



Mit Astronauten ins Weltall



Lehrermaterialien
und Mitmach-Experimente

Klassen 3 bis 6

Mit Astronauten ins Weltall

**Lehrermaterialien
und Mitmach-Experimente**

Klassen 3 bis 6

Hinweis

Zugunsten einer leichteren Lesbarkeit wird in diesem Heft nicht immer ausdrücklich die weibliche Form genannt. Selbstverständlich sind aber immer weibliche und männliche Personen gemeint: Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Astronautinnen und Astronauten, Pilotinnen und Piloten usw. Wir bitten für dieses Vorgehen um Ihr Verständnis.

1. Auflage 2017

Herausgegeben vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und Klett MINT GmbH
in Zusammenarbeit mit der Deutschen Physikalischen Gesellschaft und der Stiftung Jugend forscht.
© Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) Köln und Klett MINT GmbH, Stuttgart

Redaktion:

Dr. Volker Kratzenberg-Annies, DLR Köln
Prof. Dr. Arnulf Quadt, Universität Göttingen und DPG
Hanne Lier, Medienwerk Lier, Stuttgart

Redaktionelle Beiträge und Mitwirkung:

Dr. Richard Bräucker, Frank Fischer, Sebastian Funk, Ulrike Krings Rocha, Dr. Michaela Lemmer,
Dr. Christoph Pawek, Melanie Rutowski, Gerhard Samulat, Dr. Dirk Stiefs, Dr. Albrecht Weidemann

Projektkoordination und Herstellung: Petra Wöhner, Klett MINT

Gestaltung: Bettina Herrmann, Stuttgart

Illustrationen: Nick Annies, Köln (außer Seite 84: Daniel Scherer, Landau)

Druck: C. Maurer Druck und Verlag GmbH & Co. KG, Geislingen an der Steige

Haftungsausschluss

Die in dieser Broschüre beschriebenen Mitmach-Experimente wurden sorgfältig ausgearbeitet. Sie können jedoch auch bei ordnungsgemäßer Durchführung und Handhabung mit Gefahren verbunden sein. Die hier vorgeschlagenen Mitmach-Experimente sind ausschließlich für den Einsatz im Schulunterricht vorgesehen. Ihre Durchführung sollte in jedem Fall durch eine Lehrkraft betreut werden. Die Richtlinien zur Sicherheit im Schulunterricht sind dabei einzuhalten. Die Herausgeber können keine Garantie für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Durchführbarkeit der hier beschriebenen Experimente geben. Die Herausgeber übernehmen keine Haftung für Schäden, die bei Durchführung der hier vorgeschlagenen Mitmach-Experimente entstehen. Die Herausgeber übernehmen keine Verantwortung oder Gewähr für die Richtigkeit der Inhalte auf genannten Webseiten Dritter.

Hinweis zur Genehmigung des Nachdrucks

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Für nicht-kommerzielle schulische Zwecke ist das Kopieren der Materialien erlaubt und erwünscht. Kopieren, Nachdruck oder Vervielfältigung, auch auszugsweise, außerhalb des Unterrichtseinsatzes nur mit schriftlicher Genehmigung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und des Verlages. Hinweis § 52a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Genehmigung eingescannt und in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen.



Grußwort

Naturwissenschaften und Technik bieten jungen Menschen unendlich viele Möglichkeiten für ihren weiteren Lebensweg. Das gilt auch ganz unabhängig von den spannenden beruflichen Perspektiven, die sich hier eröffnen: Indem wir Fragen stellen, Antworten suchen, Neues entdecken und erkunden wollen, erweitern wir den Horizont unseres Denkens und Wissens. Das alles bereichert unser Leben auf geradezu wunderbare Weise.

Kinder besitzen mit ihrer Neugier und ihrem Wissensdurst bereits die wichtigsten Eigenschaften, über die man in der Forschung verfügen muss. Auch mich selbst hat diese Begeisterung schon im Kindesalter gepackt. Und sie hat bis heute angehalten. In diesem Sinne wünsche ich diesem Heft viele junge Leserinnen und Leser – und viele Lehrkräfte, die die Faszination der Forschung an ihre Schülerinnen und Schüler weitergeben.

Alexander Gerst

Alexander Gerst
ESA-Astronaut

Kleines Foto: Alexander Gerst mit einem Andruck dieses Heftes

Großes Foto: Blick in das Innere einer Zeitkapsel, die zusammen mit Alexander Gerst die Erde umkreisen wird. Sie enthält unter anderem die Wünsche Tausender Schülerinnen und Schüler für die Zukunft (auf einem Datenträger gespeichert) und wird erst 50 Jahre nach der Rückkehr zur Erde wieder geöffnet. Hier sieht man auf der Innenseite der kleinen Aluminiumkugel die Unterschrift von Alexander Gerst, geschrieben mit einem UV-Stift und daher nur bei entsprechendem Licht sichtbar.

Vorwort

Die Raumfahrt eignet sich in besonderer Weise, um das Interesse von Kindern und Jugendlichen an naturwissenschaftlichen Themen und Fächern zu fördern. Das gilt erst recht, wenn keine „unbelebten“ Satelliten, sondern Astronauten ins All fliegen. Wie stark spürt man während des Starts die Beschleunigung? Wie fühlt es sich an, schwerelos durch die Raumstation zu schweben? Wie schlafen Astronauten da oben? Was essen sie? Und natürlich: Wie sieht die Erde vom Weltraum betrachtet aus? Immer wieder werden diese und viele andere Fragen gestellt, wenn es um die Erlebnisse von Raumfahrern geht. Gerade auch junge Menschen wollen das alles verstehen, in Gedanken nachvollziehen, am liebsten miterleben. Das vorliegende Heft macht es möglich, fast jedenfalls. Es lässt die Schülerinnen und Schüler gewissermaßen selbst zu „Astronauten“ werden und in diese Rolle schlüpfen. Dazu enthält es zahlreiche Anregungen für Aufgaben, Übungen und Mitmach-Experimente, die – einer „echten“ Raumfahrt-Mission nachempfunden – so angeordnet sind, dass vom Start bis zur Landung alle wichtigen Etappen eines Fluges ins All behandelt werden.

