

Wie funktioniert ein WC in der Schwerelosigkeit?

Die Funktionsweise einer Toilette in der Schwerelosigkeit basiert auf dem Prinzip des negativen Überdrucks. Dabei gilt: $p_u = p_L - p$ ($p < p_L$). Ein Unterdruck herrscht, wenn der Druck innerhalb des Volumens kleiner ist als der Umgebungsdruck.

Es geht auch einfacher:

Toilette in der Schwerelosigkeit

Im Alltag ist der Gebrauch einer Toilette auf die Schwerkraft angewiesen. Durch das Einwirken dieser Kraft ist es möglich, dass die Fäkalien in die Kloschüssel fallen und mittels eines Wasserstroms abgeführt werden können. Bei einer bemannten Raumfahrt in der Schwerelosigkeit gelingt dies nicht, da die Gravitationskraft nicht genügend stark ist, als dass Urin oder Kot nach „unten“ fallen könnte. Das Ergebnis wären schwebende Fäkalien. Um dies zu verhindern, sind Weltraumtoiletten mit einer Art Staubsauger ausgerüstet: Anstelle einer Wasserspülung verfügt eine Raumfahrttoilette über ein Absaugrohr, das über einen erzeugten Unterdruck die Fäkalien nach unten in eine Auffangvorrichtung abführt. Die Feststoffe werden gepresst und bis zur späteren Entsorgung (zurück auf der Erde) gelagert. Der Urin wird separat abgesaugt (gelber Trichter in der Abbildung), aufgefangen für den Gebrauch der Besatzung wieder aufbereitet oder ebenfalls bis zur Entsorgung gelagert.



Weltraumtoilette
Foto: www.raumfahrtmuseum.at

Vakuumtoilette

Einfache Varianten der Weltraumtoilette, sogenannte Vakuumtoiletten, sind beispielsweise in Zügen oder Flugzeugen anzutreffen. Allerdings fallen bei diesen Toiletten Urin und Kot zunächst durch die Gravitationskraft in die Kloschüssel – also so, wie bei einem normalen WC mit Wasserspülung. Anschliessend werden die Fäkalien über einen Unterdruck (und nicht mehr durch die Schwerkraft) aus der Schüssel abgeführt. Somit muss die Klomuschel nicht wie bei der Weltraumtoilette dicht abschliessen, wenn der Benutzer Platz nimmt.

Gravitationskraft

Alle Körper ziehen sich aufgrund ihrer Masse gegenseitig an. Diese Anziehung bezeichnet man als Gravitationskraft oder als Massenanziehungskraft. Die Kraft, mit der sich zwei Körper anziehen, hängt von den Massen und dem Abstand der Körper ab: Je kleiner der Abstand zwischen den Körpern ist und/ oder je grösser ihre Massen sind, umso stärker ist die Anziehungskraft.

Schwerkraft

Die Schwerkraft ist eine besondere Form der Gravitationskraft. Die Schwerkraft ist die Anziehungskraft zwischen der Erde und den Körpern an ihrer Oberfläche.



Schwereelosigkeit

Unter Schwerelosigkeit versteht man einen Zustand, in dem entweder keine Schwerkraft wirkt, oder deren Auswirkung nicht zu spüren ist. Letzteres ist im Weltall der Fall. Dies führt dazu, dass Gegenstände „schweben“ – so bilden beispielsweise Wassertropfen kleine fliegende Kugeln und Menschen oder Gegenstände gleiten durch den Raum.

Unterdruck

Mit Unterdruck (= negativer Überdruck) bezeichnet man einen Druck, der niedriger ist als der Druck der Umgebung. Wird von einem Vakuum gesprochen, handelt es sich um einen luftleeren Raum. Überdruck herrscht, wenn in einem System der Druck höher ist als der atmosphärische Druck.

Die einseitige Wirkung von Luftdruck kann man sich mit Luftpumpen zu Nutze machen: Luftpumpen können Luft verdichten (z. B. Pumpen für Bälle) oder verdünnen (z. B. Verpackungen für Kaffee oder Erdnüsse).

Anregungen zur didaktischen Umsetzung:

1. Das WC im Weltraum: Probleme und Lösungsmöglichkeiten anhand von Vorwissen erkunden

Als Einstieg ins Thema präsentiert die Lehrperson den Schülerinnen und Schülern die folgenden Fragen:

Wie funktioniert ein WC in einer Raumstation?

