

Fragen zum Nachdenken

Welche Bedeutung hat die Raumfahrt für unsere Umwelt und Industrie?

Wie heißt die europäische Trägerrakete?

Welche Tiere bewegen sich mit dem Rückstoßprinzip fort?

Wie wird in einer Rakete der Rückstoß erzeugt?

Wer hat als erster die Raketengleichung aufgestellt?

Glossar

Apogäum

ist der am weitesten von der Erde entfernte Punkt der Umlaufbahn eines Satelliten oder einer Rakete. Beim Flug einer Wasserrakete entspricht das Apogäum dem oberen Umkehrpunkt.

Axiom

ist in der Physik ein unumstößliches Grundgesetz, dem keine weiteren Ursachen zugrunde liegen.

Brennschluss

benennt den Zeitpunkt, an dem der ganze Treibstoff verbrannt und von der Rakete ausgestoßen wurde.

Differentialgleichungen

sind mathematische Gleichungen zur Beschreibung räumlicher, zeitlicher oder raum-zeitlicher Veränderungen. Sie enthalten eine oder mehrere Ableitungen einer unbekannt Funktion. Durch die Integration der Differentialgleichung wird diese unbekannt Funktion bestimmt.

Impuls p

ist das Produkt aus der Masse m eines Körpers und seiner Geschwindigkeit v : $p = m \cdot v$ und wird umgangssprachlich auch als Wucht bezeichnet.

Schwerpunkt

Im Schwerpunkt kann man sich die gesamte Masse eines Körpers vereint denken. Das heißt, die Gravitation, welche auf alle Massenteilchen eines Körpers wirkt, kann durch eine einzige Kraft dargestellt werden, welche im Schwerpunkt angreift.

s-t; v-t; a-t-Diagramm

sind grafische Darstellungen des Weges „s“, der Geschwindigkeit „v“ und der Beschleunigung „a“ über der Zeitachse.

Triangulation

bezeichnet ein geometrisches Verfahren, um den Abstand zu einem Punkt zu finden, indem eine Seite eines Dreiecks berechnet wird unter Kenntnis zweier Winkel und der Länge der von diesen eingeschlossenen Seite.

Ziolkowskische Raketengleichung

eine Differentialgleichung, welche die zeitliche Änderung der Raketengeschwindigkeit, also die Beschleunigung der Rakete, beschreibt.

Gefördert durch:



Herausgeber:

Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Standort Lampoldshausen

Langer Grund
74239 Hardthausen

Standort Stuttgart

Pfaffenwaldring 38-40
70569 Stuttgart

Text:
DLR_School_Lab
Oberpfaffenhofen/Stuttgart

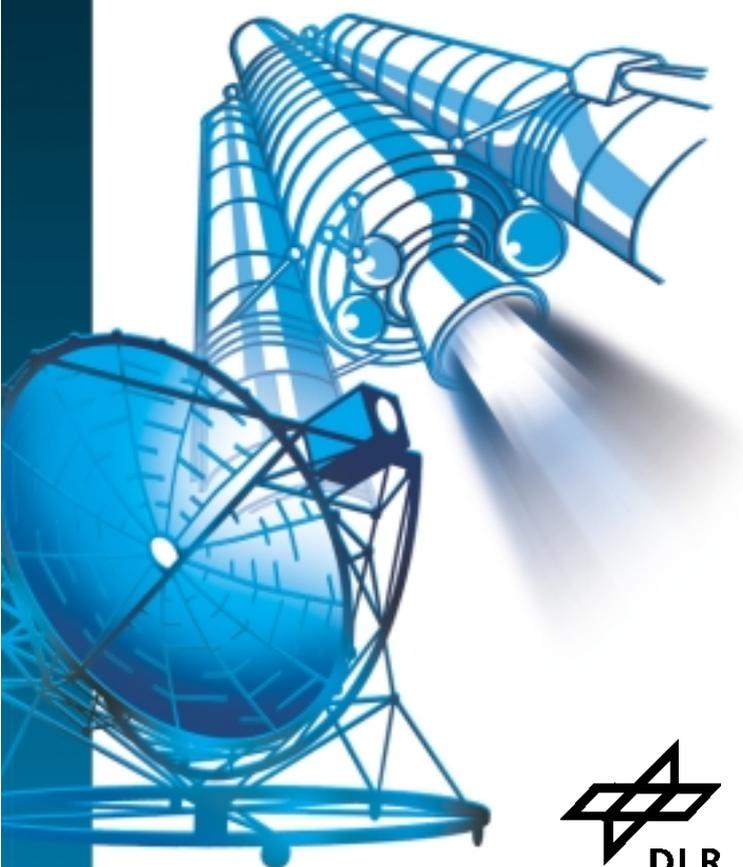
Gestaltung:
ziller design, Mülheim an der Ruhr

