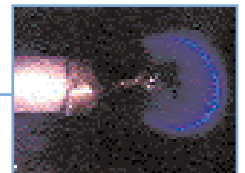
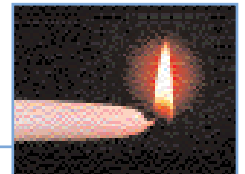


## 4 – Arbeiten an Bord der Internationalen Raumstation

Die ISS ist nicht nur das bisher größte internationale technische Konstruktionsvorhaben aller Zeiten, man kann sie mit Fug und Recht als fliegendes Labor bezeichnen – einen die Erde umkreisenden Workshop, der Wissenschaftlern erlaubt, eine Vielzahl wissenschaftlicher Projekte ganz unterschiedlicher Disziplinen unter ganz speziellen Bedingungen, nämlich im Zustand nahezu völliger Schwerelosigkeit, zu erforschen.

Auf der Erde sind eigentlich all unsere Bewegungen, alles was wir tun, dem Einfluss der **Gravitation (Schwerkraft)** unterworfen. Wir sind so sehr an sie gewöhnt, dass wir sie gar nicht bewusst wahrnehmen, und es ist für uns das Selbstverständlichste von der Welt, dass etwas, was wir loslassen, automatisch zu Boden fällt. Der menschliche Körper, wie auch der anderer Lebewesen der Erde, hat im Laufe der Zeit die Fähigkeit **entwickelt**, der Schwerkraft standzuhalten und sie sich zu Nutz zu machen. Der Mensch verfügt über ein robustes Skelett, das uns aufrecht erhält, ein kräftiges Herz, das das Blut sogar entgegen der Schwerkraft „nach oben“ bis in unser Gehirn pumpt.

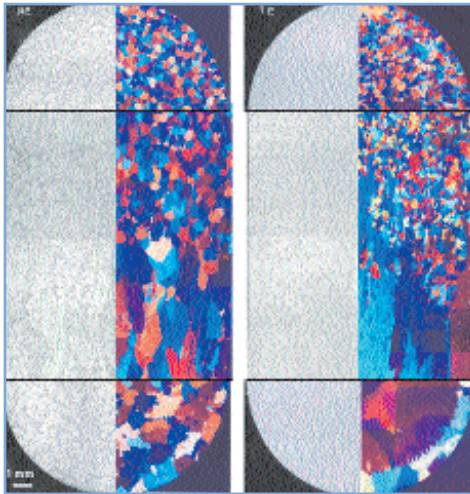
Unter Schwerelosigkeitsbedingungen dagegen scheinen manche Dinge sehr merkwürdig abzulaufen. Das kann man sogar am einfachen Beispiel einer Kerzenflamme illustrieren. Auf der Erde reckt sich die Flamme – wie könnte es auch anders sein – „kerzengerade“ in die Höhe, weil die Gase, die beim Verbrennungsvorgang entstehen, leichter sind als die kühle Luft, die sie umgibt. Diese kühle Luft wird in den Kerzendocht hineingesogen und produziert Sauerstoff, die das Wachs am Brennen hält. Im schwerelosen Zustand dagegen ist das heiße Gas nicht leichter als die kühle Luft seiner Umgebung, die Flamme denkt nicht daran, sich aufzurichten. Sie präsentiert sich als mickriges, fast unsichtbares rundes Flämmchen, wie eine Lichtkugel. Die tatsächlichen Verbrennungsvorgänge finden lediglich an der Kugeloberfläche statt, wo sich das brennbare Kerzenmaterial des Waxes mit dem Sauerstoff der Luft verbinden kann.



Beschäftigt sich ein Wissenschaftler mit der Art und Weise, wie Verbrennungsvorgänge in Schwerelosigkeit ablaufen, erfährt er grundlegende Dinge über die Verbrennung an sich. Die Art und Weise, wie sich Gase miteinander zu einem Gemisch verbinden, kann so erforscht werden. Diese sensible Reaktion ist auf der Erde sehr schwer nachzuollziehen, weil die Gase quasi von den viel gewichtigeren Einflüssen der Schwerkraft „irritiert“ werden.

Neue, im Weltraum gewonnene Erkenntnisse sind auch auf der Erde von **praktischem Nutzen**. Wenn Verbrennungsvorgänge komplett erforscht sind, können Kfz-Motoren konzipiert werden, die weniger Benzin verbrauchen und weniger Schadstoffe freisetzen.

Ein weiteres interessantes Forschungsgebiet ist die Art und Weise, wie sich Flüssigkeiten vermischen, und auch diese Erkenntnisse sind von elementarem praktischen Nutzen. Die meisten im alltäglichen Leben auf der Erde verwendeten Metalle sind Legierungen, also Verbindungen, die zwei oder mehrere Metalle eingehen, wenn man sie zuvor zum Schmelzen bringt. Die meisten Flugzeugteile bestehen vorwiegend aus einer Legierung namens Duralumin, die überwiegend aus Aluminium, etwas Kupfer und ein paar anderen



Zwei Proben von Aluminiumlegierungen, die eine wurde auf der Erde, die andere im All unter denselben Kältebedingungen gehärtet.

Metallen besteht. Auf der Erde wird die Art und Weise, wie sich diese Metalle vermischen ganz gravierend von der Schwerkraft beeinflusst. Experimente in Schwerelosigkeit dagegen erlauben uns viel weitreichendere Erkenntnisse darüber zu gewinnen, wie diese „**Mischung**“ zustande kommt, und wir können diese dazu nutzen, auf der Erde hochwertigere Legierungen herzustellen.

Die Schwerelosigkeit wirkt sich auch in signifikanter Weise auf den menschlichen Körper aus. Der Großteil der an Bord mitgeführten Arbeitslast wird daher von Versuchsanlagen und Materialien für **medizinische Experimente** in Anspruch genommen. Astronauten haben festgestellt, dass ihre **Muskeln** unter Schwerelosigkeitsbedingungen ziemlich schnell schwinden. Sie werden mit der Zeit schwächer und schwächer, was nur durch

regelmäßiges und ausdauerndes Krafttraining kompensiert werden kann. Auch die **Knochensubstanz** verändert sich. Knochen besteht aus lebendem Gewebe, dem zu seiner Erhaltung viel Energie zugeführt werden muss. Sobald ihm der Gegenpart der Schwerkraft entzogen wird, meint der Körper wohl, sich nicht mehr anstrengen zu müssen. Knochenmaterial schwindet und wird auch nicht mehr regeneriert: In nur einem Monat im All kann ein Astronaut bis zu 1% seines Knochenmineralgehalts einbüßen.