Neben der Technik, mit deren Hilfe die Reise in den Weltraum überhaupt erst möglich wird, spielt in diesem Heft das Thema Schwerelosigkeit eine zentrale Rolle. Sie hat Auswirkungen auf nahezu alle alltäglichen Abläufe und erlaubt wissenschaftliche Untersuchungen, wie sie auf der Erde gar nicht möglich sind – und zwar in ganz unterschiedlichen Disziplinen: Allem voran betrifft das die Physik, aber auch biologische Fragestellungen, Abläufe im menschlichen Körper und viele andere Forschungsbereiche. So lernen die Schülerinnen und Schüler technische und naturwissenschaftliche Themengebiete kennen, die mit den entsprechenden Unterrichtsfächern korrespondieren. Zugleich wenden sie durch eigenes Konstruieren und Experimentieren, Messen und Rechnen die entsprechenden Methoden an. Und sie verstehen auch: Raumfahrt ist nicht nur faszinierend, sondern dient vor allem einer Vielzahl von Anwendungen, die uns auf der Erde nutzen.



Alexander Gerst betrachtet von der ISS aus die Erde. Mit der Art und Weise, wie er seine Eindrücke über das Internet weitergibt, begeistert er gerade auch Jugendliche.
Bild: NASA/ESA



Enormes Interesse der Öffentlichkeit: Alexander Gerst bei einem Vortrag. Bild: Stadt Stralsund/Ch. Rödel

An diesem Heft haben vier Partneereinrichtungen mitgewirkt: das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), die Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG), die Stiftung Jugend forscht e.V. und Klett MINT. Anlass für diese Sonderausgabe der DLR_School_Info ist die zweite Mission des deutschen ESA-Astronauten Alexander Gerst. Vier Jahre nach seinem ersten Flug zur Internationalen Raumstation ist er im Jahr 2018 ein weiteres Mal an Bord der ISS, um dort eine Vielzahl von Experimenten durchzuführen.

Wie zuvor löst seine Mission in der Öffentlichkeit eine große Resonanz aus, insbesondere bei Kindern und Jugendlichen. Da bietet es sich an, dieses Ereignis und damit auch die wissenschaftlichen und technischen Aspekte in altersgerecht vereinfachter Form zum Unterrichtsthema zu machen. Nutzen Sie als Lehrkraft diese Möglichkeit, Ihre Schülerinnen und Schüler für die faszinierende Welt der Forschung zu begeistern und nehmen Sie sie mit auf eine spannende Reise ins All.

10, 9, 8 ... der Countdown läuft!



Prof. Dr. Pascale Ehrenfreund,
Vorstandsvorsitzende
Deutsches Zentrum für
Luft- und Raumfahrt (DLR)



Dr. Sven Baszio,
Geschäftsführender Vorstand
Stiftung Jugend forscht e. V.



Prof. Dr. Rolf-Dieter Heuer,
Präsident
Deutsche Physikalische
Gesellschaft



Dr. Benny Pock,
Geschäftsführer Klett MINT

Das Wichtigste im Überblick	8
Eine kurze Geschichte der Raumfahrt.....	9
Die Internationale Raumstation	10
Forschung in Schwerelosigkeit	10
1. Vorbereitung, Start und Flug zur ISS	12
Aufgabe 1: Der Astronauten-Test	13
Aufgabe 2: Gestaltet euer Missions-Logo!	14
Aufgabe 3: Experimente zum Rückstoß- prinzip	16
– Version A: Die Luftballon-Strohalm- Rakete	17
– Version B: Die Brausetabletten-Rakete	17
– Version C: Die Wasser-Rakete	18
Aufgabe 4: „Ich starte ins All und nehme ... mit“	19
Aufgabe 5: Beschleunigung im Aufzug	19
Aufgabe 6: Warum starten die Raketen nach Osten?	20
2. Docking: „Rendezvous“ im All	21
Aufgabe 7: Wir bauen ein Periskop und finden damit den Weg zur ISS	22
Baut euer eigenes Periskop!	24
3. Willkommen auf der Raumstation!	26
Aufgabe 8: Die Raumstation: eine echte Puzzle-Arbeit!	27
– Variante A: Das kleine Tisch-Puzzle	28
– Variante B: Das große Fußboden-Puzzle	29
Aufgabe 9: Ein 3-D-Modell der ISS aus Abflussrohren	30
Aufgabe 10: Die Raumstation auf dem Schulhof	32
4. Alltag an Bord	33
4.1 Die „verrückte“ Welt der Schwerelosigkeit	34
Exkurs: Mikrogravitation	36
Aufgabe 11: Galileo Galileis Kugelbahn	38
Aufgabe 12: Der fallende Becher	40
Der fallende Becher	41
Aufgabe 13: Physikunterricht in der Turnhalle	42
– Variante A: Mit der Beschleunigungs-App auf dem Trampolin.....	42
– Variante B: Die schwerelose Apfelsine	42
Aufgabe 14: Die Fallkapsel.....	43
– Drop-Test A: Das Wasser-Luft-Experiment ..	44
– Drop-Test B: Die seltsame Kerzenflamme ...	45
Aufgabe 15: Konvektion – Das Kugel- Teilchen-Modell und die Alu-Spirale	45
Warme Luft ist leichter als kalte Luft	47
Aufgabe 16: Das Wasser-Rätsel	48
Aufgabe 17: Das gefälschte Schwebefoto ...	49
4.2 Auswirkungen auf den menschlichen Körper	50
Aufgabe 18: Der Drehwurm	51
Aufgabe 19: Morgens sind wir größer als abends!	52
Morgens sind wir größer als abends!	53
Aufgabe 20: Der Marmeladen-Test	55
4.3 Der Blick auf die Erde	56
Aufgabe 21: Das Geo-Quiz.....	57
Mach das Geo-Quiz!	58
Aufgabe 22: Die Bahn der ISS um die Erde....	60
Die Bahn der ISS um die Erde	61
Aufgabe 23: Der „Blaue Planet“ und der rote Sonnenuntergang im Glas	62
4.4 Sparsamer Umgang mit Ressourcen!	64
Aufgabe 24: Raumschiff Erde – Wasser, Luft und Energie	65
Aufgabe 25: Der selbst gebaute Filterturm....	65
Alles wird wiederverwendet – selbst das „Pipi“ in der Toilette!	67