Bildnachweis:
DLR

Druck:
Richard Thierbach GmbH,
Mülheim an der Ruhr

DLR_School_Lab

Lampoldshausen/Stuttgart



www.schoollab.dlr.de

Raketenantriebe

Die stärksten Maschinen der Welt

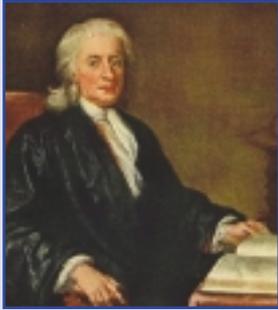


Der Flug in die unendlichen Weiten des Weltalls, das Verlassen unseres Heimatplaneten an welchen die Menschheit seit ihrem Bestehen gefesselt ist, bleibt eines der letzten großen Abenteuer. Die momentan einzige Möglichkeit der Erde zu entschwinden und Menschen, Satelliten oder Sonden ins All zu befördern sind Raketen.

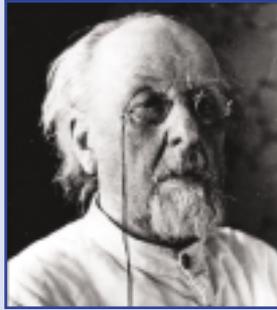
Viele alltägliche Dinge wie Navigationssysteme, Satellitenfernsehen, Wettervorhersagen, satellitengestützte Katastrophenwarnungen oder die Kommunikation mit dem Handy wären ohne die Raumfahrt nicht möglich. Wissenschaftler könnten ohne Raketen keine Untersuchungen unserer Nachbarplaneten oder Langzeitexperimente unter Schwerelosigkeit durchführen, um dadurch neue Erkenntnisse über die Entstehung des Weltraums und unseres Planetensystems oder zur Entwicklung neuer Materialien zu gewinnen. Dies zeigt, wie wichtig die Raumfahrt und somit Raketen für unser heutiges Leben sind.

Raketen gibt es bereits seit dem Mittelalter, aber erst in den letzten 50 Jahren sind sie so leistungsfähig geworden, um Nutzlasten von mehreren Tonnen Gewicht sicher ins All zu befördern.

Doch egal ob Silvesterrakete oder die europäische Trägerrakete Ariane 5 mit einer Leistung von mehreren Millionen PS – alle Raketen arbeiten nach demselben physikalischen Grundprinzip.



Sir Isaac Newton.



K.E. Ziolkowski.

Welches physikalische Prinzip steckt hinter dem Raketenflug?

Raketen bewegen sich nach dem Rückstoßprinzip fort. Dieses beruht auf dem 3. Newtonschen Axiom „actio = reactio“, welches besagt, dass die Änderungen von Geschwindigkeit oder Bewegungsrichtung eines Körpers immer auch eine unmittelbare Veränderung der Geschwindigkeit und/oder Bewegungsrichtung eines zweiten Körpers erfordert. Verbunden mit dem 3. Axiom ist der Impulserhaltungssatz $m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2$, der beinhaltet, dass der Impuls eines Körpers immer konstant ist, sofern von außen keine Kräfte auf ihn einwirken.

