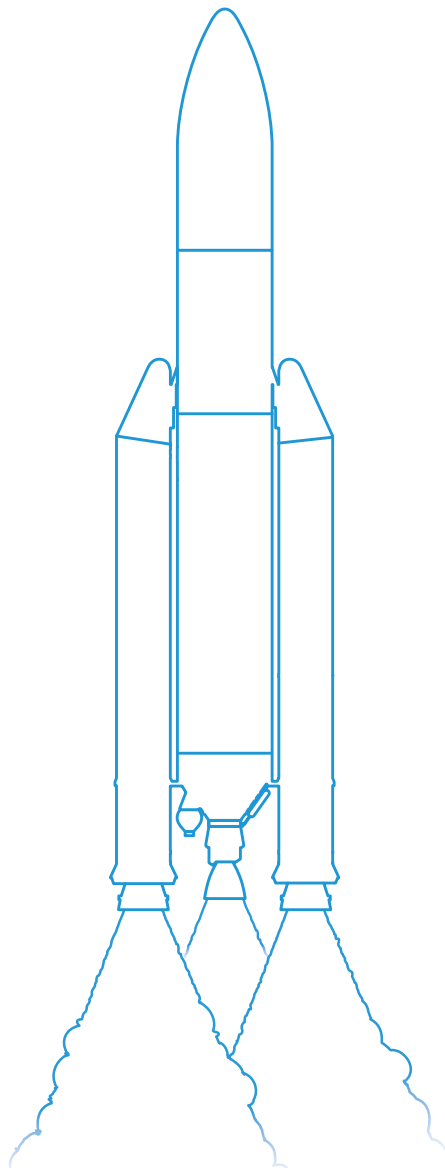


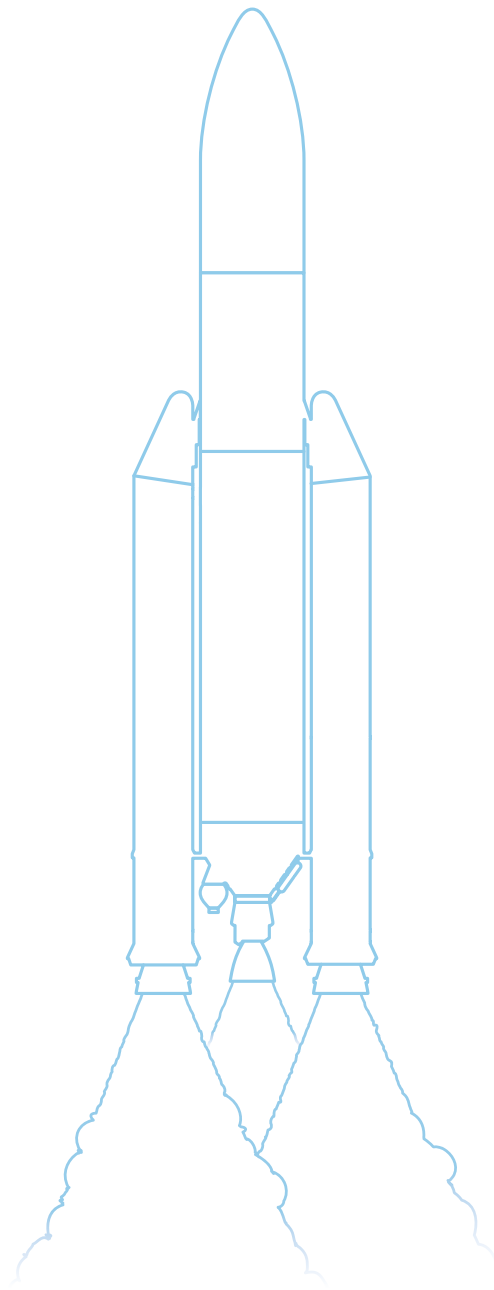
physics | P01b

# teach with space

## → DIE FLASCHE MIT DEM ZISCH

Anwendung Newton'scher Gesetze auf Raketen





Hintergrund

Seite 3

Aufgabe 1: Den Brennstoff zum Brennen bringen! Seite 5

Aufgabe 2: Anwendung des Zweiten  
Newton'schen Gesetzes auf Raketen

Seite 8

## → HINTERGRUND

Das Verständnis von Kräften ist von grundlegender Bedeutung für die Einschätzung der Frage, wie und weshalb sich Materie im Universum bewegt. Die Auswirkungen von Kräften lassen sich durch die Newton'schen Gesetze beschreiben.

### Erstes Newton'sches Gesetz

*Wenn auf ein Objekt keine Gesamtkraft einwirkt, verharrt das Objekt entweder im Ruhezustand oder setzt sich mit einer konstanten Geschwindigkeit fort (d.h. es bewegt sich in einer geraden Linie mit konstanter Geschwindigkeit). Zur Änderung der Geschwindigkeit oder Richtung eines Objekts sind Kräfte erforderlich.*

Ein Gleichgewicht entsteht, wenn die Gesamtkraft auf ein Objekt Null beträgt. Beschleunigt ein Objekt (d.h. ändert seine Bewegungsrichtung oder seine Geschwindigkeit - oder beides), dann muss eine Gesamtkraft auf das Objekt einwirken.

### Zweites Newton'sches Gesetz

*Die auf ein Objekt einwirkende Gesamtkraft ist proportional zu der Rate, mit der sich dessen Impuls zeitlich ändert:  $F=ma$ , wobei  $F$  in Newton gemessen wird.*

Das Zweite Newton'sche Gesetz befasst sich mit der Frage, wie eine Gesamtkraft die Bewegung eines Objekts ändert.

### Drittes Newton'sches Gesetz

*Übt ein Körper A eine Kraft auf einen Körper B aus, dann übt durch diesen Prozess der Körper B eine gleich große und entgegengerichtete Kraft zurück auf den Körper A aus.*