4.5	Der Stundenplan der Astronauten	69	6.	Der Spacewalk	99
	Aufgabe 26: Der Bordstundenplan aus Lego-Steinen	70		Aufgabe 36: Unterwasser-Training	100
	Wie in der Schule: der Stundenplan der Astronauten	71		Aufgabe 37: Warum sind Raumanzüge weiß?	101
4.6	Kommunikation: Wie spricht man mit jemandem im Weltall?	74		Aufgabe 38: Marshmallows in der Vakuumglocke	101
	Aufgabe 27: Das Dosentelefon – ein „Quatsch-Satz“ geht auf die Reise	75		Aufgabe 39: Unsichtbares sichtbar machen	102
	Aufgabe 28: Händeklatschen auf Distanz – schneller gesehen als gehört	75	7.	Die Rückkehr zur Erde	103
	Aufgabe 29: Der Wecker und die Funkklingel im Vakuum	76		Aufgabe 40: Es wird heiß!	104
	Aufgabe 30: Signallaufzeiten – Tafelbild und Aufgaben zum Nachdenken und Rechnen	77		Aufgabe 41: Ei-Astronaut – bereit machen zur Landung!	105
5.	Forschung auf der ISS	78		Aufgabe 42: Auf einmal ist alles ganz schwer!	106
5.1	Kristallzüchtung	79	8.	Visionen für die Zukunft	107
	Aufgabe 31: Kristallforscher in Aktion!	79		Aufgabe 43: Mond und Mars auf dem Sportplatz und am Nachthimmel!	108
	Wir züchten Kristalle!	81		Aufgabe 44: Wir bauen ein „Dorf“ auf dem Mond	109
5.2	Medizin	83		Partnereinrichtungen	111
	Aufgabe 32: Die drehende Kakaotasse und die Bürste mit Steinen im Ohr	83			
	Was haben Kakao, eine Bürste und Steine mit unserem Ohr zu tun?	84			
	Aufgabe 33: Handstand-Fotos und Messungen an Stirn und Wade	87			
	Schwerelosigkeit: Was passiert im Körper der Astronauten?	88			
5.3	Biologie: Pflanzenwachstum	90			
	Aufgabe 34: Was brauchen Pflanzen zum Wachsen?	91			
	Was brauchen Pflanzen zum Wachsen? ...	92			
5.4	Materialforschung	94			
	Aufgabe 35: Hart oder weich, rau oder glatt?	95			
	Ihr seid Material-Detektive!	97			

Das Wichtigste im Überblick



Ein amerikanisches *Space Shuttle* in der Umlaufbahn. Diese Raumfähren haben viele Elemente der *ISS* ins All transportiert.
Bild: NASA

Zum Einstieg haben wir für Sie einige grundlegende Informationen zur Raumfahrt und zum Themenkomplex „Forschung in Schwerelosigkeit“ zusammengestellt. Zusätzliche Hintergrund-Infos finden Sie in den einzelnen Kapiteln – immer gefolgt von Anregungen für spannende Mitmach-Experimente, zu denen in einigen Fällen auch Schüler-Arbeitsblätter als Kopiervorlagen beigelegt sind (ein PDF des gesamten Heftes steht für Sie auf www.DLR.de/next in der Rubrik „Schule“ sowie auf www.dpg-physik.de bereit). Wenn sich einige Versuche eher an jüngere Kinder der 3. und 4. Jahrgangsstufe richten bzw. andere erst für etwas ältere Schülerinnen und Schüler ab der 5. Jahrgangsstufe geeignet sind, haben wir dies vermerkt. Wie das gesamte Heft wurden alle Übungen unter intensiver Mitwirkung von Wissenschaftlern und pädagogischen Fachkräften entwickelt. Sie wurden zudem in den Schülerlaboren des DLR (den sogenannten *DLR_School_Labs*), in einzelnen DPG-Projekten und auch von Lehrkräften ausgiebig getestet. Besonders haben wir darauf geachtet, dass die Versuche mit leicht erhältlichen „Bordmitteln“ zu realisieren sind. Die benötigten Materialien sind bei jedem Mitmach-Experiment aufgelistet.

