



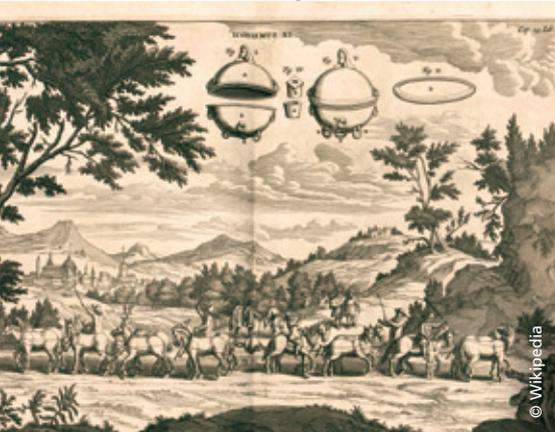
Unter Vakuum

Faszinierende Entdeckungen, neue Erkenntnisse und spannende Experimente bieten Themenbereiche rund um das Vakuum. Interdisziplinär können Experimente durchgeführt und ausgewertet werden. Das Vakuum präsentiert sich mit-nichten als ein Nichts, vielmehr als Lieferant ungewöhnlicher Erscheinungen, sozusagen als „Forschungsschatzkiste“.

Das wohl bekannteste Vakuum-Experiment erdachte der Magdeburger Bürgermeister Otto von Guericke im Jahr 1654. Die neugierigen Zuschauer staunten nicht schlecht, als mittels zweier abgedichteter Halbkugeln, eines Ventils und einer Luftpumpe ein solch starkes Vakuum erzeugt wurde, dass zwei Gespanne aus jeweils acht Pferden die beiden Kugelhälften nicht zu trennen vermochten.

Mit diesem berühmten Experiment begann die Vakuumforschung. Auch heute sind solche Versuche von großer Bedeutung – wenn auch nicht mehr mit Pferden, die an Halbkugeln ziehen, sondern mit Hightech-Instrumenten, wie sie beispielsweise in der Raumfahrt eingesetzt werden. Denn bekanntlich gibt es im Weltraum keine Luft. Wie aber kann da ein Raketentriebwerk „brennen“, wenn es die dichten Schichten der Erdatmosphäre verlassen hat?

Unter Vakuum



Stich von Guericke's berühmtem Versuch aus seinem Werk „Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de vacuo spatio“

Kraft des Vakuums

Ausschlaggebend für den Zusammenhalt der beiden Halbkugeln in Guericke's Versuch ist der Umgebungsluftdruck, der durch die Bewegung der Luftmoleküle hervorgerufen wird. Diese würden in den leeren Raum innerhalb der Kugel strömen, aber können es nicht, weil das Ventil die Kugel luftdicht verschließt.

Schon die alten Griechen untersuchten das Strömungsverhalten der Luft. Sie beobachteten immer wieder eine Strömung zum Gebiet mit niedrigem Druck. In diesem Zusammenhang sprachen sie vom „horror vacui“ (Angst vor der Leere). Ein Bereich mit Unterdruck wird immer mit Luft aufgefüllt, er kann nicht lange bestehen. Technische Geräte wie Ventile (die dies verhindern) gab es zu dieser Zeit noch nicht.

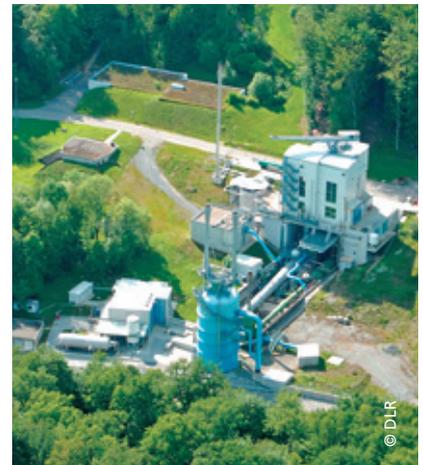
Wie groß ist aber überhaupt die druckerzeugende Gewichtskraft der Luft in unserer Umgebung? Das kann leicht ermittelt werden, wenn man weiß, wie viel Luft wiegt. Die Dichte der Luft hat einen Wert von $1,29 \text{ kg/m}^3$. Das bedeutet, dass die Masse eines Kubikmeters Luft $1,29 \text{ kg}$ beträgt. Dafür, dass diese Masse ja eigentlich gar nicht wahrgenommen wird, ist das schon ein stattlicher Wert.

Auftreten des Vakuums

Ein Vakuum ist immer da vorhanden, wo innerhalb eines Gefäßes weniger Luftmoleküle pro Volumeneinheit sind als außerhalb. Umgangssprachlich bezeichnet das Vakuum einen luftleeren Raum.