Dies wird oft beschrieben als: „Jede Aktion hat eine gleich große und entgegengerichtete Reaktion“. Kräfte treten paarweise auf, und kein Objekt kann isoliert eine Kraft auf sich selbst ausüben.

Bei dieser Aufgabe werden die Newton'schen Gesetze auf die Raketentechnik angewandt:

- **Erstes und Zweites Newton'sches Gesetz:** Die Gesamtkraft auf die Rakete (Schubkraft minus Gesamtbetrag aller in Gegenrichtung wirkenden Kräfte) verursacht eine Beschleunigung, die sich durch die Anwendung des Zweiten Newton'sches Gesetzes „ $F=ma$ “ und die Einsetzung der Raketenmasse berechnen lässt. Beim Zünden des Triebwerks der Raketenstufe nimmt die Raketenmasse in dem Maße ab, in dem die Produkte der chemischen Reaktion aus dem Triebwerk ausgestoßen werden. Dies bedeutet, dass für eine bestimmte Phase die für eine gegebene Schubkraft erzeugte Beschleunigung mit der Zeit zunimmt.
- **Drittes Newton'sches Gesetz:** Stößt ein Raketentriebwerk Abgase in eine Richtung aus, dann üben die austretenden Gase eine gleich große und entgegengerichtete Kraft zurück auf die Rakete aus. Dies wird als die vom Triebwerk erzeugte Reaktions- oder Schubkraft bezeichnet. Die Reaktion trägt die Rakete empor und vom Boden weg.

Eine realistischere Darstellung dieses Konzepts lässt sich durch die Anwendung der Vollversion des Zweiten Newton'schen Gesetzes untersuchen – Kraft ist proportional zur Rate der zeitlichen Impulsänderung. In Verbindung mit dem Dritten Newton'schen Gesetz zeigt dies an, dass sich größere Schubkraft erreichen lässt durch:

- a. Zunahme der Masse der ausgestoßenen Abgase je Sekunde;
- b. Zunahme der Abgasgeschwindigkeit;
- c. Verringerung der Zeit, in der dies passiert.



