  $v_g$  ist die Geschwindigkeit, mit der das Gas ausgestoßen wird. Der Schub des ausströmenden Gases gibt der Rakete einen Impuls und die Rakete wird beschleunigt. Die Massen  $m_0$  und  $m_{End}$  sind die Massen der Raketen vor bzw. nach dem Zünden des Treibstoffs.  $m_{End}$  ist also die Masse der Rakete alleine ohne den Treibstoff.  $v_0$  ist die Anfangsgeschwindigkeit der Rakete vor dem Zünden des Treibstoffs. Vor dem Start hat die Rakete die Anfangsgeschwindigkeit  $v_0 = 0$ .

Die obige Raketengleichung gilt aus der **Impulserhaltung** hervor. Der Impuls eines Systems, zum Beispiel einer Rakete, ist definiert als Masse mal Geschwindigkeit. Die Formel lautet:

$$p = m \cdot v \quad (0.9)$$

mit  $m$  als Masse des Körpers (zum Beispiel Rakete) und  $v$  der Geschwindigkeit des Körpers.

Vor dem Start ist die Rakete mit ihrem Treibstoff gefüllt und bewegt sich nicht. Sie ist in Ruhe. In diesem ruhenden Zustand sagt man, die Rakete mit ihrem Treibstoff haben keinen Impuls in unserem Bezugssystem, also ist der Gesamtimpuls  $p_{Ges}$  am Start:

$$p_{Ges} = p_{Rakete} + p_{Treibstoff} = 0. \quad (0.10)$$

Wird der Treibstoff dann gezündet, strömt am unteren Ende der Rakete Gas aus dem Treibstofftank. Er hat also einen nach unten gerichteten Impuls  $p_{Treibstoff}$ . Dadurch wird an die Rakete ein Impuls  $p_{Rakete}$  gegeben, sodass diese sich nach oben bewegt und von der Erde abhebt.

Werden nach und nach mehr Triebwerke gezündet, vergrößert sich die Geschwindigkeit weiter.

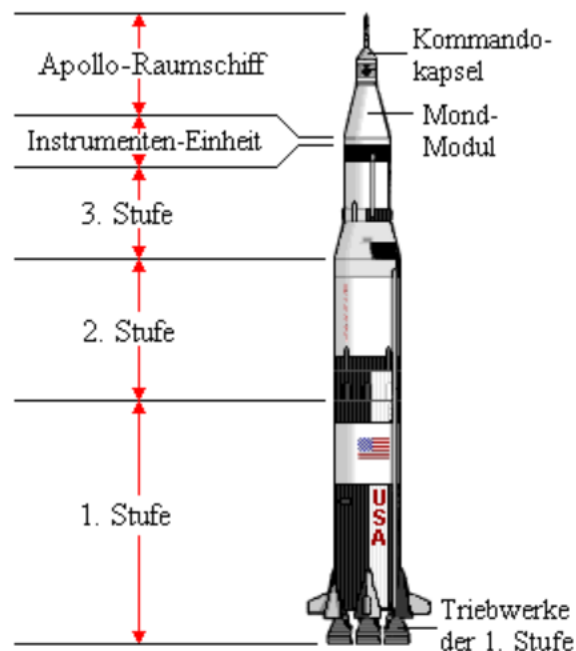
## Anwendung der Raketengleichung

### Aufgaben

#### Aufgabe 1: Geschwindigkeit einer Rakete „Modell P“

Auf unserer Startrampe steht die Rakete des Modells P (Prototyp), die 2.940.000 kg schwer ist (inklusive Treibstoff). Sie ist ausgestattet mit einem Tank, der mit 2.700.000 kg Treibstoff gefüllt ist. Bei der Zündung fließt das Gas mit  $2600 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  aus dem Tank. Sobald der Treibstoff einmal gezündet wird, brennt der Tank komplett leer und nur noch die Masse der restlichen Rakete bleibt übrig.

Berechne die Geschwindigkeit, mit der die Rakete „Modell P“ fliegt, wenn der Treibstoff verbraucht ist! Gebe das Ergebnis in  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$  und  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$  an. Hilfreiche Formeln und Informationen findest du auch in der Einleitung.



Aufbau einer Rakete (Apollo-Rakete). (Quelle: LEIFIphysik, Mondlandung Apollo 11)

#### Aufgabe 2: Vergleich mit der Rakete "Saturn 5"

Die „Saturn 5“ ist das Raketenmodell, dass für die Flüge zum Mond konstruiert wurde. Sie hat ein Startgewicht von 2.940.000 kg. Saturn 5 ist eine 3-Stufen-Rakete. Das bedeutet, dass sie ihren Treibstoff in 3 Tanks lagert, die nacheinander gezündet werden

*können. Aus jedem Tank fließt der Treibstoff mit einer Geschwindigkeit von  $2600 \frac{m}{s}$ . Die Endgeschwindigkeit der "Saturn 5" beträgt dann  $8684 \frac{m}{s}$ .*

Du kannst dich mit einem Partner oder in einer Gruppe austauschen.

Vergleicht nun die Endgeschwindigkeiten der Raketen des "Modells P" und der Rakete "Saturn 5". Was fällt euch auf?

Was könnte die unterschiedlichen Geschwindigkeiten hervorrufen? Schaut euch dazu zum Beispiel die Raketengleichung (siehe Einführung) an.



Start einer Saturn V-Rakete. (Quelle: Focus.de, Roger Förstner, 15.02.2015)