



DLR_School_Lab

Neustrelitz

Der Countdown läuft

Astronauten fliegen ins All, Satelliten umkreisen die Erde, Raumsonden erkunden ferne Himmelskörper. Doch wer solche faszinierenden Raumfahrtprojekte verwirklichen will, muss logischerweise erst einmal überhaupt in den Weltraum gelangen. Und dazu sind viele Dinge nötig – vor allem die stärksten Antriebe der Welt! Die Rede ist von Raketentriebwerken. Das DLR_School_Lab gewährt einen eindrucksvollen Blick hinter die physikalisch-technischen Kulissen der Raketentechnik – keine langweiligen Theorien, sondern nah an der Praxis.

Regelmäßig zu Silvester schauen Millionen Menschen pünktlich um Mitternacht dem Farbenspiel am Himmel zu. Niemand denkt dabei an Raumfahrt, aber eine Silvesterrakete funktioniert ähnlich wie eine große Rakete vom Typ Ariane 5.

Faszinierende Ereignisse – sei es ein Feuerwerk oder ein spektakulärer Raketenstart – ziehen auch heute noch die Begeisterung vieler Menschen auf sich. Doch wie und warum gelangen Raketen überhaupt in die Höhe? Und wo liegen die Anfänge dieser Technik?

Der Countdown läuft



Das Hauptstufentriebwerk der Ariane 5, hier im Prüfstand im DLR-Standort Lampoldshausen, erzeugt einen Schub von mehr als 1.000 kN. Unglaublich, wenn man sich an die Anfänge des Raketenbaus erinnert.



Der Amerikaner Robert Goddard ging als „Vater der Raumfahrt“ in die Geschichte ein

Wie die Idee das Fliegen lernte ...

Bereits 1232 soll es in China erste Versuche mit raketenähnlichen Flugkörpern gegeben haben. Die damaligen Feldherren setzten mit Schwarzpulver getriebene Geschosse in der Schlacht ein. Ziel war jedoch nicht Zerstörung, sondern die Ausnutzung der psychologischen Wirkung: Die gegnerischen Reitertruppen und ihre Pferde sollten durch das laute Knallen und Heulen in die Flucht geschlagen werden.

Im Jahr 1804 entwickelte der Ingenieur und Offizier Sir William Congreve (1772-1828) Brandraketen. Auch sie wurden für militärische Zwecke genutzt. Die Raketen verursachten einen ohrenbetäubenden Lärm. Die britische Armee setzte sie ein, um mit diesen Geschossen die Moral der gegnerischen Soldaten zu untergraben.

Ein Jahrhundert später begann sich die Raketentechnik zu einem eigenen Forschungs- und Entwicklungsbereich zu etablieren:

Der Russe Konstantin Ziolkowski (1857-1935) entwickelte Theorien des Raketenantriebs, der Flüssigkeits- und Mehrstufenrakete, bevor 1926 Robert Goddard (1882-1945) in den USA mit einer eigens konstruierten Flüssigkeitsrakete tatsächlich erfolgreich experimentierte.

In dieser Zeit hatte auch Hermann Oberth (1894-1989) in Deutschland die theoretischen und technischen Grundlagen für die Raketenentwicklung erarbeitet. Mit der Auffassung, dass einzig Flüssigtreibstoff in der Lage sei, genügend Leistung für das Erreichen großer Flughöhen zu erzeugen, prägte er auch wesentlich seinen Schüler Wernher von Braun (1912-1977). Dieser entwickelte bis 1942 für das NS-Regime mit dem sog. „Aggregat 4“ die erste funktionsfähige Großrakete, welche unter dem Namen „V 2“ im Zweiten Weltkrieg unzählige Opfer forderte. Als Konstrukteur dieses ersten vom Menschen geschaffenen Objektes, das in den Weltraum vorstieß, empfingen die Amerikaner von Braun nach dem Zweiten Weltkrieg mit offenen Armen. In den USA leitete er schon 1950 ein Atomraketenprojekt und wurde 1969 nach der erfolgreichen Apollo-11-Mondmission zum stellvertretenden Direktor der NASA ernannt.

Auf Seiten der Sowjetunion arbeitete zur gleichen Zeit Sergej Koroljow (1906-1966) an zukunftsweisender Weltraum-Technologie. Mit Sputnik 1 gelangte am 4. Oktober 1957 der erste künstliche Satellit in eine Erdumlaufbahn und sendete von dort Funksignale zur Erde. Weitere Meilensteine prägten die Entwicklung der Weltraumtechnik: Mit der Hündin Laika startete 1957 das erste Lebewesen in einen Erdorbit, 1961 folgte als erster Mensch Juri Gagarin (1934-1968) und 1965 fand der erste Weltraumspaziergang eines Menschen statt.