↑ Zum Starten einer Rakete in den Weltraum bedarf es ausreichender Schubkraft. Dies ist das Video zur Demonstration in der Klasse zu der Flasche mit dem Zisch, das ihr auf der Website von ESA Education (ESA-Bildungsbüro) findet.

## → AUFGABE 1: DEN BRENNSTOFF ZUM BRENNEN BRINGEN

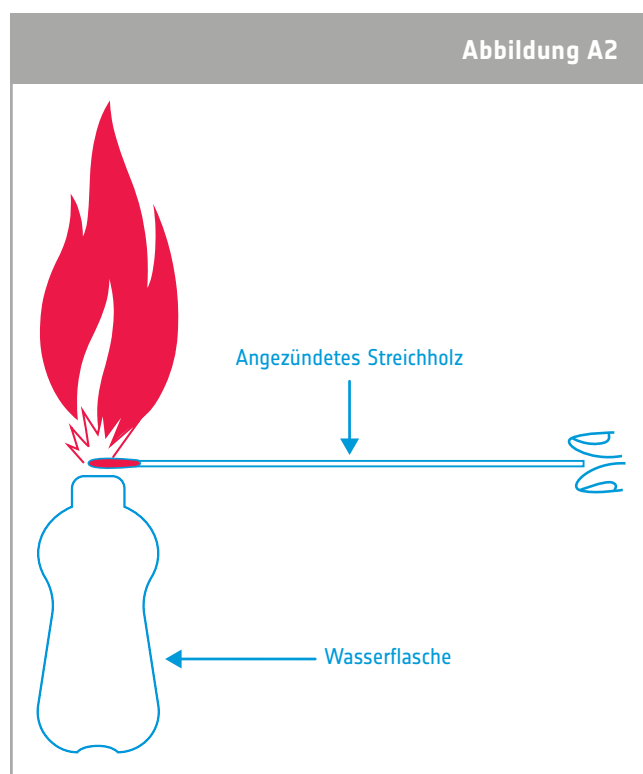
Raketen werden seit Hunderten von Jahren genutzt. Die ersten Raketen wurden in China für Feuerwerke vor fast 1000 Jahren benutzt. Heutzutage haben Raketen viele andere Anwendungen, einschließlich der Beförderung von Astronauten auf die Internationale Raumstation, zur Aussendung von Sonden in den Weltraum zur Erkundung des Sonnensystems, und zum Starten von Satelliten in eine Umlaufbahn um die Erde. Bei dieser Aufgabe wird ein Gemisch aus Luft und Alkohol in einer Plastikflasche gezündet und damit simuliert, was während der Zündung von Treibstoff bei einem Raketenstart passiert. Ihr erlebt eine rasch ablaufende Reaktion, die von einem dramatischen „Zisch“-Geräusch und Flammen begleitet wird, wodurch die bei Verbrennungsreaktionen freigesetzte hohe Menge an Energie demonstriert wird.

### Versuchsmaterial

- 1 Kleine Plastikflasche mit Verschluss, beispielsweise eine leere 500-ml-Wasserflasche
- 1 ml Spiritus / Ethanol (oder ein anderer gewählter Brennstoff)
- Schutzbrillen
- 1 Hitzebeständige Matte
- Lange Streichhölzer (nur vom Lehrer zu verwenden)

### Sicherheit und Gesundheitsschutz

- Ethanol (und gegebenenfalls anderer Alkohol) ist leicht entzündlich. Benutzt ihn nicht in der Nähe von offenem Feuer.
- Achtet darauf, dass entzündliche Chemikalien einschließlich aller Alkohole in Behältern mit Verschlussstopfen aufbewahrt werden, wenn sie nicht gebraucht werden.
- Die Schutzbrillen müssen jederzeit getragen werden.
- Prüft, dass die Flaschen nicht beschädigt sind. Bei Vorhandensein von Rissen benutzt eine andere Flasche.
- Beugt euch nicht über den oberen Teil der Flasche.
- Haltet die allgemeinen Maßnahmen zur Sicherheitskontrolle in dem Labor ein.