Bei all dem verfolgen wir einen fächerübergreifenden Ansatz. Zum einen, weil er typisch für die Raumfahrt ist, die vielfältigen Disziplinen dient: von den Geowissenschaften bis zur Astrophysik, von der Humanmedizin bis zur Materialkunde. Zum anderen aber auch, um möglichst vielen Kindern je nach ihren Interessen und Talenten entgegenzukommen. So stehen zwar MINT-Themen deutlich im Mittelpunkt, aber auch sportliche und musisch-gestalterische Übungen haben ihren Platz. Und schließlich gibt es auch „Lernziele“, an die man beim Stichwort Raumfahrt zunächst vielleicht gar nicht denkt. Das gilt beispielsweise für einen gesunden Lebensstil: Astronauten ernähren sich bewusst und halten sich körperlich fit, was Vorbildfunktion für viele Kinder haben kann. Es gilt ebenso für einen anderen Aspekt, der uns wichtig ist: Raumfahrt ist Teamwork, und zwar oftmals in internationaler Zusammenarbeit. Das bedeutet Respekt, Rücksicht und Toleranz – für eine Crew im All genauso wie für das Miteinander in der Schule.

Eine kurze Geschichte der Raumfahrt

Die Raumfahrt begann 1957 mit dem Start des ersten Satelliten namens *Sputnik* durch die damalige Sowjetunion. Bis heute sind zahlreiche weitere Satelliten und Sonden hinzugekommen, die die Erde beobachten, Daten über Klima und Wetter liefern, Fernsehprogramme übertragen und moderne Navigationssysteme versorgen – oder weit abseits der Erde ferne Himmelskörper erkunden. Am 12. April 1961 flog Juri Gagarin als erster Mensch ins All. Etwas später taten es ihm die Amerikaner Alan Shepard und dann auch John Glenn nach. Die folgenden Jahre waren vom „Wettlauf zum Mond“ geprägt. Am 20. Juli 1969 landeten erstmals Menschen auf unserem Trabanten: die Amerikaner Neil Armstrong und Buzz Aldrin. Bis 1972 betraten im Rahmen des *Apollo*-Programms insgesamt zwölf Menschen den Mond. Sie brachten mehrere hundert Kilogramm Mondgestein zur Erde, dessen Analyse viele Erkenntnisse über die Entstehungsgeschichte des Mondes, aber auch über die kosmische Vergangenheit der Erde und des ganzen Sonnensystems lieferte.

Danach konzentrierte sich die bemannte Raumfahrt auf die Erdumlaufbahn. Erste Raumstationen – sie hießen *Saljut*, *Skylab* und *Mir* – dienten der Forschung in Schwerelosigkeit. Sie kreisten Monate und sogar Jahre um die Erde, wobei immer wechselnde Besatzungen an Bord waren. Die US-Raumfahrtagentur NASA entwickelte schließlich mit dem *Space Shuttle* eine wiederverwendbare Raumfähre: Damit wurde unter anderem das in Europa entwickelte Forschungslabor *Spacelab* im „Huckepackverfahren“ ins All und zurück zur Erde befördert. Auch viele Elemente, aus denen die heutige Internationale Raumstation *ISS* zusammengesetzt ist, wurden mit *Shuttle*-Flügen in die Umlaufbahn gebracht.



Die Erde – gesehen aus der Umlaufbahn um den Mond. Das Bild entstand während der letzten bemannten Mission *Apollo 17*. Bild: NASA



Der erste *Shuttle*-Start erfolgte am 12. April 1981. Bild: NASA

Die Internationale Raumstation



Die Internationale Raumstation *ISS*. Das Bild wurde im Jahr 2009 aus einem *Space Shuttle* aufgenommen. Bild: NASA

Der Aufbau der *ISS* begann 1998. An diesem größten Raumfahrtprojekt, das je in friedlicher internationaler Zusammenarbeit realisiert wurde, sind die USA, Russland, Europa, Kanada und Japan beteiligt. Die Station umkreist die Erde in rund 400 Kilometern Höhe. Sie ist dabei ca. 27 500 Kilometer pro Stunde schnell und benötigt etwa 90 Minuten für eine Erdumrundung.

Forschung in Schwerelosigkeit

Auf der *ISS* herrscht Schwerelosigkeit. Nicht nur Kinder und Jugendliche, sondern auch Erwachsene vermuten oft irrtümlich, dass dies mit der Entfernung von der Erde zu tun habe. Tatsächlich aber ist die Anziehungskraft unseres Planeten in 400 Kilometern Höhe noch nahezu vollständig wirksam (die Erde zieht ja sogar den Mond an, der etwa 400 000 Kilometer entfernt ist). Vielmehr ist es der permanente freie Fall, der die Schwerelosigkeit zur Folge hat: Antriebslos „fällt“ die *ISS* um die Erde – und die Astronauten im Innern der Station fallen gewissermaßen mit und schweben. Die Schwerelosigkeit (Fachleute sprechen von „Mikrogravitation“, was wir an geeigneter Stelle genauer erklären) bietet gleich mehreren wissenschaftlichen Disziplinen einzigartige Möglichkeiten für sehr aufschlussreiche Forschungsarbeiten. Dazu lesen Sie im Folgenden einige Beispiele.

Mitsamt ihrer Solarmodule ist die *ISS* so groß wie ein Fußballfeld: etwa 80 mal 100 Meter. Ihre Masse beträgt knapp 500 Tonnen, der Innenraum entspricht dem Volumen von zwei Passagierflugzeugen.

Es befinden sich in der Regel sechs Crewmitglieder an Bord. In einem festen Rhythmus kehren jeweils drei Raumfahrer nach einem halben Jahr zur Erde zurück, um wenige Wochen später durch drei neue Besatzungsmitglieder ersetzt zu werden. Etwa ein Vierteljahr danach werden auch die drei dienstälteren Crewmitglieder ausgetauscht.