Doch auch auf der Erde ist der Schwund von Muskel- und Knochengewebe ein ernstzunehmendes Problem, vor allem bei älteren Menschen oder solchen, die infolge von Krankheit monatelang ans Bett gefesselt sind. Unter Schwerelosigkeitsbedingungen vollzieht sich die Veränderung schneller, so dass die Ursachenforschung sowie die Entwicklung geeigneter Behandlungsmethoden sehr viel schneller voranschreiten könnte. Entsprechende **Medikamente**, Bewegungstherapien und spezielle Diäten können sofort **getestet** werden und so bereits nach Monaten, anstatt erst nach Jahren, die man für dieselben Tests auf der Erde bräuchte, zu verwertbaren Resultaten führen.



ESA-Astronautin Claudie Haigneré führt ein physiologisches Experiment durch

Aber wer leistet eigentlich die ganze Forschungsarbeit an Bord der ISS? Viele Experimente werden direkt von Forschern am Boden überwacht, die dazu die entsprechenden Telekommunikationsverbindungen zur Raumstation nutzen. Natürlich ist auch die Crew maßgeblich daran beteiligt, sowohl was Überwachung der Experimentieranlagen als auch etwaigen Handlungsbedarf anlangt, insbesondere dann, wenn etwas nicht nach Plan verläuft. Sie führen selbst Experimente durch, übermitteln den Wissenschaftlern am Boden sofort entsprechende Fernsehbilder und Testergebnisse. Und was die **physiologischen Experimente** angeht, halten sie sogar selbst als Versuchskaninchen her.

Und obwohl man doch im All so schön weit weg von allen irdischen Pflichten ist – von einer bleibt auch in der ISS kein Astronaut verschont: der „Hausarbeit“. Sämtliche Oberflächen werden mit Desinfektionstüchern gereinigt, eigentlich fast wie auf Mutter Erde. Es gibt sogar einen richtigen Staubsauger, nicht wie erwartet im Space-Design, eher die etwas altmodische Variante. Der muss sich allerlei Dreck und Spritzer einverleiben, und zwar nicht nur vom „Boden“ – er schluckt auch sämtliche Schmutzpartikel, die gemütlich mitten in der Kabine herumschweben.

## 4.1 – Was bedeutet Gravitation?

Wie wir bereits wissen, dominiert Gravitation bzw. die **Schwerkraft** alle Vorgänge auf der Erde. Sie ist die (un)heimliche unsichtbare Macht, die dafür sorgt, dass Äpfel vom Baum einfach auf die Erde fallen.

### Entdecke die Schwerkraft selbst

Du benötigst dazu: zwei Bälle identischer Größe aber unterschiedlicher Masse (einer der Bälle sollte aus zerknülltem Papier sein)  
ein Blatt Papier

Lies das untenstehende Experiment durch und überlege dir, was dabei passieren wird. Beschreibe dies mit eigenen Worten, bevor du mit der Durchführung des eigentlichen Experiments beginnst.

#### Teil A

1. Halte die beiden Bälle mit ausgestreckten Armen in gleicher Höhe.
2. Lass nun die Bälle gleichzeitig los.
3. Beobachte und beschreibe, wie die Bälle reagieren. Fallen sie gleich schnell nach unten? Kommen sie gleichzeitig am Boden an?
4. Wiederhole das Experiment, während ein Mitschüler beobachtet, was passiert.

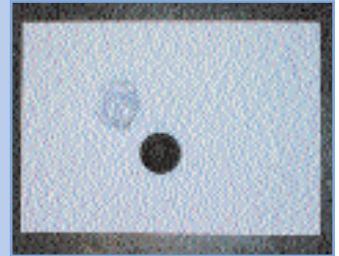
#### Teil B

1. Halte den Papierball und ein Blatt Papier mit ausgestreckten Armen in gleicher Höhe (so hoch wie möglich).
2. Lasse die beiden Gegenstände gleichzeitig fallen.
3. Beobachte und beschreibe, wie die beiden Gegenstände reagieren. Fallen sie gleich schnell nach unten? Kommen sie gleichzeitig am Boden an?
4. Wiederhole das Experiment, während ein Mitschüler beobachtet, was passiert.

#### Teil C

Vergleiche deine anfängliche Einschätzung mit dem, was tatsächlich passiert ist – gibt es Abweichungen?

Vergleiche die Beobachtungen, die du während beider Experimente gemacht hast, Teil A und Teil B. (Falls dir beim Ablauf kein Unterschied aufgefallen ist, setze den Punkt, von dem aus du die Gegenstände fallen lässt, höher und versuche das Ganze nochmals). Diskutiert gemeinsam darüber, warum manche Gegenstände schneller/langsamer fallen als andere. Zu welchen Ergebnissen kommt ihr?



Der Betrag der Anziehungskraft ( $F$ ) errechnet sich aus:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$m_1$  und  $m_2$  entspricht der jeweiligen Masse der beiden Körper,  $r$  ist die Entfernung zwischen ihnen und  $G$  ist die Gravitationskonstante ( $G = 6,672 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ ).

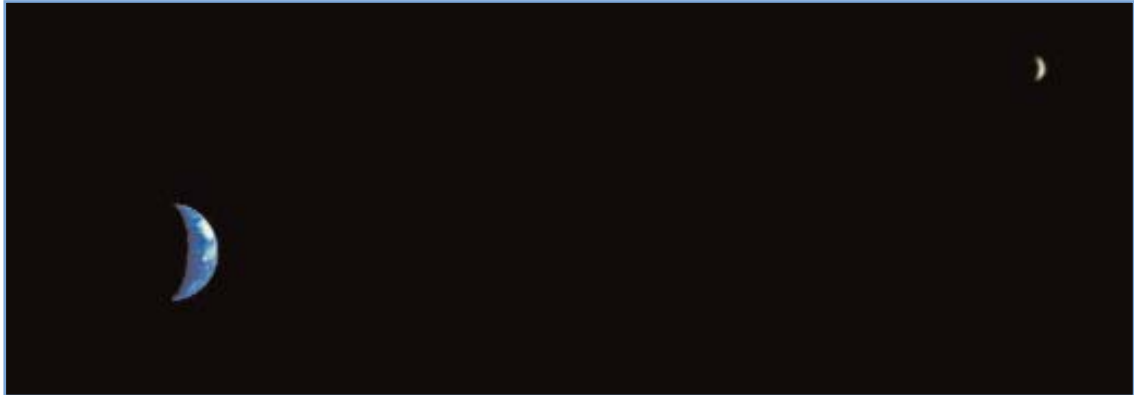
**Sir Isaac Newton** entdeckte, dass zwischen je zwei Körpern des Universums **Massenanziehungskraft** (Gravitation) wirkt. Diese Anziehung hängt von der Masse der Körper und der zwischen ihnen liegenden Entfernung ab. Je größer die Masse der Körper, umso stärker die Anziehung und je größer die Entfernung, umso geringer die Anziehung.