-> *Welche Probleme müssen hierfür gelöst werden?*

-> *Welche Lösungsvorschläge gibt es?*

Die Schülerinnen und Schüler können ihre Vermutungen äussern und ihr Vorwissen einbringen. Denkbar wäre hierbei zunächst der Austausch in Partnerarbeit, bevor die Ideen im Plenum gesammelt und stichwortartig an der Wandtafel notiert werden. Am Ende der Unterrichtssequenz kann auf die ursprünglichen Ideen noch einmal eingegangen werden.

2. Herausforderungen/ Probleme a. Die Schwerkraft

Die Lehrperson fordert die Schülerinnen und Schüler dazu auf, einen gehaltenen Gegenstand (Stück Kreide, Buch, Stein etc.) loszulassen und genau zu beschreiben, was geschieht (keine Interpretation!).

Die Lehrperson nimmt einen Globus und zeigt den Schülerinnen und Schülern die Schweiz (in der obiges Experiment durchgeführt wurde) und Neuseeland (liegt gegenüber der Schweiz; exakt wäre es der süd-pazifische Ozean).

Was geschieht, wenn ich in Neuseeland einen Stein fallen lasse?

Antworten werden gesammelt. Anschliessend sollen die Schülerinnen und Schüler zu zweit eine allgemeingültige Regel für dieses Phänomen formulieren, z.B.: Alle Gegenstände, die Gewicht (eine Masse) haben, fallen, wenn sie nicht gehalten oder gestützt werden, auf den Boden herunter und zwar immer in Richtung Erdmittelpunkt. Dieses Phänomen funktioniert überall auf der Erde gleich.

Der Begriff „Schwerkraft“ kann als Erklärung für dieses Phänomen eingeführt werden. Die Schwerkraft (oder Erdanziehungskraft) kann weiter zum Prinzip der Massenanziehungskraft verallgemeinert werden (Massen ziehen sich grundsätzlich gegenseitig an; also nicht nur die Erde uns, sondern auch wir die Erde etc.).

Um zu zeigen, dass die Schwerkraft den Dingen auch ihre Schwere verleiht und man Kraft aufwenden muss, um ihr entgegenwirken zu können, werden die Schülerinnen und Schüler dazu aufgefordert, ein Schulbuch mit waagrecht ausgestrecktem Arm zu halten. Wer schafft es am längsten?

Ausschnitte aus der folgenden Videosequenz können der Klasse zur Veranschaulichung der Schwerkraft und ihren Wirkungen gezeigt werden (z. B. von 2'15'' bis 5'35''). <http://www.youtube.com/watch?v=h-Wd5h6PHwc>

Stufe

- Vorschulstufe
- Unterstufe
- Mittelstufe
- Sekundarstufe I

Lernziele

- Die Schülerinnen und Schüler
- erfahren die Schwerkraft durch verschiedene Beispiele aus dem Alltag und sind in der Lage, die Kraft mit eigenen Worten zu beschreiben.
 - entwickeln anhand verschiedener Experimente ein Verständnis für die Schwerelosigkeit und sind in der Lage, dieses Phänomen anhand von Beispielen exemplarisch zu erklären.
 - erkennen und begreifen die Eigenschaften der Luft. Wichtig ist dabei die Entstehung des Luftdrucks durch das Gewicht der Luft, sowie die konkrete Differenzierung zwischen Über- und Unterdruck.
 - können mit Hilfe der Schwerkraft, der Schwerelosigkeit und des Unterdrucks die Frage nach der Funktionsweise einer Weltraumtoilette in einem Fliesstext beantworten.

Dauer

Punkt 1. und 2.a.: Eine Lektion

Material

Punkt 1. und 2.a.

- Stein, Kreide, Bücher
- Globus
- Computer, Beamer

b. Die Schwerelosigkeit

Warum sind Astronauten auf der Internationalen Raumstation ISS schwerelos? Nicht, weil keine Schwerkraft herrscht, sondern weil sich die Raumstation im freien Fall um die Erde befindet.