Seit dem Ende des *Shuttle*-Programms im Jahr 2011 gelangen Raumfahrer nur noch mit russischen *Sojus*-Raumschiffen zur *ISS*, die vom Weltraumbahnhof Baikonur in Kasachstan starten. Die Raumschiffe werden durch *Sojus*-Raketen in eine Umlaufbahn befördert und nähern sich dann mit eigenem Antrieb der Station an, wo sie schließlich bis zur Rückkehr angedockt bleiben. Die Rückkehr erfolgt ebenfalls im *Sojus*-Raumschiff – genauer im Landemodul, in dem die Crew vor den heißen Temperaturen beim Eintauchen in die Atmosphäre durch einen Hitzeschild geschützt ist und das schließlich per Fallschirm weich landet.

Wenn man Metall erhitzt und so eine flüssige Schmelze erzeugt, spielen sich darin bei der Abkühlung und Erstarrung viele Prozesse ab, die schlussendlich die Qualität des Werkstoffs beeinflussen. Auf der Erde werden diese physikalischen Effekte aber von der dominierenden Schwerkraft überlagert, sodass sie sich nur bedingt analysieren lassen. In Schwerelosigkeit kann man sie dagegen „lupenrein“ untersuchen und mit diesem Wissen anschließend die industrielle Fertigung auf der Erde optimieren, was für viele metallverarbeitende Branchen von Bedeutung ist. Andere Experimente betreffen das Durchmischungsverhalten von Flüssigkeiten oder die Kristallzüchtung. Weil es oft missverstanden wird: Es sollen also auf der Raumstation nicht etwa neue Werkstoffe „in Serie“ produziert werden, sondern die Versuche in Schwerelosigkeit sollen Erkenntnisse über physikalische Abläufe liefern, um danach mit diesem Wissen auf der Erde die entsprechenden Verfahrenswesen zu optimieren.

Auch auf die Vorgänge im menschlichen Organismus hat die Schwerelosigkeit tiefgreifende Auswirkungen. Die Astronauten entwickeln Symptome, die irdischen Krankheitsbildern entsprechen: So bauen die Knochen Calcium ab, mangels Beanspruchung bildet sich die Muskulatur zurück, das Immunsystem wird geschwächt, der Salzhaushalt gerät durcheinander. Zudem verlagern sich Körperflüssigkeiten – weil nun keine Schwerkraft mehr da ist, die sie in Richtung Boden zieht – in die obere Körperregion, was zu weiteren Beschwerden führt: von einem erhöhten Augeninnendruck bis zu Kreislaufproblemen. Auch Gleichgewichtsstörungen und Desorientierung können in einer Welt ohne „Oben“ und „Unten“ auftreten. Nach der Rückkehr zur Erde bilden sich all diese Symptome wieder zurück. Da nur kerngesunde Menschen ins All fliegen dürfen und da man ihre medizinischen Daten schon während der gesamten Vorbereitung auf den Flug (und natürlich auch während der Mission und nach der Landung) sammelt, haben Mediziner die Möglichkeit, die Entstehung von Krankheitsbildern und die „Genesung“ unter Laborbedingungen zu verfolgen: wichtige Erkenntnisse auch für die irdische Medizin.

Woher „wissen“ Pflanzenwurzeln, in welche Richtung sie wachsen müssen? Wie nehmen Zellen Schwerkraft wahr? Und wie sensibel sind dabei ihre „Sensoren“? Das sind nur einige Fragen der Gravitationsbiologie. Neben der Grundlagenforschung interessiert hier auch die Frage, ob eine Crew eines fernen Tages auf dem monatelangen Flug zum Mars verschiedene Nutzpflanzen züchten kann, ohne dass sie unterwegs verkümmern.

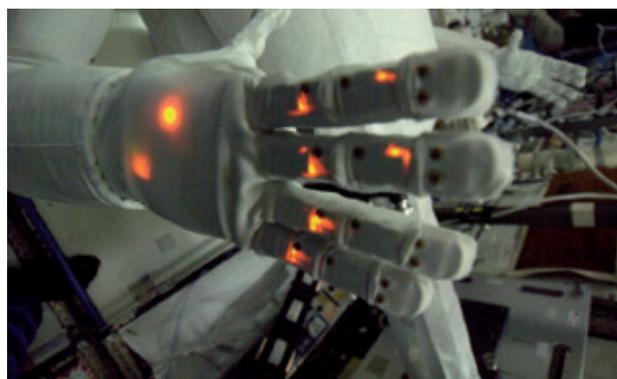
Neben der Schwerelosigkeits-Forschung gibt es weitere Experimente, die andere „Umgebungsbedingungen“ des Weltraums untersuchen. So fahndet ein großer Detektor, der außen auf der ISS angebracht ist, nach Antimaterie-Teilchen. Bei diesem Experiment geht es also um Grundsatzfragen zur Entstehung und Beschaffenheit des Universums. Strahlenbiologische Experimente gehen der Frage nach, ob Bakterienkulturen die kosmische Strahlung überleben. Die Ergebnisse könnten auch Hinweise darauf geben, ob Kometen einst die „Bausteine“ des Lebens auf die Erde importiert haben. Robotik-Experimente dienen schließlich dazu, den Menschen bei künftigen Raumflügen, insbesondere bei riskanten Außenbordarbeiten, zu entlasten. Das Know-how, das zur äußerst komplizierten Steuerung eines Weltraum-Roboters nötig ist, findet auch in der irdischen Robotik



Alexander Gerst baut eine Anlage zur Materialforschung ein. Bild: NASA/ESA



Eine Pflanze in Schwerelosigkeit. Bild: NASA



Die „Hand“ eines Weltraum-Roboters, der auf der ISS getestet wird. Bild: NASA/ESA

Anwendung: beim Entschärfen von Bomben, bei Tiefsee-Robotern zur Untersuchung von Wracks oder sogar in der Mikrochirurgie.