**Masse der Erde:**  $5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$

**Masse des Mondes:**  $7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$

**Mittlere Entfernung zwischen Erde und Mond:**  $384.400 \text{ km}$

## 4.1 – Was bedeutet Gravitation?



Die Sonne und sämtliche anderen Planeten ziehen sich mit ihrer Anziehungskraft gegenseitig an. Da die Sonne bei weitem die größte Masse hat, wird sie von sämtlichen Planeten umkreist. [Der Mond umrundet die Erde](#) aus denselben Gründen – die Erde hat immerhin 30 Mal mehr Masse als der Mond. Wir können die Anziehung des Mondes am Wechsel der Gezeiten erkennen: er zieht praktisch die Wassermassen der Meere an und lässt so Ebbe und Flut entstehen.

Alle Planeten üben eine Anziehungskraft aus, jedoch variiert die Anziehung, die sie auf einen Körper ausüben, da sie alle eine unterschiedliche Masse haben. Die Schwerkraft wird in Newton (N) gemessen und entspricht dem Produkt aus der Masse eines Körpers und der **Fallbeschleunigung**, mit der ein Körper infolge der Anziehung zum Mittelpunkt eines Planeten beschleunigt wird. Die Fallbeschleunigung auf der Erde beträgt  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

*Beschleunigung:*  
Erhöht ein Körper seine Geschwindigkeit, beschleunigt er. (wird er langsamer, verlangsamt er seine Geschwindigkeit)

Wenn zwei Körper in Richtung Erde fallen, wirkt die Schwerkraft auf beide gleich stark. Wirken keine anderen Kräfte auf sie ein, [beschleunigen](#) die Körper auch gleich stark. Nahe der Erdoberfläche wirken allerdings noch andere Kräfte auf Körper ein, z.B. Reibung. Reibung kann durch Luftwiderstand erzeugt werden, der die Geschwindigkeit eines herabfallenden Körpers reduziert. Je größer die Oberfläche eines Körpers, umso größer ist der Luftwiderstand und umso stärker die Verlangsamung.

**Masse** bezeichnet die Menge an Materie, aus der ein Körper besteht. Sie wird in Kilogramm (kg) angegeben. Die Masse eines Körpers ist also überall im Universum dieselbe. Das **Gewicht** eines Körpers hängt dagegen von der Schwerkraft ab und ist daher auch umgebungsabhängig. Das Gewicht eines Körpers auf der Erde bemisst sich nach dem Verhältnis zwischen seiner Masse und der Fallbeschleunigung.

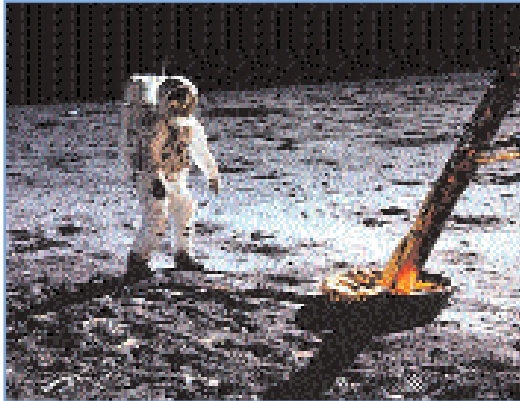
Das Gewicht eines Körpers **G** nimmt im selben Verhältnis zu, wie die Masse **m** eines Körpers zunimmt oder wie die Fallbeschleunigung **g** zunimmt:

$$G = m \cdot g$$

Die Fallbeschleunigung (**g**) wird in  $\text{m/s}^2$  angegeben und entspricht der **Beschleunigung** in Abhängigkeit von der jeweiligen Gravitation. Auf der Erde beträgt diese Beschleunigung  $9,8 \text{ m/s}^2$ , auf dem Mond  $1,6 \text{ m/s}^2$ , während sie auf dem Mars  $3,7 \text{ m/s}^2$  beträgt. Masse (**m**) wird in kg angegeben  
Gewicht (**G**) wird in Newton angegeben ( $1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2$ ).

### Masse und Gewicht

Hat ein Astronaut eine Masse von 84 kg, wieviel wiegt er dann auf  
a) der Erde  
b) dem Mond  
c) dem Mars?

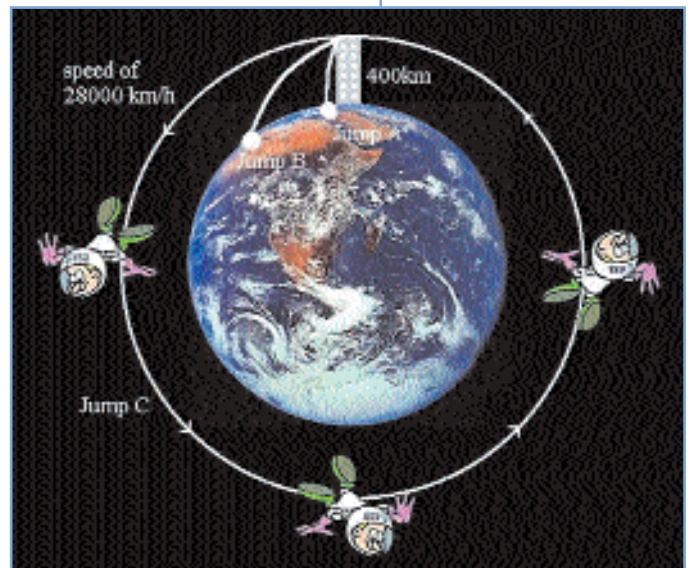


Auf dem Mond beträgt die durch Gravitation bedingte Fallbeschleunigung ein Sechstel der Fallbeschleunigung der Erde (der Mond hat weniger Masse als die Erde, übt daher auch eine geringere Anziehungskraft aus). Obwohl Astronauten auf dem Mond dieselbe Masse haben, beträgt ihr Gewicht nur ein Sechstel ihres Gewichts auf der Erde, und so schweben sie von einem Punkt der Mondoberfläche zum anderen, für pointierte Schritte sind sie zu „leicht“!

### Schwerelosigkeit

Stellen wir uns einen immens hohen Turm von ungefähr 400 km Höhe vor. Würde ein Astronaut beispielsweise vom Dach dieses Turms in die Tiefe springen, würde er sich zunächst im **freien Fall** befinden, irgendwann jedoch auf dem Boden auftreffen (siehe Abbildung, Sprung A). Springt er mit einer gewissen Geschwindigkeit nach vorn, fällt er zwar weiter, er kommt aber trotzdem früher oder später am Boden an (Sprung B). Die Vorwärtsgeschwindigkeit muss groß genug sein (zirka 28.000 km/h), um zu verhindern, dass der Astronaut auf dem Boden auftrifft. Dann fällt er in einer kreisförmigen Bahn, dem Erdenrund folgend, (Sprung C), nämlich in einem **Orbit (Umlaufbahn)**. Ist die Geschwindigkeit zu groß, überwindet er die Anziehungskraft der Erde und wird ins Weltall hinausgetragen.