Alle Gegenstände, die sich im freien Fall befinden, sind schwerelos. Die folgenden Experimente und Anschauungen, die als Postenlauf in Teams bearbeitet, protokolliert und ausgewertet werden können, verdeutlichen diesen Zusammenhang:

- In wassergefüllte Dosen, PET-Flaschen, Pappbecher o. ä. werden Löcher gebohrt. Hält man die Dose, so läuft das Wasser aus; lässt man sie fallen, so tritt kein Wasser mehr aus (Dose und Wasser fallen gleich schnell. Siehe auch: <http://www.welt.de/debatte/kolumnen/Wissenschaft-fuer-Kinder/article6061048/Schwerelos-wie-Astronauten.html> und http://www.youtube.com/watch?v=8hWaV_gka6M
- Ein Wassertropfen fällt in ein Waschbecken. Welche Form hat er, während dem er fällt? Der Tropfen kann gefilmt/ fotografiert werden; eine langsamere Betrachtung der Sequenz/ das Betrachten der Fotografie zeigt, dass sich der Tropfen zu einer Kugel formt. Alternativ dazu können Bilder von fallenden Wassertropfen bzw. von Tropfen in der Schwerelosigkeit gezeigt werden (viele Beispiele im Internet vorhanden; Google- Bilder-Suche).
- Bei Sprüngen auf dem Trampolin kann man für kurze Zeit die Schwerelosigkeit simulieren. Ein ausführlicher Beschrieb eines Experiments findet sich unter: http://www.dlr.de/next/portaldata/69/resources/downloads/9_downloads/DLR_next_Anleitungen-Schwerelosigkeit_auf_dem_Trampolin.pdf
- Der Parabelflug („Achterbahn mit dem Flugzeug“) ermöglicht die Simulation der Schwerelosigkeit für rund 20 Sekunden. Hierfür kann eine Videosequenz zur Veranschaulichung gezeigt werden. <http://www.youtube.com/watch?v=k6l4L4AqNOo>
- ...

Stufe

- Vorschulstufe
- Unterstufe
- Mittelstufe
- Sekundarstufe I

Lernziele

- Die Schülerinnen und Schüler
- erfahren die Schwerkraft durch verschiedene Beispiele aus dem Alltag und sind in der Lage, die Kraft mit eigenen Worten zu beschreiben.
 - entwickeln anhand verschiedener Experimente ein Verständnis für die Schwerelosigkeit und sind in der Lage, dieses Phänomen anhand von Beispielen exemplarisch zu erklären.
 - erkennen und begreifen die Eigenschaften der Luft. Wichtig ist dabei die Entstehung des Luftdrucks durch das Gewicht der Luft, sowie die konkrete Differenzierung zwischen Über- und Unterdruck.
 - können mit Hilfe der Schwerkraft, der Schwerelosigkeit und des Unterdrucks die Frage nach der Funktionsweise einer Weltraumtoilette in einem Fliesstext beantworten.

Dauer

Punkt 2.b.: Zwei Lektionen

Material

Punkt 2.b.

- Dosen, PET-Flaschen
- Fotoapparat
- Trampolin
- Apfel
- Küchenwaage
- Videokamera
- Schachtel
- Klebeband
- Computer

3. Lösungsvorschläge

a. Der Unterdruck

Neben dem Aspekt, dass sich der Astronaut festbinden muss, damit er nicht davon schwebt, soll das Prinzip des Unterdrucks experimentell erschlossen werden. Die folgenden Experimente und Anschauungen, die wiederum als Postenlauf in Teams bearbeitet, protokolliert und ausgewertet werden können, verdeutlichen das Prinzip des Unterdrucks:

- Es können verschiedene Experimente mit der Vakuumpumpe durchgeführt werden. Mit diesen Experimenten kann die Kraftwirkung der Luft verdeutlicht werden (diese und weitere Experimente werden unter folgendem Link beschrieben:
http://www.exphys.jku.at/didaktik/AHS_BHS/Unterricht/Stoffgebiete/Luftdruck/06%20Luftdruck%20Wieser.PDF):
 - o Luftballon wenig aufblasen und verschliessen; unter Luftdicht abschliessende Glasglocke legen; Vakuumpumpe anschliessen und Vakuum erzeugen: Luftballon schwillt an.
 - o Anstelle eines Luftballons kann ein runzeliger Apfel verwendet werden: Der Apfel sieht wieder frisch und knackig aus.
 - o Vakuumverpackte Lebensmittel werden unter die Glasglocke gestellt und ein Vakuum wird erzeugt; die Verpackung schwillt an; lässt man wieder Luft einströmen, zieht sich die Verpackung wieder auf die ursprüngliche Grösse zusammen
- Anschliessend dargestellte sowie weitere Experimente sind unter folgendem Link beschrieben:
<http://li.hamburg.de/contentblob/2817302/data/pdf-luft-und-fliegen.pdf>
 - o Was wird geschehen, wenn man kräftig zwischen zwei nahe nebeneinander gehaltenen Papierstreifen durchpustet? (Hinweis: schnell strömende Luft erzeugt Unterdruck; Papierstreifen bewegen sich aufeinander zu)
 - o In einer verschlossenen Plastikflasche ist wenig heisses Wasser. Was geschieht, wenn man die Flasche in kaltes Wasser legt? (sie wird eingebeult, da die Abkühlung einen Unterdruck erzeugt; der Umgebungsdruck deltt die Flasche ein)
- Ein Ei wird weich gekocht und geschält (wenn möglich den Versuch durchführen, solange das Ei noch warm ist). Aus einem Stück Zeitungspapier wird ein länglicher Streifen gefaltet. Dieser wird von der Lehrperson angezündet und brennend in die Flasche geworfen. Das Ei wird auf die Öffnung der Flasche gesetzt. Es wird durch den Flaschenhals gleiten und auf den Boden der Flasche fallen. (Hiermit kann der direkte Bezug zum WC-Problem gut gelingen!)