Damit sind wir in dieser kurzen Geschichte der Raumfahrt in der Gegenwart angekommen und es kann losgehen!

1. Vorbereitung, Start und Flug zur ISS

Der Weltraumbahnhof in Baikonur (Kasachstan). Von hier starten Raumfahrer zur ISS. Bild: NASA/Bill Ingalls



Auch ein Überlebenstraining gehört zur Astronauten-Ausbildung. Falls die Crew abseits des Zielgebiets landet, muss sie möglicherweise mehrere Tage auf sich allein gestellt klarkommen. Das wird lange vor dem Start trainiert. Hier zündet Alexander Gerst eine Leuchtfackel, um die Rettungsmannschaften auf sich aufmerksam zu machen. Bild: Gagarin Cosmonaut Training Centre

Raumfahrt-Projekte beginnen bekanntlich mit dem Start. Irrtum! Sie beginnen Jahre zuvor: mit einer sorgfältigen Planung, mit dem Training der Crew und mit der Auswahl der wissenschaftlichen Versuche. In diesem Kapitel finden Sie einige kleine Übungen, die den Vorbereitungen auf die Reise ins All gewidmet sind. Daran schließen sich Mitmach-Experimente an, die vom eigentlichen Start und dem Aufstieg in die Umlaufbahn handeln.

Streng genommen geht all dem natürlich die Auswahl geeigneter Kandidatinnen und Kandidaten für den Flug ins All voraus. Weil Kinder oftmals fragen, wie man Astronaut wird, hier vorab einige Anmerkungen: In erster Linie werden Wissenschaftler oder auch Piloten ausgewählt. Oft sind es Physiker oder Absolventen anderer naturwissenschaftlicher Studiengänge. Der deutsche ESA-Astronaut Alexander Gerst ist beispielsweise Geophysiker. Besondere Leistungen wie eine Doktorarbeit, wissenschaftliche Auslandsaufenthalte oder die Teilnahme an Expeditionen sind von Vorteil. Und gesund muss man natürlich sein. Ein wichtiger Faktor ist auch die Teamfähigkeit.



Zwei, die es geschafft haben: Mit Alexander Gerst wurde auch die Italienerin Samantha Cristoforetti ins europäische Astronautenteam aufgenommen – bei insgesamt über 8000 Bewerbungen! Hier sind die beiden während des Tauchtrainings im russischen Ausbildungszentrum nahe Moskau zu sehen. Bild: ESA

Experimente und Übungen

Aufgabe 1: Der Astronauten-Test

Astronauten müssen vieles können und wissen – und ebenso viel dazulernen. Das betrifft unter anderem eine genaue Kenntnis der Raumfahrzeuge mit all ihren technischen Systemen. Bei einer Mission zur Internationalen Raumstation geht es dabei nicht nur um die Station selbst, sondern auch um das Raumschiff, mit dem die Crew zur ISS fliegt. Natürlich wird auch vorausgesetzt, dass man sich in der Geschichte der Raumfahrt und zum Thema Weltraum bestens auskennt. Außerdem ist ein sehr gutes Hintergrundwissen zu den wissenschaftlichen Forschungsgebieten nötig. Wer Ingenieur oder Physiker ist, muss auch in Biologie oder Medizin bewandert sein – und umgekehrt. Sprachkurse sind ein weiterer Bestandteil der Ausbildung: Englisch ist selbstverständlich, auf der ISS kommt auch Russisch hinzu. Körperliche Fitness ist eine weitere Voraussetzung, um ins All fliegen zu dürfen; daher steht jede Menge Sport auf dem Trainingsprogramm und auch gesunde Ernährung ist ein „Muss“. Geschicklichkeit und Improvisationstalent sind ebenfalls wichtig, falls unterwegs etwas repariert werden muss.

Unsere erste Übung ist ein Mix aus Quiz und anderen Aufgaben für jüngere Kinder. Dabei bilden alle Schülerinnen und Schüler zusammen das Astronauten-Team. Sie haben lange trainiert, jetzt steht die Prüfung an! Stellen Sie den Kindern die Fragen bzw. Aufgaben auf der nächsten Seite. Wer es sich zutraut, meldet sich und gibt die Antwort oder macht die Übung vor. Am Ende ist natürlich die ganze Klasse „Sieger“ und hat das Zeug zum Flug ins All!

Zur Didaktik

- Die Kinder lernen den Wert einer vielseitigen Bildung und Ausbildung kennen.
- Die Kinder verstehen, dass auch ein gesunder Lebensstil mit Sport und bewusster Ernährung wichtig ist.