Dasselbe geschieht mit der ISS. Die Erdanziehung und die Vorwärtsgeschwindigkeit der Raumstation (28.000 km/h) bringen sie in einen Orbit der Erde. Die ISS befindet sich praktisch im **freien Fall** um die Erde und dies bewirkt die **Schwerelosigkeitsbedingungen** an Bord.



### Freier Fall

Wenn man sich im freien Fall befindet, hat man das Gefühl zu schweben. Wir kennen dieses Gefühl von der Fahrt nach unten in einem Aufzug oder wenn man mit einer Achterbahn in Schussfahrt nach unten rauscht.



Phase der Schwerelosigkeit während eines Parabelflugs

Wenn ein Körper sich im ständigen freien Fall befindet und keine Kräfte von außen auf ihn einwirken, wird er **schwerelos**. Diesen Zustand nennt man **Null-Gravitation**. Es ist allerdings sehr schwierig, sämtliche externen Kräfte von außen komplett zu eliminieren. Ein Körper, der beispielsweise in einer Entfernung

## 4.1 – Was bedeutet Gravitation?

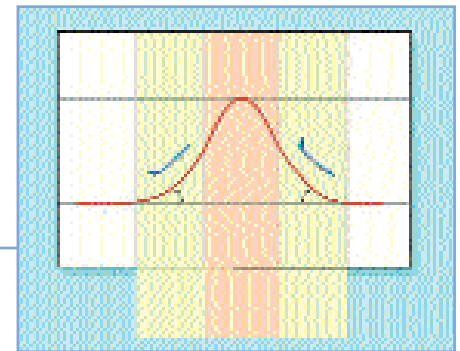
### $\mu\text{G}$ = Mikrogravitation

$\mu$  = Symbol für „mikro“, ursprünglich vom griechischen Wort „micros“, häufig mit „klein“ übersetzt, beträgt „ein Millionstel“ oder  $(10^{-6})$ .

von zirka 400 km die Erde umkreist (wie die ISS), wird mit Reibung konfrontiert, da immer noch ein bestimmter Widerstand aus der Atmosphäre vorhanden ist. Der wissenschaftliche Begriff für die „Restschwere“ eines Körpers im Orbit bzw. die „Fast-Schwereelosigkeit“ nennt man **Mikrogravitation ( $\mu\text{G}$ )**.

Wir sprechen dabei teilweise von **Gravitationskräften**. Wenn ein Aufzug z.B. nach oben fährt, hat man das Gefühl, als würde man in Richtung Boden gedrückt, als ob die Schwerkraft zugenommen hätte. Dieser Zug wird als positive Gravitationskraft bezeichnet und ist die Folge der Aufwärtsbeschleunigung des Aufzugs.

Die Anziehungskraft an der Erdoberfläche beträgt **1G**. In einer Achterbahn sind eventuell **2G** zu erreichen, bis zu **5G** in einem Eisbob oder an Bord einer Trägerrakete. Dies bedeutet, dass die Beschleunigung doppelt so hoch bzw. fünfmal so hoch ist wie die Schwerkraft der Erde, die normalerweise auf einen wirkt. In der Achterbahn merkt man das Phänomen besonders intensiv im Tal einer Abwärtskurve, bevor es wieder aufwärts geht.



Flugzeuge, die **parabelförmig** nach oben und unten fliegen, erreichen kurze Zeitintervalle mit erhöhten Gravitationskräften und Zeitintervalle mit reduzierten Gravitationskräften. Die [ESA-Parabelflüge](#) werden an Bord des Airbus A300 geflogen. Die Passagiere erleben Phasen mit einer Dauer von mindestens 20 Sekunden mit positiven Gravitationskräften, die unmittelbar von einer 20-sekündigen Phase reduzierter Gravitationskräfte abgelöst wird.



Parabelflüge werden genutzt, um während kurzer Zeitintervalle wissenschaftliche und technologische Forschung im Zustand der Schwerelosigkeit zu betreiben. Sie erlauben es, Instrumente zu testen, bevor diese tatsächlich im Weltraum eingesetzt werden. Astronauten können auf solchen Flügen die ersten Erfahrungen mit der Schwerelosigkeit machen, bevor sie einen Langzeitaufenthalt im All antreten.

### Fallenlassen!

Nimm eine leere Plastikflasche zur Hand (z.B. mit einem Fassungsvermögen von 1/2 Liter) und bohre mithilfe eines kleinen Bohrers oder einer Ahle ein Loch in die Seitenwand. Verschließe das Loch mit Abklebeband und fülle die Flasche zu 3/4 mit Wasser.

Folgende Arbeitsschritte sollten im Freien oder über einem Eimer durchgeführt werden:

1. Steige auf einen Stuhl oder eine Leiter.
2. Ziehe das Abklebeband ab und beobachte den Wasserstrahl.
3. Lasse die Flasche fallen und beobachte, wie sich der Wasserstrahl im freien Fall verhält.

Anhand dieses Versuchs kannst du beobachten, wie die Schwerkraft auf das Wasser einwirkt und im Innern der Flasche hydrostatischen Druck erzeugt. Dieser Druck bewirkt, dass Wasser aus der Flasche austritt.

Wird die Flasche losgelassen, befindet sie sich im freien Fall und somit unter Schwerelosigkeitsbedingungen. Dabei wird nicht nur die Flasche selbst, sondern auch ihr gesamter Inhalt schwerelos. Unter diesen Umständen sieht es so aus, als ob keine Schwerkraft auf das Wasser einwirken würde, es gibt demzufolge auch keinen hydrostatischen Druck. Der Wasserstrahl unterbleibt.

Wenn du drei Löcher in einem Abstand von etwa 5 cm vertikal nebeneinander bohrst, und dasselbe Experiment nochmals durchführst, wirst du feststellen, dass sich der hydrostatische Druck entsprechend der Position der Löcher verändert.