In großen Teilen des Universums herrscht Vakuum. Für die Raumfahrt bedeutet das: Probleme, die ein Aufenthalt im Vakuum mit sich bringen könnte, müssen vorher genau erforscht werden. So finden Untersuchungen von Weltraumantrieben im Höhenprüfstand des DLR-Standorts Lampoldshausen im Auftrag der Europäischen Weltraumorganisation ESA statt. Hier wird das Oberstufenantriebswerk der Trägerrakete Ariane 5 unter Weltraumbedingungen – also im Vakuum – getestet. Da im Weltraum kein Sauerstoff für die Verbrennung vorhanden ist, wird er als zweite Treibstoffkomponente neben dem Wasserstoff in flüssiger Form in der Rakete mitgeführt. Auch beim Bau und Betrieb einer Raumstation wie der ISS ist

besonders sorgfältig darauf zu achten, dass das Innere der Station vollständig gegen das Vakuum des Weltalls isoliert ist. Raumstationen und Satelliten, wie sie z. B. im DLR-Standort Neustrelitz empfangen werden, sollen zuverlässig über viele Jahre nutzbar sein. Um das zu gewährleisten, müssen die Entwicklungsingenieure beachten, dass viele ihrer Baugruppen unter Weltraumbedingungen ganz anders funktionieren als auf der Erde. Experimente unter Vakuumbedingungen und auch unter Schwerelosigkeit liefern dazu wichtige Informationen. Aber auch im Alltag gibt es viele Dinge,



Höhenprüfstand auf dem Testgelände im DLR-Standort Lampoldshausen

bei denen das Vakuum genutzt wird. Staubsauger erzeugen ein Vakuum, damit der Staub durch den Saugschlauch in den Beutel gedrückt wird. In sofern ist der Begriff Staubsauger eigentlich irreführend. Andere Beispiele sind vakuumverschlossene Konserven, die beim ersten Öffnen – bedingt durch den dabei stattfindenden Druckausgleich – das charakteristische Knacken von sich geben.

Die Experimente

Im DLR_School_Lab können die Schülerinnen und Schüler neben den vorbereiteten Experimenten auch mitgebrachte, selbst entwickelte Versuchsaufbauten im Vakuum testen.



Schüler experimentieren mit der Drehschieberpumpe

Aus klein wird groß

Wird ein unaufgeblasener Luftballon dem Vakuum ausgesetzt, so ist kein Effekt zu sehen. Wurde er dagegen vorher mit Luft gefüllt, so ist Erstaunliches zu beobachten: Der Luftballon wird größer und größer und ... platzt. Warum das so ist, lässt sich gut mit dem Teilchenmodell erklären. Im Luftballon bewegen sich die Luftmoleküle sehr schnell und treffen dabei ständig von innen auf die Gummihaut. Ihre Ausdehnung wird aber durch die von außen wirkenden Moleküle der Umgebungsluft verhindert. Im Vakuum fehlen diese äußeren Teilchen jedoch. Nichts kann mehr den Bewegungsdrang der Luftmoleküle im Ballon unterdrücken. Sie „schießen“ von innen derart gegen die Ballonhaut, dass sie sich dehnt und im Extremfall sogar zerreißt. In umgekehrter Richtung findet dieser Vorgang – natürlich ohne Ausdehnung – bei den Magdeburger Halbkugeln statt und bewirkt ihren Zusammenhalt.

Auftrieb in der Luft

Genau wie im Wasser erfahren Körper im Gas einen Auftrieb. Mit Hilfe einer Styroporkugel kann dieser Effekt nachgewiesen werden: Die Kugel hängt an einer austarierten Balkenwaage, die unter die Vakuumglocke gebracht wird. Nach dem Auspumpen der Luft ist zu beobachten, dass sich die Seite des Waagebalkens mit der Styroporkugel gesenkt hat. Warum ist das so?

Die Lösung liefert das Auftriebsgesetz, das von Archimedes von Syrakus formuliert wurde: *Die auf einen Körper wirkende Auftriebskraft ist gleich der Gewichtskraft des durch den Körper verdrängten Mediums.* Das bedeutet für den Fall der Styroporkugel, dass sie im Ausgangszustand ein gewisses Volumen an Luft verdrängt. Aufgrund dieser Verdrängung erhält die Kugel ihren Auftrieb. Im Vakuum sinkt die Kugel, weil die Luft immer „dünnere“ wird. Das durch die Kugel verdrängte Gasvolumen bleibt zwar gleich, jedoch nimmt die Dichte der Luft ab. Diese Abnahme hat immer eine Verringerung der Auftriebskraft zur Folge. Dabei sind die auf den Körper wirkende Auftriebskraft und die Dichte des durch ihn verdrängten Mediums zueinander direkt proportional.

Lärm im Weltall? Kein Thema!