Stufe

- Vorschulstufe
- Unterstufe
- Mittelstufe
- Sekundarstufe I

Lernziele

- Die Schülerinnen und Schüler
- erfahren die Schwerkraft durch verschiedene Beispiele aus dem Alltag und sind in der Lage, die Kraft mit eigenen Worten zu beschreiben.
 - entwickeln anhand verschiedener Experimente ein Verständnis für die Schwerelosigkeit und sind in der Lage, dieses Phänomen anhand von Beispielen exemplarisch zu erklären.
 - erkennen und begreifen die Eigenschaften der Luft. Wichtig ist dabei die Entstehung des Luftdrucks durch das Gewicht der Luft, sowie die konkrete Differenzierung zwischen Über- und Unterdruck.
 - können mit Hilfe der Schwerkraft, der Schwerelosigkeit und des Unterdrucks die Frage nach der Funktionsweise einer Weltraumtoilette in einem Fliesstext beantworten.

Dauer

Punkt 3.a.: Zwei Lektionen

Material

Punkt 3.a.

- Vakuumpumpe
- Glasglocke
- Luftballon
- Runzeliger Apfel
- Vakuumverpackte Lebensmittel
- Papierstreifen
- PET-Flasche und Flasche mit grosser Öffnung
- Weichgekochtes Ei
- Computer

- Unter dem Link http://www.planet-schule.de/sf/php/02_sen01.php?sendung=7974 kann eine Videosequenz zum Thema „Saugnapf“ angeschaut werden. Das dahinterstehende physikalische Prinzip des Unterdrucks wird an Beispielen in Natur und Technik aufgezeigt.
- Die Schülerinnen und Schüler sollen (technische) Beispiele aus dem „Alltag“ suchen, die mit Hilfe des Unterdrucks funktionieren (Staubsauger, Vakuumtoilette in Zügen, Vakuumiergerät, Schröpfen etc.)
- ...

Stufe

- Vorschulstufe
- Unterstufe
- Mittelstufe
- Sekundarstufe I

Lernziele

- Die Schülerinnen und Schüler
- erfahren die Schwerkraft durch verschiedene Beispiele aus dem Alltag und sind in der Lage, die Kraft mit eigenen Worten zu beschreiben.
 - entwickeln anhand verschiedener Experimente ein Verständnis für die Schwerelosigkeit und sind in der Lage, dieses Phänomen anhand von Beispielen exemplarisch zu erklären.
 - erkennen und begreifen die Eigenschaften der Luft. Wichtig ist dabei die Entstehung des Luftdrucks durch das Gewicht der Luft, sowie die konkrete Differenzierung zwischen Über- und Unterdruck.
 - können mit Hilfe der Schwerkraft, der Schwerelosigkeit und des Unterdrucks die Frage nach der Funktionsweise einer Weltraumtoilette in einem Fliesstext beantworten.

Dauer

Punkt 3.a.: Zwei Lektionen

Material

Punkt 3.a.

- Vakuumpumpe
- Glasglocke
- Luftballon
- Runzeliger Apfel
- Vakuumverpackte Lebensmittel
- Papierstreifen
- PET-Flasche und Flasche mit grosser Öffnung
- Weichgekochtes Ei
- Computer

4. Konsolidierung der Resultate

Die Schülerinnen und Schüler halten in einem Fliesstext ihre Erfahrungen aufgrund der Versuche hinsichtlich der eingangs gestellten Fragestellungen zusammenfassend fest.

Folgende präzisierte Fragestellungen können den Text zum Thema „*Wie funktioniert ein WC in einer Raumstation?*“ strukturieren:

- *Welche Probleme treten im Weltraum auf, die den Gang zur Toilette erschweren?*

Stichworte: Astronauten „schweben“; Urin und Kot schweben nach dem Toilettenbesuch ebenfalls -> Hygiene.