### Die Glovebox (Handschuhkasten)

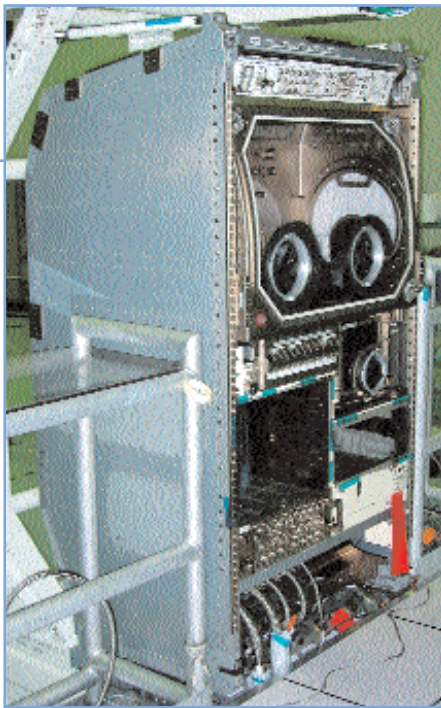
An Bord der ISS gibt es mehrere solcher [Gloveboxes](#), die die Durchführung von Experimenten in absolut keimfreier (steriler) Umgebung ermöglichen.

Eine Glovebox ist stets so konzipiert, dass der Luftdruck in ihrem Innern geringer ist als der außen herrschende. Falls also ein plötzliches Leck in der Box entstehen würde, würde die Luft von außen hineingesogen. Diese Vorsichtsmaßnahme bewirkt, dass sämtliche gefährlichen Stoffe wie Pulver, Säuren oder giftige Substanzen in der Box verbleiben und die ISS nicht kontaminieren können, schließlich haben Sicherheit und Gesundheit der Astronauten stets Priorität.

Die Glovebox auf der Abbildung rechts ist Bestandteil des [Biolab](#). Dieses wird ins Columbus-Labor integriert. Es wurde speziell für biologische Experimente konzipiert.



Auf der Abbildung unten ist eine größere Glovebox zu sehen, die [Microgravity Science Glovebox](#) (Glovebox für die Schwerelosigkeitsforschung), die von der ESA konstruiert und am 6. Juni 2002 zur ISS befördert wurde. Sie wird für Forschung in mehreren wissenschaftlichen Bereichen genutzt.



### Experimente mit Schaum

An Bord der ISS wird eine Vielzahl von Experimenten durchgeführt, unter anderem auch Experimente mit Schaum. Mit ihnen soll das Verhalten von Schaum unter Schwerelosigkeitsbedingungen untersucht werden. Durch entsprechende Verwertung der Versuchsergebnisse könnte die Industrie ihre Produkte verbessern.

Versuche, die Durchführung eines Schaumexperiments in einer Mikrogravitationsbox nachzuvollziehen, indem du dir selbst eine Box nachbaust. Experimente mit Schaum müssen, sollen sie unter Schwerelosigkeitsbedingungen erfolgen, in luftdicht verschlossenen Behältern vorbereitet und durchgeführt werden, ansonsten würden die Flüssigkeiten frei im Raum umherschweben. Da es nicht möglich ist, Flüssigkeiten von einem Behältnis ins andere umzufüllen, werden sie mit Hilfe einer Spritze aus einem Behältnis aufgezogen und ins andere Behältnis hineingespritzt.

Es gibt verschiedene Arten von **Schäumen**, z.B.:

- Nahrungsmittelschäume (Schlagsahne, Schaum auf Bier und anderen Erfrischungsgetränken, Brot, Kuchen usw.)
- Reinigungsschäume (Seife)
- Körperpflegeprodukte (Duschschaum, Schaumbad)
- Schaumlöschmittel (zusätzlich oder anstelle von Wasser oder Sand)
- Metallschäume (extrem leicht und sehr stabil; als Baumaterial, als Stoß- und Schalldämpfer verwendet)





Frank de Winne, belgischer ESA-Astronaut, bei der Arbeit mit der Mikrogravitationsbox.

### Entwerfe und konstruiere ein Mikrogravitationsboxmodell

Führe ein Brainstorming im Hinblick darauf durch, welche Materialien dir zur Verfügung stehen und für das Modell verwendet werden können. Entwerfe und konstruiere das Modell.

Beachte beim Entwurf der Box Folgendes:

- Du musst für die Durchführung des unten beschriebenen Schaumexperiments genügend Raum im Innern der Box einkalkulieren;
- Die Box sollte oben transparent sein, damit du deine Arbeitsschritte im Innern der Box genau verfolgen kannst;
- Die Handschuhe sollten so angebracht werden, dass keine Luft entweichen kann;
- Die Box muss über eine Öffnung verfügen, die fest verschließbar ist, um das Versuchsmaterial im Innern luftdicht zu verschließen.

### Experiment mit Schaum in der Glovebox

#### Es wird Folgendes benötigt:

- Glovebox, eine Spritze, ein Reagenzglas und eine Glasschüssel, um die Lösung zu mischen (oder zwei geschlossene Reagenzgläser)
- 5 ml verdünnte essigsäure Lösung (Verhältnis: 60% starker, klarer Haushaltessig + 40% Spülmittel)
- 1 – 2 g Natriumbicarbonat (oder einige Gramm Backpulver)



#### Vorbereitung und Durchführung des Experiments:

Lies das Experiment unten durch und überlege dir, was dabei passiert. Beschreibe deine Einschätzung mit eigenen Worten, bevor du das eigentliche Experiment durchführst

1. Mische die essigsäure Lösung wie angegeben und verbringe sie und die Spritze in die Glovebox.
2. Stelle das Reagenzglas mit etwas Natriumbicarbonat ebenfalls in die Glovebox.
3. Verschließe die Glovebox und führe deine Hände in die Handschuhe ein.
4. Ziehe die essigsäure Lösung mit der Spritze auf und gib die Lösung zum Natriumbicarbonat im Reagenzglas hinzu.

#### Beobachte und beschreibe:

Die Größe der gebildeten Blasen und die Struktur der Blasen, wenn sie wieder in den flüssigen Zustand übergehen.

#### Diskutiert gemeinsam:

- Vergleiche deine Einschätzungen vor dem Experiment mit dem, was tatsächlich passiert ist – gibt es Abweichungen?
- Was beeinträchtigt die Form des Schaums, wenn er zerplatzt?
- Wie würde die Form des zerplatzen Schaums unter Schwerelosigkeitsbedingungen aussehen?

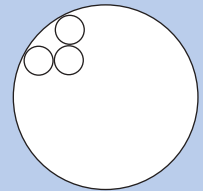
## 4.2 – Forschung an Bord der ISS

Bei der Herstellung von Schaum können drei verschiedene Stadien beobachtet werden:

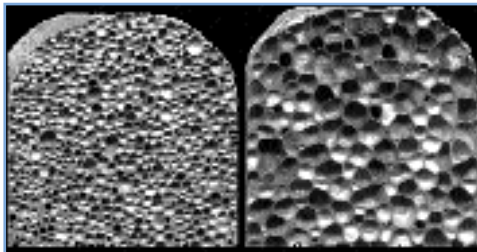
1. **Schaumbildung** – wenn das Gas in die Flüssigkeit eingeschlossen wird.
2. **Koaleszenz** – wenn sich die Bläschen vereinigen und größere Blasen bilden.
3. **Flüssigkeitsabscheidung** – wenn die Bläschen aufbrechen und wieder in den flüssigen Zustand übergehen.