Die Luft setzt sich aus 78% Stickstoff, 21% Sauerstoff sowie 1% Edelgasen und Kohlenstoffdioxid zusammen. Die enthaltenen Gasmoleküle bewegen sich sehr schnell, sodass sie in kürzester Zeit einen Raum gleichmäßig ausfüllen können. Sie sind unglaublich klein und können nicht einzeln wahrgenommen werden. Anders ist es mit dem – durch eine große Anzahl von Molekülen hervorgerufenen – Gasdruck. Druckunterschiede in verschiedenen Gebieten bzw. den zwischen ihnen stattfindenden Druckausgleich nehmen wir als Druckwelle in Form einer mehr oder minder starken Strömung (Wind) wahr. Aber auch an der Membran eines Lautsprechers oder an unseren Stimmbändern werden Druckwellen (Schallwellen) ausgelöst. Fakt ist dabei: Ohne Luft könnten sich diese Wellen nicht ausbreiten und wir uns auf der Erde beispielsweise nichts zurufen und auch keine anderen Geräusche wahrnehmen. Im Weltraum, wo tatsächlich keine Luft existiert, wäre der Mensch ohne Hilfsmittel taub. Hier sind alternative Kommunikationsmittel wie Funkverbindungen erforderlich, um in Kontakt bleiben zu können.

Wer hoch steigt, der kann tief fallen

... nur wie schnell ist die Frage. Das interessierte auch Galileo Galilei, der nach eingehenden Beobachtungen behauptete, dass alle Körper gleich schnell fallen. Stimmt das? Fällt nicht aus gleicher Höhe eine Feder um einiges langsamer als ein Stein? Liegt also Galilei falsch? Nein,

natürlich nicht. Aber dass alle Körper gleich schnell fallen, gilt nur im Vakuum. Die Luft um uns auf der Erde bremst jeden Körper in seinem Fall. So kommt es, dass eine Feder langsamer „heruntersegelt“ als der Stein. Anders auf dem Mond: Hier bestätigten die amerikanischen Astronauten eindrucksvoll Galileis Behauptung und zeigten, dass ein Hammer und eine Feder tatsächlich gleich schnell fallen. Dass das wirklich so ist, kann auch im DLR_School_Lab nachgewiesen werden. Dazu werden in einer speziellen Röhre, die luftleer gepumpt wurde, verschiedene Körper fallen gelassen.

Auch in der Forschung werden solche Fallröhren genutzt. Das Zentrum für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation (ZARM) betreibt in Bremen einen Fallturm, der eine 110 m lange Fallröhre besitzt. Sie wird vor jedem Experiment nahezu luftleer gepumpt. Das ist erforderlich, damit die Experiment-Kapsel tatsächlich frei fallen kann und nicht durch den Luftwiderstand verzögert wird. Nur so können in ihrem Inneren die Experimente in Schwerelosigkeit ablaufen.



Schokokuss im Vakuum

Kochendes Eis

Ein ganz besonderes Phänomen ist zu beobachten, wenn Wasser im Vakuum ohne zusätzliche Heizung siedet. Obwohl das Wasser kocht, kann man mit Hilfe eines Thermometers feststellen, dass es sich immer weiter abkühlt. Unter günstigen Bedingungen kühlt das Wasser sogar so stark ab, dass sich Eis bildet. Die Erklärung dafür liegt in der Überwindung der Kohäsionskräfte, die für die Anziehung zwischen den Wassermolekülen verantwortlich sind. Wenn Wasser siedet, geht es in den gasförmigen Aggregatzustand über. Für die Moleküle bedeutet dies, dass sie einen größeren Aufenthaltsraum einnehmen, sich schneller bewegen und einen großen Abstand zum nächsten Molekül haben.



Bei Raumtemperatur im Vakuum erstarrtes Wasser

Der Zustandswechsel von flüssig zu gasförmig ist nur möglich, weil im Vakuum keine Luftmoleküle den Wassermolekülen mehr im Weg sind und sie zurückdrängen. Die Moleküle an der Wasseroberfläche haben dadurch die Möglichkeit, sich aus der Flüssigkeit zu lösen. Wie ist das möglich? Durch die Wirkung der Kohäsionskräfte im Wasser werden sie doch eigentlich daran gehindert. Die Antwort: Zur Überwindung der Bindung ans Wasser ist Energie erforderlich, die von tieferliegenden Wassermolekülen „geliefert“ wird. Diese Moleküle „verlieren“ dabei einen Teil ihrer eigenen Energie. Weniger Energie bedeutet weniger Bewegung und damit eine niedrigere Temperatur. Das Sieden hat so das Gefrieren eines Teils des Wassers zur Folge.

Auch dieser auf den ersten Blick paradox erscheinende Effekt zeigt, dass unter bestimmten Bedingungen Vorgänge ganz anders als auf der Erde gewohnt ablaufen können. Die Erforschung solcher Prozesse ist für den Erfolg der Raumfahrt von entscheidender Bedeutung und wird auch vom DLR mit vorangetrieben.

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.



**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