↑ Versuchsanordnung

## Übung

1. Setzt die Schutzbrille auf.
2. Entfernt den Verschluss von der Wasserflasche und achtet darauf, dass die Flasche völlig trocken ist.
3. Gießt 1 ml Brennstoff in die Flasche.
4. Befestigt den Verschluss wieder auf der Flasche und schüttelt sie gut.
5. Bleibt am Boden Brennstoff zurück, gießt ihn an einem sicheren Ort aus und befestigt den Verschluss wieder.
6. Stellt die Flasche auf den Tisch auf eine hitzebeständige Matte und wartet auf euren Lehrer. Haltet euren Tisch stets sauber.
7. Wenn der Lehrer anwesend ist, entfernt den Verschluss, tretet zurück, und beobachtet, wie euer Lehrer ein angezündetes Streichholz an die Flaschenöffnung hält.
8. Beobachtet, was passiert. Beobachtet auch, was passiert, wenn die Flaschen der anderen Schüler angezündet werden.

## Diskussion

1. Erläutert, weshalb die Flasche nach der Hinzufügung des Alkohols geschüttelt werden sollte.

---

---

2. Die Reaktion wurde von einem Zisch-Geräusch begleitet. Erläutert, woher dieses Geräusch stammte.

---

---

3. Ermittelt unter Berücksichtigung des Dritten Newton'schen Gesetzes die Kräfte, die während der Verbrennungsreaktion auf die Flasche einwirken.

---

---

4. Zeichnet ein Kräfte diagramm mit den Kräften, die während der Verbrennungsreaktion auf die Flasche einwirken.

5. Zeichnet ein Kräfte-diagramm mit den Kräften, die während des Starts auf eine Rakete einwirken, unmittelbar nachdem sie den Boden verlassen hat. Lasst dabei den Luftwiderstand unberücksichtigt.

6. Beschreibt die Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen den beiden Diagrammen, die ihr gezeichnet habt.

---



---



---

7. Erläutert die Effekte der Kräfte bei den beiden Beispielen (Flasche mit dem Zisch und Rakete).

---



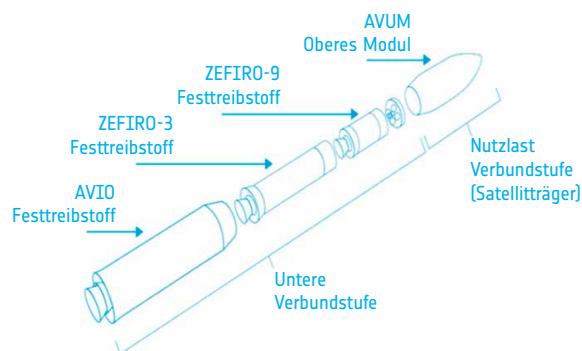
---



---

### Schon gewusst?

Die Schubkraft einer Rakete beschleunigt deren gesamte Masse (Nutzlast, Treibstoff, Oxidator und Raketenstruktur). Um den Betrag an zusätzlicher Masse, die für den gesamten Flug mitgeführt wird, zu verringern und somit die Beschleunigung zu erhöhen, bestehen Raketen oft aus mehreren Stufen. Typischerweise fallen zwei oder mehr Stufen von dem Raumfahrzeug ab (wodurch sich die Masse beträchtlich verringert), sobald sie ihren Brennschluss erreicht haben. Im Diagramm rechts ist Vega, die kleine Trägerrakete der ESA, abgebildet. Vega hat drei Feststoff-Raketenstufen und eine mit flüssigem Treibstoff betriebene obere Stufe zur Steuerung der Rakete in ihrer Umlaufbahn.