### Oberfläche

1. Errechne den Umfang des großen Kreises.
2. Zeichne kleine Kreise in den großen Kreis hinein.
3. Berechne den Umfang eines kleinen Kreises.
4. Berechne den gesamten Umfang aller kleinen Kreise.
5. Welche Oberfläche ist größer – die des großen Kreises oder die der Summe der kleinen Kreise?

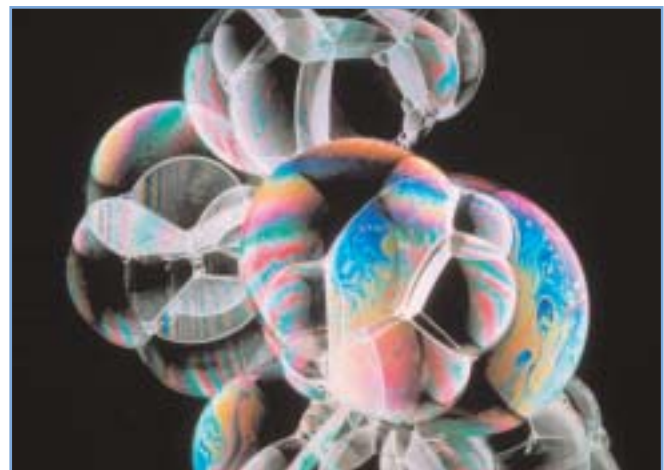


Die Ursache dafür, dass die Bläschen sich vereinigen ist die **Oberflächenspannung**. **Oberflächenspannung** kann als diejenige Kraft bezeichnet werden, die auf die Oberfläche einer Flüssigkeit einwirkt. Dabei reagiert die Oberfläche als bestünde sie aus elastischer Haut – wie bei einem Luftballon. Die Bläschen versuchen, die Oberfläche zu verkleinern, daher verbinden sie sich zunehmend; sie tendieren eher dazu, eine große Blase zu bilden, als in Form vieler kleiner Bläschen zu existieren.



Auf der Erde werden die dünnen Flüssigkeitsmembrane der Bläschen von der Schwerkraft nach unten gezogen, was die Bläschen zum Platzen bringen kann. Dies geschieht auch bei einer Schaumstruktur mit unterschiedlich großen Bläschen.

Im Weltraum dagegen werden die Bläschen nicht nach unten gezogen, weil keine Anziehungskraft nach unten vorhanden ist; der Schaum zerplatzt quasi in alle Richtungen, wodurch er gleichmäßiger wird, was Form und die Größe der Bläschen angeht. Die Bläschen setzen sich an der Innenwand des Behältnisses fest, während sich im Zentrum eine größere Luftblase bildet. Auch dies wird durch Oberflächenspannung bedingt.



### Pflanzenexperimente

Pflanzen sind für das Leben auf der Erde unabdingbar und spielen daher auch bei zukünftigen Weltraummissionen eine große Rolle. Weltraumforscher, die sich für lange Zeit auf Weltraummission begeben, werden sich zukünftig wahrscheinlich sogar von Pflanzen ernähren müssen, um ihr eigenes **Überleben** zu gewährleisten.

Es wird nämlich kaum möglich sein, sämtliche Nahrungsmittel für einen langfristigen Aufenthalt im Weltraum an Bord mitzuführen, da die Ladekapazitäten in einem Raumfahrzeug äußerst begrenzt sind. Eine mögliche Lösung für dieses Problem wäre, dass die Astronauten für ihre Ernährung selbst Nutzpflanzen an Bord anbauen. Bevor wir jedoch Pflanzen als **Nahrungsquelle** unbesehen verwenden können, müssen wir zunächst einmal untersuchen, wie sie auf die Bedingungen in Schwerelosigkeit reagieren.



Pflanzenexperimente werden auf Grund der besonderen Bedingungen der Schwerelosigkeit ebenfalls in luftdichten Containern durchgeführt – denn wie wir bereits wissen, würden ansonsten Erde und Wasser frei im Raum herumschweben. Auf dem Bild rechts ist einer der Experimentcontainer zu sehen, der speziell für die Pflanzenforschung im Weltraum konzipiert wurden. Er enthält – ähnlich wie wir das bei den Astronauten gesehen haben – ein Lebenserhaltungssystem, das sie mit der richtigen Konzentration verschiedener Gase in der Luft, mit Wasser, Licht und angenehmer Temperatur versorgt.

Aber woher wissen die Pflanzen denn nun, in welche **Richtung sie wachsen sollen**, wo es doch in Schwerelosigkeit kein tatsächliches Oben und Unten gibt?

Anhand von Experimenten, die Wissenschaftler bereits auf früheren Weltraummissionen durchgeführt haben, weiß man, dass Pflanzen in jede Richtung wachsen können. Nach einer gewissen Zeit scheinen sich die Pflanzen allerdings an die sie umgebenden Bedingungen zu adaptieren und suchen sich die stabilste Wachstumsrichtung. Sie beginnen, andere Quellen der Orientierung als die Schwerkraft zu nutzen: für die Blätter ist **Licht** der entscheidende Bezugspunkt, während Wurzeln sich nach dem **Wasser** strecken. Die Forschung hat außerdem neue Erkenntnisse über den Haushalt von Pflanzen geliefert, der eigentliche Wachstumsprozess ist jedoch noch weitgehend ungeklärt.



*Astronauten, die viele Monate an Bord der ISS verbracht haben, sagen, dass sie das gewohnte Grün in ihrer Umgebung vermissen und daher gerne Pflanzenexperimente durchführen. Vielleicht gehören Pflanzen schon bald zum ganz normalen Ambiente eines Raumfahrzeugs, schon allein deshalb, weil durch sie die Umgebung gleich viel freundlicher wirkt und sie sich positiv auf den Gemütszustand der Astronauten auswirken.*

Die Ergebnisse der Pflanzenforschung im Weltraum führen möglicherweise dazu, dass Pflanzen an Bord von Raumfahrzeugen zunehmend genutzt werden, z.B. um die Konzentration verschiedener Gase innerhalb der Kabine zu regulieren (Pflanzen absorbieren Kohlendioxid und setzen Sauerstoff frei) und auch zur Wasserwiederaufbereitung (denn sie können zur Filtration von Abwasser verwendet werden). Diese Ergebnisse vermitteln außerdem wertvolle Erkenntnisse, von denen auch die Menschen auf der Erde profitieren können, z.B. wie man die Ernte steigern kann oder zur Entwicklung neuer Medikamente.