1969 waren es dann die Vereinigten Staaten von Amerika, die mit der Saturn-V-Rakete, dem Apollo-11-Raumschiff und dem ersten Menschen auf dem Mond neue Maßstäbe setzten.

Heute liegen die Schwerpunkte der Raumfahrt im ständigen Betrieb der bemannten Internationalen Raumstation ISS, auf der Fernerkundung der Erde mittels Satelliten und auf der Erforschung unseres Sonnensystems sowie des Universums. Naviga-



Die Ariane 5 ist als leistungsstärkste europäische Trägerrakete seit 1996 im Einsatz

tion und Nachrichtenübertragung per Satellit sind weitere wichtige Aufgabengebiete. Viele dieser Projekte werden in internationaler Zusammenarbeit realisiert – auch über die alten Grenzen von Ost und West hinaus. Die Missionen der europäischen Länder werden durch die ESA (European Space Agency) koordiniert.

Ready for take-off – bereit zum Abheben?

Man schnuppert fast ein bisschen an den Weiten des Weltraums, wenn man selbst den Auslöser betätigt und die Wasserrakete sicher abhebt. Einige Sekunden vergehen, der Umkehrpunkt, das Apogäum, ist erreicht und die Rückkehr der „ausgebrannten“ Rakete zum Boden steht kurz bevor.

Bis zu den Großraketen für die Raumfahrt, die für viele von uns heute schon fast selbstverständlich sind, war es ein langer – auch von Rückschlägen und Katastrophen geprägter – Weg.

Wagt selbst das Experiment mit einer Wasserrakete! Dann wird euch klar werden, warum es bis zur modernen Trägerrakete so lange dauerte. Viele Faktoren müssen optimal zueinander passen. Nicht nur die Treibstoffart und der Druck spielen dabei eine wichtige Rolle. So beeinflussen z. B. auch die geometrische Form der Rakete, die Anzahl und Verteilung der Triebwerke, die Art der Triebwerke oder die Größe ihrer Düsenöffnungen das Flugverhalten. Aber auch Witterungseinflüsse und der Startplatz auf der Erde spielen eine entscheidende Rolle.



Startvorbereitung für eine Wasserrakete, wie sie im DLR_School_Lab zum Einsatz kommt

Das DLR betreibt in Lampoldshausen Prüfstände, mit deren Hilfe man Triebwerke entwickelt und testet. Hier werden z. B. am Höhenprüfstand P1.0 Versuche an Kleintriebwerken für Satelliten und Raumsonden im Bereich zwischen 200 und 500 N Schubkraft durchgeführt.

Aber auch die großen europäischen Oberstufentriebwerke Aestus und Vinci und das Hauptstufentriebwerk Vulcain 2 der europäischen Trägerrakete Ariane 5 wurden auf den Prüfständen in Lampoldshausen getestet. Dieses entwickelt einen Schub von 1.300 kN und ist das leistungsstärkste kryogene Triebwerk in Europa. „Kryogen“ heißt übrigens, dass hier flüssiger Wasserstoff und flüssiger Sauerstoff als Treibstoffe eingesetzt werden.



Modellprüfstand für Wasserraketen im DLR_School_Lab

Zurück nach Neustrelitz: Im DLR_School_Lab kann der Einfluss verschiedener Faktoren auf die Schubkraft einer Wasserrakete untersucht werden. Nach ersten Tests solcher Raketen im Freien erfolgt am Modell-Prüfstand im Labor die Optimierung der Startparameter der Rakete. Ziel ist es, sie so zu gestalten, dass im späteren Praxistest eine maximale Flughöhe erreicht wird. Die dazu per Sensor gemessenen Daten werden im Computer gespeichert und ausgewertet. Im Versuch erfolgt für verschiedene Wassermengen und Druckverhältnisse die Aufzeichnung der Schubkräfte in Abhängigkeit von der Zeit. In der computergestützten Auswertung kann die sich daraus ergebende Impulsänderung der Rakete ermittelt werden. Mit Blick auf die maximale Flughöhe gilt es, die Parameter so zu wählen, dass dieser Wert maximal wird.

Weiterhin bekommen die Besucher während des Experiments interessante



Im Höhensimulationsprüfstand P4.1 in Lampoldshausen werden die Vinci-Oberstufentriebwerke unter der Bedingung großer Flughöhen getestet

Antworten auf Fragen, die in enger oder weiterer Beziehung zur Raumfahrt stehen. Z. B.:

Wieso werden Raketen vorzugsweise in Äquatornähe gestartet?