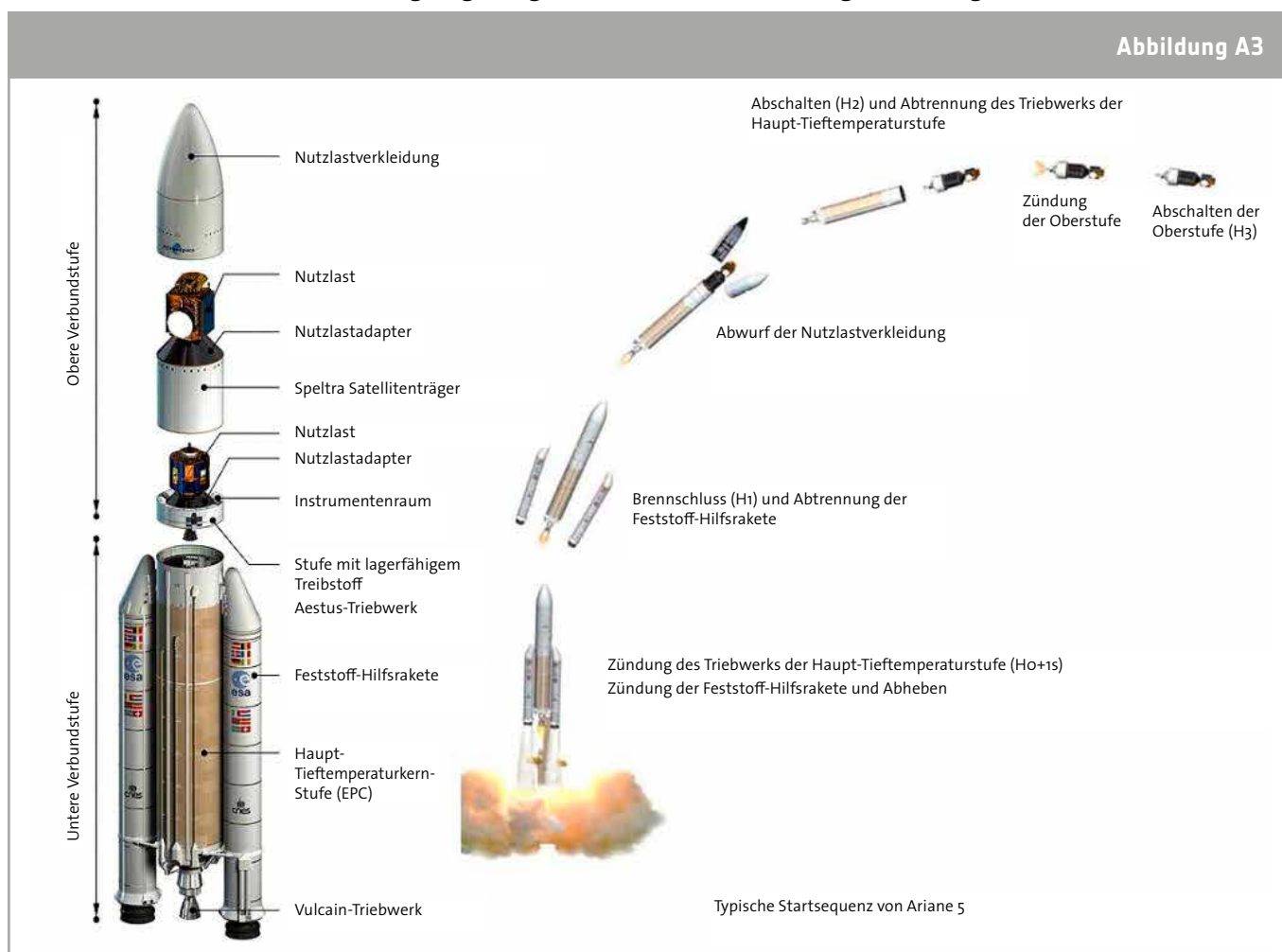
# → AUFGABE 2: ANWENDUNG DES ZWEITEN NEWTON'SCHEN GESETZES AUF RAKETEN

Zum Starten einer Rakete in den Weltraum bedarf es einer ausreichenden Schubkraft, um der Schwerkraft entgegenzuwirken. Bei dieser Aufgabe werdet ihr zum ESA-Raketenwissenschaftler oder ingenieur. Ihr wendet das Zweite Newton'sche Gesetz auf Raketen an, um die Treibstoffmenge zu berechnen, die eine Rakete benötigt, um die erforderliche Schubkraft an den Start zu bringen.

## Übung

1. Eine Ariane 5-ECA-Rakete befindet sich auf der Startplattform in Kourou, Französisch-Guyana. Der untere Abschnitt der Ariane 5 ECA besteht aus der Haupt-Tieftemperaturkern-Stufe (EPC) und den beiden Feststoff-Hilfsraketen (EAP) (siehe Abbildung A3). Die von deren Triebwerken erzeugte Schubkraft beträgt 960 kN von der Haupt-Tieftemperaturstufe EPC und 6450 kN von jeder der beiden daran befestigten Feststoff-Hilfsraketen. Die Gesamtmasse der Rakete auf der Startplattform beträgt 777 t.

Nehmt für die Beschleunigung aufgrund der Schwerkraft ( $g$ )  $9,8 \text{ N/kg}$  bzw.  $9,8 \text{ m/s}^2$  an.



↑ Typische Startsequenz einer Ariane-5-Rakete.

- a. Berechnet die Gesamtkraft auf die Rakete und deren Anfangsbeschleunigung. Es kann hilfreich sein, ein Kräfte diagramm zu zeichnen. Lasst dabei den Luftwiderstand unberücksichtigt.

**Berechnung:**



b. Berechnet die Beschleunigung der Rakete beim Start.