### Führe selbst ein Pflanzenexperiment durch

Wollen wir herausfinden, wie eine Pflanze wächst, müssen wir die Faktoren ermitteln, die für ihr Wachstum maßgeblich sind. Hierzu können wir die Pflanze in lichtreicher Umgebung halten oder in Dunkelheit, wir können ihr Wasser geben oder nicht, ihr Luft zuführen oder sie im Vakuum halten.

#### Deine Aufgabe besteht darin:

Herauszufinden, wie sich Pflanzen unter unterschiedlichen Lebensbedingungen verhalten.

1. Führe ein Brainstorming im Hinblick darauf durch, welche Umweltbedingungen das Wachstum der Pflanzen beeinflussen.
2. Lege fest, was genau du erforschen möchtest und erstelle einen Plan für das entsprechende Experiment, einschließlich:
  - a. den dafür erforderlichen Utensilien;
  - b. der Art und Weise wie du das Experiment durchführen möchtest;
  - c. dessen, was deiner Meinung nach passieren wird;
  - d. genauer Angaben bezüglich Zeitpunkt und Art und Weise der Ermittlung von Versuchsergebnissen, die du zusammentragen möchtest.
3. Ermittle und sammle sämtliche wichtigen Ergebnisse.
4. Werte die von dir zusammengetragenen Ergebnisse aus. Vergleiche die tatsächlichen Ergebnisse mit den Einschätzungen, die du vor der Durchführung des Experiments angestellt hast.
5. Erkläre, warum sich die Pflanzen in der von dir beobachteten Weise verhalten haben.

#### Euer Beitrag zu einer Weltraummission:

1. Diskutiert gemeinsam, ob euer Experiment in dieser Form auch an Bord der ISS durchgeführt werden könnte oder ob ihr dazu bestimmte Änderungen vornehmen müsstet.
2. In welcher Hinsicht würden sich eurer Meinung nach die Pflanzen an Bord der ISS anders verhalten?
3. Welche zusätzlichen Aspekte der Untersuchung würdet ihr für das Experiment an Bord der ISS noch anregen und warum?
4. Ziehe verschiedene Quellen heran, um dich über Photosynthese und Zellatmung zu informieren. Erstelle eine schriftliche Zusammenfassung der verschiedenen daran beteiligten Vorgänge und veranschauliche sie (fertige z.B. eine entsprechende Zeichnung an). Diskutiert gemeinsam, ob diese Prozesse für das Leben an Bord der ISS eine wichtige Rolle spielen könnten.



#### Samen

Du kannst verschiedene Arten von Samen für das Experiment verwenden.

Eine der im Rahmen von Pflanzenexperimenten an Bord der ISS untersuchten Pflanzen heißt *Arabidopsis thaliana*. Die Samen sind ziemlich klein, vielleicht kannst du sie irgendwo auftreiben. Du kannst aber ebenso Kresse- oder Rettichsamen verwenden, die zur selben botanischen Familie gehören.

Versuche es auch mit: Weizen, Bohnen, Mais, Schnittlauch oder Ringelblume.

Manche der Experimente, die an Bord der ISS durchgeführt werden, sollen Verhalten und Beständigkeit bestimmter Materialien unter den extrem harten Außenbedingungen im Weltall testen. Eines davon, das so genannte **Materials Exposure and Degradation Experiment (MEDET)** umfasst eine ganze Reihe wissenschaftlicher Versuche, in dessen Rahmen bestimmte Materialien über einen gewissen Zeitraum außerhalb der ISS installiert, auf diese Weise den Außenbedingungen permanent ausgesetzt und so auf ihre Ermüdung untersucht werden, in diesem Fall über einen Zeitraum von drei Jahren. Danach wird das Experiment auf die Erde zurückgebracht und ausgewertet.



MEDET verfolgt drei wesentliche wissenschaftliche Zielsetzungen:

1. Die Konstrukteure von Raumfahrzeugen erhalten dadurch wichtige Informationen, ob und wie sich die Materialien im Weltraum bewähren.
2. Es wird untersucht, wie von Menschenhand geschaffener Weltraummüll auf Materialien einwirkt, die zur Herstellung der Fenster verwendet werden.
3. Dadurch können Mikrometeoriten und Weltraummüll analysiert werden, mit denen die Raumstation jeden Tag mehrfach kollidiert.

### Die sieben Experimente:

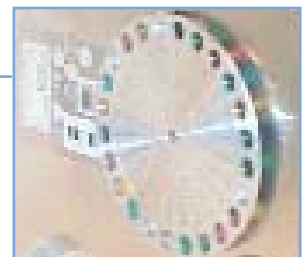


#### Experiment 1: Mikrokalorimeter

Mikrokalorimeter sind Geräte, mit denen die Temperatur gemessen wird. MEDET verfügt über insgesamt 14 dieser Temperaturmesser, die jeweils andere Materialproben enthalten. Auf diese Weise möchte man untersuchen, ob die extrem hohen und niedrigen Temperaturen, denen die Raumstation bei ihrem Flug durch die Umlaufbahn der Erde ausgesetzt ist, die Eigenschaften der Materialien beeinträchtigen können.

#### Experiment 2: Spektrometer

Ein weiteres Experiment von MEDET ist eine rotierende Metallscheibe, die 22 kleine Scheiben aus unterschiedlichem Fensterglasmaterial enthält. Fällt Sonnenlicht darauf, durchdringen manche Strahlen diese nicht, während andere ungehindert hindurchdringen. Unter der Scheibe misst ein Spektrometer, wie sich das Licht beim Einfall durch die Probescheiben verändert.



#### Experiment 3: Detektor für Weltraummüll

Dieser Detektor misst Mikrometeoriten und Weltraummüll, das heißt kleinste Partikel, die mit rasender Geschwindigkeit durchs All fliegen.

Der Detektor besteht aus vier Kondensatoren, die elektrische Energie speichern. Jeder Kondensator hat zwei Anschlüsse, die mit zwei Metallplatten verbunden sind, die wiederum durch ein Dielektrikum getrennt werden, eine spezielle Isolierschicht, die elektrische Energie nicht leitet. Kollidiert ein Mikrometeorit mit dem Detektor,

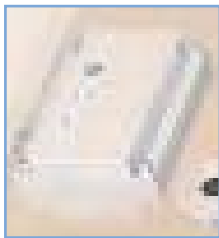
wird das Dielektrikum zerstört und der Kondensator verliert sämtliche elektrische Energie. Die Größe des Mikrometeoriten wird danach gemessen, wie viel Strom benötigt wird, den Kondensator wieder aufzuladen (je mehr Strom erforderlich ist, umso größer der Mikrometeorit).