1. Wer schafft es, bis zur Tafel und zurück zum Platz auf einem Bein zu hüpfen?
2. Eine Biologie-Frage: Wie nennt man frisch geschlüpfte Frösche?
Antwort: Kaulquappen
3. Schreib deinen Vornamen auf die Tafel oder auf ein Blatt Papier und male gleichzeitig (!) mit der anderen Hand einen großen Kreis daneben.
4. Wie heißen die fünf Sinne des Menschen?
Antwort: sehen, hören, riechen, schmecken, tasten. **Hinweis:** Heutzutage werden u. a. auch Temperatur- und Schmerzempfindung zu den Sinnen gezählt, was man aber hier vernachlässigen sollte.
5. Kennst du ein Wort in drei verschiedenen Sprachen?
Beispiel: „danke“, „thank you“, „merci“
6. Was ist schwerer: 1 Kilogramm Blei oder 1 Kilogramm Eisen?
Hinweis: Das ist natürlich eine Scherzfrage, die die Aufmerksamkeit der Kinder testen soll. Würde man zwei gleichgroße Würfel aus Blei und Eisen vergleichen, wäre der Blei-Würfel schwerer.
7. Schließe die Augen, strecke die Arme weit zur Seite aus. Jetzt führst du die Arme langsam zusammen, bis sich die beiden ausgestreckten Zeigefinger treffen. Wer schafft es mit nur einem Versuch?
8. Lesen Sie als Lehrkraft folgende Buchstaben- und Zahlenreihe zwei oder drei Mal laut vor:
E 1 L 2 U 3 H 4 C 5 S 6
Wer hat sich die Abfolge gemerkt und kann sie anschließend auswendig aufsagen? Und wer hat das Wort entdeckt, das da – in umgekehrter Reihenfolge – in den Buchstaben steckt?
Antwort: SCHULE
9. Wer war der erste Mensch, der in den Weltraum geflogen ist?
Antwort: Juri Gagarin (1961)
10. Jetzt geht es um gesunde Ernährung: Hand hoch, wer zum Pausenfrühstück Obst oder Gemüse dabei hat!
11. Wie heißen die beiden Nachbar-Planeten der Erde?
Antwort: Venus und Mars.
Hinweis: Der Mond ist kein Planet.

Aufgabe 2: Gestaltet euer Missions-Logo!

Und so geht's:

Jede Crew, die ins All startet, hat ein Missions-Logo. Es wird auf den Raumanzügen angebracht und auch Raumfahrt-Fans erhalten es als Aufkleber oder Anstecknadel. Das Emblem ist auch auf den Internetseiten der großen Raumfahrtagenturen zu sehen. Unsere Aufgabe besteht aus zwei Teilen, bei denen zuerst recherchiert und diskutiert (Teil A) und anschließend selbst gemalt wird (Teil B).

Materialien

- Farbstifte
- Papier
- Scheren
- ggf. weiße Einweg-Overalls als „Raumanzug“ (dann auch Klebstoff zum Anbringen der Logos)
- ggf. PC mit Internet-Anschluss (für Recherche-Aufgabe)

Zur Didaktik

- Die Kinder üben sich in einer Vorform des konzeptionellen Gestaltens.
- Die Kinder lernen die Funktion von Symbolen kennen.
- Die Kinder lernen einige ausgewählte Raumfahrt-Missionen durch eigene Recherche näher kennen.

Teil A: Was bedeuten die Symbole?

Die Schülerinnen und Schüler recherchieren (je nach Alter), wie die Logos einiger Raumfahrt-Missionen aussahen und was sie bedeuten. Hier zwei Beispiele, die Sie natürlich auch ohne Recherche so den Kindern zeigen und dann in der Klasse diskutieren können:

- **Frage:** Warum ist bei der Mission *Apollo 11*, als erstmals Menschen auf dem Mond landeten, ein Adler zu sehen?



Antwort: Der Adler ist das Symboltier der USA. Deshalb hieß die Mondlandefähre, mit der Neil Armstrong und Buzz Aldrin im Juli 1969 auf der Mondoberfläche aufsetzten, „Eagle“ (zu Deutsch „Adler“).

- **Frage:** Warum steht auf dem Logo des ersten Fluges von Alexander Gerst „blue dot“?



Antwort: Die Mission hieß „blue dot“. Der „blaue Punkt“ symbolisiert die Erde, die auch der „Blaue Planet“ genannt wird. Damit sollte angedeutet werden, dass die Forschungsergebnisse dieses Fluges dem Leben auf der Erde dienen. Die Formulierung geht auf den berühmten Astronomen Carl Sagan zurück: Auf einem Bild der Raumsonde *Voyager 1*, die nach vielen Jahren weit ins All vorgedrungen war, sah die Erde wie ein „blasser blauer Punkt“ aus („pale blue dot“). Sagan mahnte in seinem Zitat, dass wir mit unserer kostbaren kleinen Welt sorgsam umgehen sollten (auf dem Logo der ersten Gerst-Mission sind deshalb die schützenden Hände um die Erde zu sehen).

Teil B: Das eigene Missions-Logo!

Zur Abwechslung wird jetzt gezeichnet und gemalt: Die Kinder entwerfen in Gruppenarbeit ihr eigenes Missions-Logo! Natürlich überlegt sich dabei jedes Team auch einen Namen oder ein Motto für seine Mission ins All. Geben Sie dazu lediglich das Format vor, das etwa die Größe einer Untertasse haben sollte. Der Rest ist der Phantasie der Kinder überlassen: Vielleicht sind Sterne abgebildet, die für die Anzahl der Crewmitglieder stehen, oder die Missionsbezeichnung setzt sich aus den Anfangsbuchstaben der Vornamen aller Teammitglieder zusammen. Die Schülerinnen und Schüler präsentieren anschließend ihre Entwürfe vor der ganzen Klasse und erklären, was sie bedeuten.

Hinweis: Wenn Sie das „perfektionieren“ wollen, können die Kinder das fertige Logo auf weißen Einweg-Overalls (Schutzanzügen zum Renovieren) an Brust oder Oberarm kleben und in diesen „Raumanzügen“ die weiteren Übungen aus diesem Heft absolvieren.



Die zweite Mission von Alexander Gerst heißt übrigens „Horizons“. Der Name soll darauf hinweisen, dass Raumfahrt und Forschung immer auch den Horizont unseres Wissens erweitern. Auch das können Sie je nach Alter der Kinder zum Gegenstand einer Diskussion machen.