**Berechnung:**

2. Nehmt an, dass die Rakete in den ersten zwanzig Sekunden senkrecht aufsteigt. Jede EAP-Hilfsrakete verbraucht 1,8 t Treibstoff je Sekunde, und die EPC-Hauptstufe verbraucht 0,3 t Treibstoff je Sekunde. Lasst dabei den Luftwiderstand unberücksichtigt.

a. Berechnet die Masse der Rakete nach 20 Sekunden und berechnet somit deren Beschleunigung zu diesem Zeitpunkt.

**Berechnung:**

b. In Wirklichkeit wäre die Beschleunigung der Rakete zu diesem Zeitpunkt anders als die Beschleunigung, die ihr berechnet habt. Ist der tatsächliche Wert eurer Meinung nach höher oder niedriger? Erläutert eure Antwort. Ein neues Kräfte diagramm kann euch dabei helfen.

---



---



---



---



---

3. Im Ariane-5-Benutzerhandbuch sind zwei Zahlen für die Schubkraft der EPC-Hauptstufe (die neun Minuten dauert) angegeben:

- 960 kN auf Meereshöhe
- 1390 kN im Vakuum

Erläutert, weshalb diese Zahlen unterschiedlich ausfallen.

---



---



---

teach with space – Die Flasche mit dem Zisch | P01b  
[www.esa.int/education](http://www.esa.int/education)

Das ESA Education Office (ESA-Bildungsbüro) freut sich über Rückmeldungen und  
Kommentare  
[teachers@esa.int](mailto:teachers@esa.int)

Konzeptentwicklung für die ESA durch die National Space Academy (NSA, Verei-  
nigtes Königreich)

Eine Produktion von ESA Education (ESA-Bildungsbüro)  
Copyright 2017 © European Space Agency