Was sind Booster?

Warum wird bei der Ariane 5 das Hauptstufentriebwerk vor den beiden Boostern gezündet?

Was hat ein Skateboard mit einer Rakete zu tun?

Ausflug in die Theorie:

Jeder Raketenantrieb funktioniert nach dem von Isaac Newton (1643-1727) erkannten Rückstoßprinzip. Dieses besagt, dass sich die Rakete von den ausströmenden Verbrennungsgasen abstößt und umgekehrt. Abgeleitet von diesem Prinzip ist nach dem Impulserhaltungssatz zu jedem Zeitpunkt der Gesamtimpuls p in einem abgeschlossenen System konstant.

$p = m \cdot v$
 m - Masse
 v - Geschwindigkeit

Im Fall der Rakete beträgt er Null, da ihre Geschwindigkeit vor dem Start Null ist. Während des Starts wirken zwei Körper – Rakete und Verbrennungsgase – mit den Massen m_1 und m_2 wechselseitig aufeinander ein. Dabei werden sie in entgegengesetzte Richtungen auf die Geschwindigkeiten v_1 und v_2 beschleunigt. Für den Gesamtimpuls gilt somit:

$p = p_1 + p_2 = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = 0$
 p_1 - Impuls der Rakete
 p_2 - Impuls der Verbrennungsgase

Würde die Verbrennung des gesamten Treibstoffs schlagartig in kürzester Zeit erfolgen, ergibt sich daraus für die Endgeschwindigkeit v_{1ideal} der Rakete die Gleichung:

$$v_{1ideal} = -v_2 \cdot \frac{m_2}{m_1}$$

Diese Endgeschwindigkeit wird durch die Geschwindigkeit v_2 der ausströmenden Verbrennungsgase und durch das Verhältnis aus Masse m_2 der Verbrennungsgase und der Raketenmasse m_1 (ohne Treibstoff) bestimmt. Unter der Bedingung einer vollständigen Verbrennung des Treibstoffs ist die Masse m_2 nach dem – auch für Verbrennungsvorgänge gültigen – Massenerhaltungssatz immer gleich der Masse des verbrauchten Treibstoffs.

Im realen Fall ist die Geschwindigkeit der Rakete immer kleiner. Hauptursache dafür ist die Verbrennung des Treibstoffs über einen längeren Zeitraum (mehrere Minuten). Zur Bestimmung der tatsächlichen Endgeschwindigkeit v_{1real} nach Brennschluss der Triebwerke müssen komplexe physikalisch-mathematische Modelle angewendet werden. Diese liefern vereinfacht:

$$v_{1real} = -v_2 \cdot \ln \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1} \right)$$

\ln - natürlicher Logarithmus

Auch für die Schubkraft F der Rakete kann aus diesen Modellen eine Gleichung abgeleitet werden. Es gilt:

$$F = \frac{m_2}{t} \cdot v_2$$

t - Brenndauer der Triebwerke

Der Quotient aus Treibstoffmasse m_2 und Brenndauer t wird auch als „Durchsatz“ oder „Massestrom“ der Triebwerke bezeichnet.

Ein Beispiel:

Für die erste Stufe einer Ariane 4 ergeben sich unter Verwendung der vorangestellten Gleichungen aus der Raketenmasse (ohne Treibstoff) $m_1 = 69$ t, der Treibstoffmasse $m_2 = 229$ t und der Ausströmgeschwindigkeit der Verbrennungsgase $v_2 = -2,44$ km/s die Werte:

$$\begin{aligned} v_{1ideal} &= 8,10 \text{ km/s} \\ v_{1real} &= 3,57 \text{ km/s} \\ F &= 2710 \text{ kN} \end{aligned}$$

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 16 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 7.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.

Das DLR Neustrelitz

Der DLR-Standort Neustrelitz liegt etwa 100 Kilometer nördlich von Berlin im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern. Hier arbeiten über 70 Wissenschaftler, Ingenieure und Angestellte.

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten am Standort sind den Themenbereichen satellitengestützte Erdbeobachtung, Navigation und Ionosphärenerkundung zugeordnet und gliedern sich in verschiedene Forschungsprogramme ein.



DLR

Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt

DLR_School_Lab Neustrelitz
Kalkhorstweg 53
17235 Neustrelitz

Leitung: Dr. Albrecht Weidermann
Telefon: 03981 237 862
oder 03981 480 220
Telefax: 03981 237 783
E-Mail: schoollab-neustrelitz@dlr.de

www.DLR.de/dlrschoollab