Im Fall einer Rakete wird Masse m_g mit einer hohen Geschwindigkeit v_g aus den Triebwerken ausgestoßen (actio). Nach Newton wirkt der ausgestoßene Treibstoff unmittelbar auf die Rakete zurück (reactio). Da das Gas einen Impuls $p_g = m_g \cdot v_g$ in Ausstoßrichtung besitzt, muss die Rakete durch die Rückwirkung ebenfalls einen Impuls $p_R = m_R \cdot v_R$ in die entgegengesetzte Richtung erhalten und es gilt $p_g = -p_R$. Weil eine Rakete zum Antrieb Masse verliert, ist die Raketenmasse m_R und deren Geschwindigkeit v_R nicht konstant, sondern beide ändern sich ständig. Vernachlässigt man die Luftreibung, was im Weltraum zulässig ist, und geht man von einer konstanten Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ aus, kann man aus den Newtonschen Axiomen eine Differentialgleichung ableiten, die die Bewegung einer Rakete beschreibt:

$$\frac{\delta v_R}{\delta t} = \frac{v_g}{m_R} \cdot \frac{\delta m_R}{\delta t} - g$$

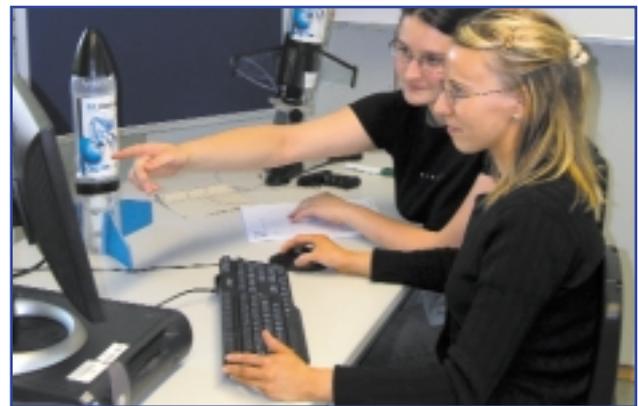
Diese Gleichung wurde im Jahre 1903 vom russischen Raketenpionier K.E. Ziolkowski aufgestellt und gelöst. Mit der Lösung der Raketengleichung $v_R = v_g \cdot \ln(Q) - g \cdot t$ kann die Brennschlussgeschwindigkeit der Rakete bestimmt werden, wobei Q das Verhältnis aus der Startmasse der Rakete und deren Masse nach Verbrauch des gesamten Brennstoffs darstellt.

Die Wasserrakete

Modellierung und Simulation

Ausgehend von den Newtonschen Grundgesetzen leitet ihr im Experiment zum Raketenprinzip die Ziolkowskische Raketengleichung ab.

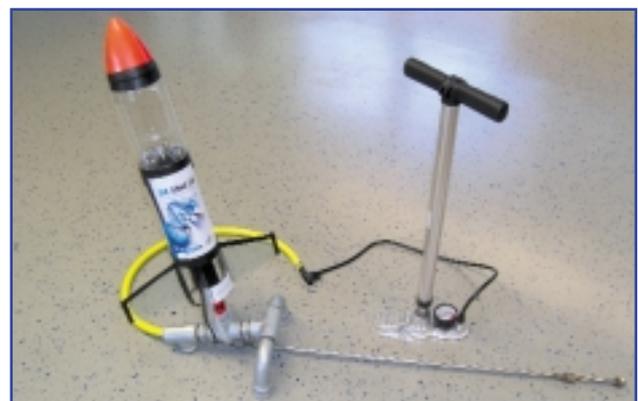
Die Lösung der Raketengleichung berechnet ihr mit einem Computerprogramm. Durch Änderung der Wassermenge und des Drucks in den Berechnungen könnt ihr Vorhersagen über die maximale Steighöhe der Wasserrakete treffen oder die theoretische Flugbahn, den Zeitpunkt des Brennschlusses oder die Geschwindigkeit der Rakete bestimmen.