- *Warum treten diese Probleme auf?*

Stichworte: (aufgehobene) Schwerkraft; Schwerelosigkeit: Schwerkraft auch im Weltraum vorhanden; Raumstation befindet sich im freien Fall um die Erde; jeder Gegenstand im freien Fall ist schwerelos; Urin/ Kot ebenfalls schwerelos.

- *Welche Lösungsvorschläge gibt es für die genannten Probleme?*

Stichworte: Astronaut muss auf der Toilette festgebunden werden;

Unterdruck erzeugen, d. h. der erzeugte Druck muss tiefer sein als der Umgebungsdruck in der Raumkapsel; absaugen von Urin/ Kot wird möglich („Staubsaugerprinzip“: Im Inneren eines Staubsauger wird ein Unterdruck erzeugt, sodass die Luft am Ende des Schlauches durch den externen Umgebungsdruck hinein geblasen („eingesaugt“) wird.); vgl. Ei-Experiment oben.

Stufe

- Vorschulstufe
- Unterstufe
- Mittelstufe
- Sekundarstufe I

Lernziele

Die Schülerinnen und Schüler

- erfahren die Schwerkraft durch verschiedene Beispiele aus dem Alltag und sind in der Lage, die Kraft mit eigenen Worten zu beschreiben.
- entwickeln anhand verschiedener Experimente ein Verständnis für die Schwerelosigkeit und sind in der Lage, dieses Phänomen anhand von Beispielen exemplarisch zu erklären.
- erkennen und begreifen die Eigenschaften der Luft. Wichtig ist dabei die Entstehung des Luftdrucks durch das Gewicht der Luft, sowie die konkrete Differenzierung zwischen Über- und Unterdruck.
- können mit Hilfe der Schwerkraft, der Schwerelosigkeit und des Unterdrucks die Frage nach der Funktionsweise einer Weltraumtoilette in einem Fliesstext beantworten.

Dauer

Punkt 4.: Eine Lektion

Material

Punkt 4.

- Keine speziellen Materialien

5. Abschluss

- Die Texte werden gegenseitig von den Schülerinnen und Schülern gelesen und hinsichtlich der Verständlichkeit, Vollständigkeit und Korrektheit geprüft. Anschliessend erfolgt ein Austausch über Unklarheiten. Es wird Zeit zur Verfügung gestellt, um die allfälligen Verbesserungen vorzunehmen.
- Die Lehrperson kann abschliessend Bilder einer Weltraumtoilette zeigen, die Funktionsweise anhand der Begriffe „Schwerkraft“, „Schwereelosigkeit“ und „Unterdruck“ nochmals erläutern und Bezüge zur Funktionsweise einer normalen Toilette / einer Vakuumtoilette (wie sie beispielsweise im „Turbo“ anzutreffen ist) schaffen. Die Schülerinnen und Schüler können so ihren eigenen Text mit den Erläuterungen der Lehrperson vergleichen und, falls notwendig, erneut ergänzen. Hinweise zur Funktionsweise einer normalen Toilette / einer Vakuumtoilette finden sich beispielsweise unter folgendem Link: <http://www.physikfuerkids.de/wiewas/klo/index.html>

Stufe

- Vorschulstufe
- Unterstufe
- Mittelstufe
- Sekundarstufe I

Lernziele

- Die Schülerinnen und Schüler
- erfahren die Schwerkraft durch verschiedene Beispiele aus dem Alltag und sind in der Lage, die Kraft mit eigenen Worten zu beschreiben.
 - entwickeln anhand verschiedener Experimente ein Verständnis für die Schwerelosigkeit und sind in der Lage, dieses Phänomen anhand von Beispielen exemplarisch zu erklären.
 - erkennen und begreifen die Eigenschaften der Luft. Wichtig ist dabei die Entstehung des Luftdrucks durch das Gewicht der Luft, sowie die konkrete Differenzierung zwischen Über- und Unterdruck.
 - können mit Hilfe der Schwerkraft, der Schwerelosigkeit und des Unterdrucks die Frage nach der Funktionsweise einer Weltraumtoilette in einem Fliesstext beantworten.

Dauer

Punkt 5.: Eine Lektion

Material

Experiment 1

- OHP und Folien für Lehrvortrag oder Computer und Beamer

Zusammengestellt von der Projektleitung der Initiative „Natur & Technik begreifen“ der PHTG.

Datum: 08.01.2013