### Experiment 4: Aerogel

Aerogel ist ein blockförmiges Gebilde aus Siliziumdioxid geringster Dichte, das Mikrometeoriten und Weltraummüll „einfängt“. Durch das Aerogel werden die Hochgeschwindigkeitspartikel abgebremst, ohne sie dabei zu zerstören. Sie bleiben sogar für eine spätere Analyse erhalten. Aerogel liefert Informationen über die Art der Partikel, die mit der Raumstation kollidieren, mit welcher Geschwindigkeit sie durchs Weltall jagen und woraus sie bestehen.

### Experiment 5: Druckmessgerät

Druckmessgeräte werden verwendet, um den außerhalb der Raumstation herrschenden Druck zu messen.



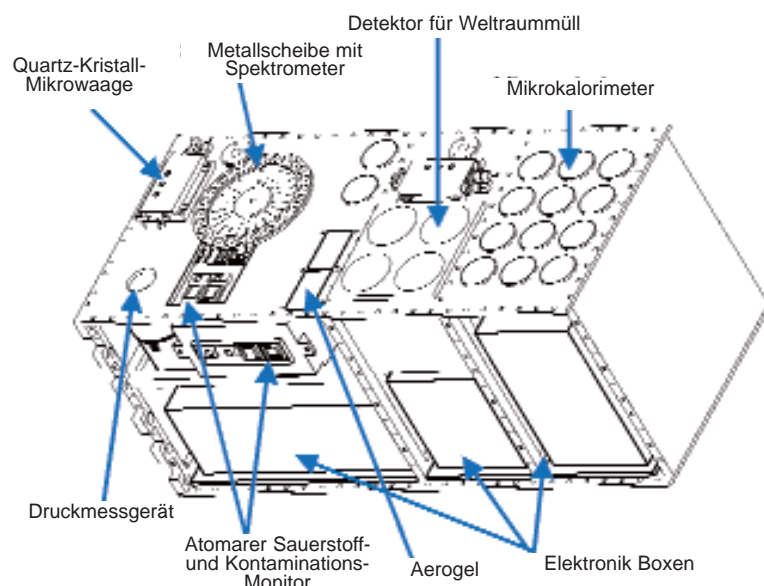
### Experiment 6: Quartz-Kristall-Mikrowaage (QCM)

Die QCM misst atomaren Sauerstoff und Kontamination im Weltraum. Atomarer Sauerstoff ist ein hochreaktiver Sauerstoff, der Materie im Weltraum angreift, so dass sie sich schließlich zersetzt.

Die QCM enthält ein so genanntes Schwingkristall, dessen Anzahl Schwingungen pro Sekunde genau bekannt ist. Wird dieses Kristall durch den Kontakt mit atomarem Sauerstoff angegriffen oder lagern sich kontaminierende Partikel an ihm an, verändert sich seine Gesamtmasse, was sich wiederum auf seine Schwingungsfrequenz auswirkt. Wie viel atomarer Sauerstoff oder Kontamination vorhanden ist, kann dann anhand der entsprechenden Änderung der Schwingungsfrequenz des Kristalls ermittelt werden. Ist die Kontamination des Kristalls zu hoch, werden die Ablagerungen mithilfe spezieller Heizsysteme verdampft und das Experiment kann von neuem beginnen.

### Experiment 7: Southampton Transient Oxygen and Radiation Monitor (STORM)

Mit dem STORM-Experiment wird die Konzentration von atomarem Sauerstoff, ultravioletter Strahlung und Röntgenstrahlung gemessen, die von der Sonne ausgeht.



Das MEDET-Experiment auf der ISS

### Untersuche, wie sich Umwelteinflüsse auf bestimmte Materialien auswirken.

Viele Metalle reagieren mit in der Luft befindlichen Substanzen und korrodieren. Eisen zum Beispiel reagiert mit Sauerstoff und Wasser. Das Ergebnis dieser chemischen Reaktion ist die Bildung von Rost. Um Korrosion zu vermeiden, können verschiedene Beschichtungen verwendet werden, um das Metall zu schützen. Mithilfe des folgenden Experiments kannst du selbst untersuchen, wie die auf der Erde herrschenden Umweltbedingungen sich auf bestimmte Materialien auswirken:

#### Du benötigst dazu:

- 3 gleiche Probenahmesets verschiedener Materialproben, z.B. aus folgenden Materialien:
  - Eisen
  - Stahl
  - Kupfer
  - Aluminium
  - Eines der obigen Materialien mit Beschichtung (z.B. verzinkter Eisennaegel)
- 3 Kunststofftablets oder ähnliches, auf denen die Materialproben angeordnet werden
- Kamera
- Versuchsprotokoll

#### Vorbereitung und Durchführung des Experiments:

Lies die Versuchsbeschreibung unten durch und überlege, was dabei passieren könnte. Beschreibe deine Einschätzung mit eigenen Worten, bevor du das eigentliche Experiment durchführst.

1. Entscheide, welche Materialien du als Proben verwenden möchtest und stelle drei Proben von jedem Material bereit.
2. Ordne auf den Kunststofftablets jeweils drei identische Probenahmesets an. Achte darauf, dass die Materialproben sich nicht gegenseitig berühren (du kannst sie auch in getrennten Behältnissen auf das Tablett stellen).
3. Fotografiere die Materialproben und beschreibe ihr Aussehen in einem entsprechenden Versuchsprotokoll.
4. Platziere nun ein Probenahmeset im Freien, beispielsweise auf dem Schulhof oder zu Hause vor deinem Fenster, und eines dort, wo die Luft deutlicher verschmutzt ist, (z.B. nahe einer Industriefabrik oder in einem Bereich, in dem dichter Verkehr herrscht). Behalte ein Set zum Vergleich bei dir zu Hause auf. Achte darauf, deine Außenproben an einem sicheren Platz unterzubringen!
5. Überprüfe die Materialproben alle 2 – 3 Wochen über einen Zeitraum von insgesamt 12 Wochen. Fotografiere sie jedes Mal und achte auf jede kleinste sichtbare Veränderung, die du dann in dein Versuchsprotokoll einträgst.
6. Wenn die 12 Wochen sind, vergleiche die von dir zusammengetragenen Beobachtungen und Ergebnisse und diskutiere mit den anderen, inwiefern sich Umwelteinflüsse auf die Materialproben ausgewirkt haben, was mit ihnen in der Zwischenzeit geschehen ist und warum?