Berechnung des Raketenflugs

Konfiguration und Start einer Wasserrakete

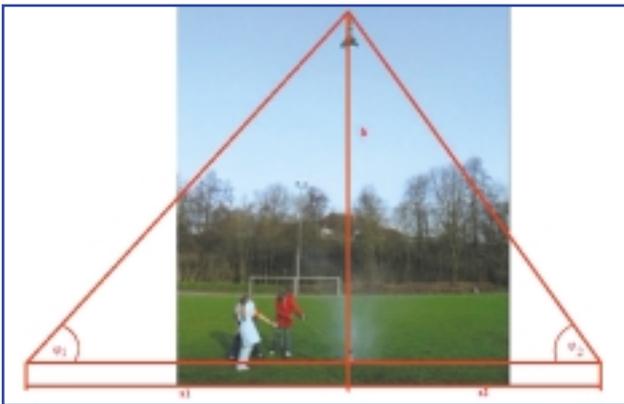
besteht aus handelsüblichen PET-Flaschen mit einer Spitze, die den Fallschirm aufnimmt, und Finnen zur Flugstabilisierung. Die Konfiguration und Betankung der Rakete erfolgen mit den Parametern für Wassermenge und Druck der theoretischen Berechnungen. Sobald die Rakete von euch nach den Vorgaben mit Wasser befüllt und mit Luft bedrückt wurde, startet ihr den „Count-Down“. Bei „Null“ wird die Rakete freigegeben und gestartet.



Berechnung des Raketenflugs die Bauanleitung für die DLR-Wasserrakete und Startrampe kann von der DLR_School_Lab-Homepage heruntergeladen werden.

Messung und Auswertung

Die Steighöhe der Rakete wird mittels Triangulation bestimmt. Hierbei peilt ihr die Rakete beim Flug mit Winkelmessern an und notiert euch den Winkel des Apogaeums der Raketenbahn. Über euren Abstand zur Abschussstelle und den Apogaeumswinkel kann so die Steighöhe der Rakete bestimmt werden.



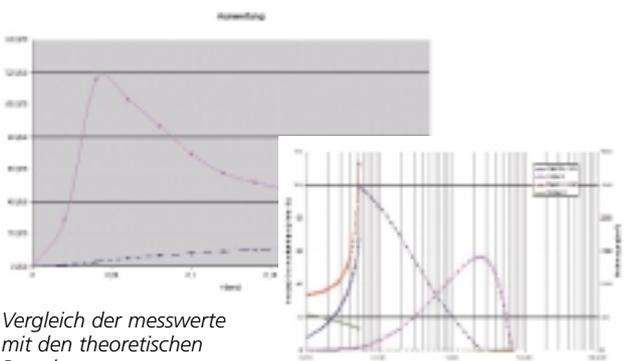
Flughöhenbestimmung durch Triangulation.

Zusätzlich zur geometrischen Bestimmung der Maximalhöhe wird mit einer Kamera die gesamte Flugbahn der Wasserrakete als digitales Video aufgezeichnet. Die Analyse des Films erfolgt in Einzelbildauflösung mittels eines Grafikprogramms.



Bestimmung des Apogaeumswinkels mit dem Altitudo-Calculator oder einem Winkelmesser.

Die Daten der Einzelbildauswertung werden von euch mit einem Tabellenkalkulationsprogramm aufgearbeitet und als s-t-Diagramm, v-t-Diagramm oder a-t-Diagramm dargestellt. Die so gewonnenen Messdaten könnt ihr abschließend mit den Modellrechnungen eurer Simulation vergleichen.



Vergleich der messwerte mit den theoretischen Berechnungen.



Start einer Wasserrakete in drei Phasen fotografiert. Zeitabstand 0,01 Sekunden.