Aufgabe 3: Experimente zum Rückstoßprinzip



Eine Sojus-Rakete auf dem Weg ins All.
Bild: NASA/Joel Kowsky

Die Crew hat ihr Training beendet, Raumschiff und Rakete sind startklar. Etwas mehr als zwei Stunden vor dem Start treffen die drei Raumfahrer – so viele passen in ein Sojus-Raumschiff – an der Startrampe ein. Mit dem Aufzug geht es in 50 Meter Höhe. Dort nimmt die Crew im Raumschiff Platz. Und dann ist es soweit: Die Triebwerke der Rakete zünden und der Flug ins All beginnt!

Doch wie und warum startet eine Rakete überhaupt? Die Antwort steckt im dritten Newtonschen Gesetz: *actio gleich reactio*. Aber keine Sorge: Auch ohne Latein und komplizierte Mathematik können selbst jüngere Schülerinnen und Schüler die grundlegende Physik eines Raketenstarts intuitiv begreifen. Denn das Rückstoßprinzip ist leicht nachvollziehbar: Am unteren Ende der Rakete strömt heißes Gas aus – und das treibt die Rakete in entgegengesetzter Richtung an. Dazu auf den folgenden Seiten Mitmach-Experimente in unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden – natürlich ohne heißes Gas. Sie können je nach Alter der Kinder eine Version auswählen, die dann von mehreren Teams gebastelt und getestet wird, oder es werden alle Versionen ausprobiert.

Zur Didaktik

- Die Kinder lernen intuitiv grundlegende physikalische Prinzipien kennen – hier vor allem das Rückstoßprinzip.
- Die Kinder üben ihr handwerkliches Geschick und die sorgfältige Durchführung von Experimenten.

Zur Erklärung

Ein Medizinball kuriert Missverständnisse

Aus den Triebwerken strömt heißes Gas nach unten aus – und das führt nicht nur zum Abheben der Rakete, sondern oft auch zu Missverständnissen. Denn viele Kinder denken, dass sich die Rakete auf diese Weise am Boden oder an der Luft „abstößt“ und dass auch die Hitze etwas damit zu tun hätte.

Dazu folgende Erläuterungen:

- Erstens werden Raketen und Raumschiffe auch im luftleeren Weltraum durch Zündung der Triebwerke vorangetrieben, stoßen sich also nicht irgendwo ab.
- Zweitens ist es physikalisch gesehen nicht wichtig, dass es sich um heißes Gas handelt, das aus den Triebwerken strömt: In einem der hier vorgeschlagenen Mitmach-Experimente strömt kaltes Wasser aus, was eine kleine Rakete ebenfalls vorantreibt. Entscheidend ist vielmehr, dass viel Masse möglichst schnell entgegen der Flugrichtung bewegt wird. Und genau das funktioniert bei echten Raketen am besten, indem viele Tonnen Treibstoff verbrannt und nach hinten ausgestoßen werden.

Ein einfaches Demo-Experiment kann dazu beitragen, beide Missverständnisse zu korrigieren: Ein Kind setzt sich auf ein Skateboard oder einen Stuhl mit Rollen, wirft möglichst ruckartig einen Medizinball von sich und wird dadurch samt Skateboard bzw. Stuhl in die entgegengesetzte Richtung bewegt. Der Medizinball hat Masse, ist aber zweifelsfrei kein Gas und auch nicht heiß – und es ist auch offensichtlich, dass sich hier nichts und niemand an der Luft abstößt. Wirft man den Medizinball langsamer oder nimmt stattdessen einen leichteren Tennisball, ist der Rückstoß geringer. Es kommt also auf Masse und Geschwindigkeit des „ausgestoßenen“ Mediums an.

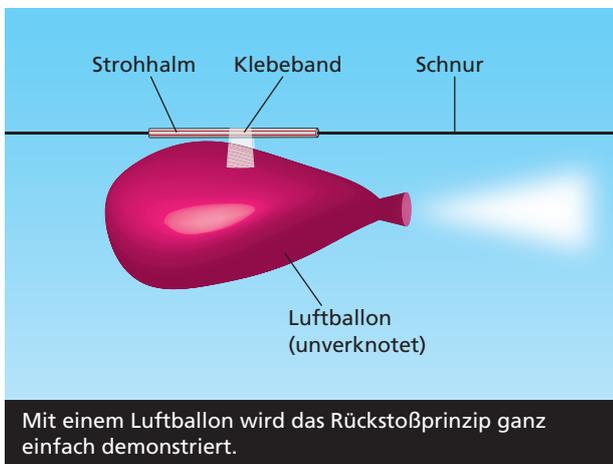
Version A: Die Luftballon-Strohalm-Rakete

Hier ein ganz simples Experiment für jüngere Kinder.

Materialien

- 1 dünne Schnur (2 Meter Länge)
- 1 Strohhalm
- Klebeband
- 1 Luftballon (wenn möglich mit länglicher Form)

Und so geht's:



Zuerst fädelt man eine ca. 2 Meter lange und dünne Schnur durch einen Strohhalm, sodass er darauf hin- und hergleiten kann. Die Schnur wird dann möglichst straff gespannt (etwa zwischen zwei Stühlen). Mit Klebeband befestigt man schließlich einen (möglichst länglichen) Luftballon am Strohhalm, der zuvor aufgeblasen, aber nicht verknötet wurde. Lässt man ihn nun los, entweicht die Luft und der Ballon saust an der Schnur entlang.

Version B: Die Brausetabletten-Rakete

Dies ist ein weiteres sehr einfaches Experiment für jüngere Kinder.

Materialien

- 1 Röhrchen mit Brausetabletten
- etwas Wasser

Und so geht's:

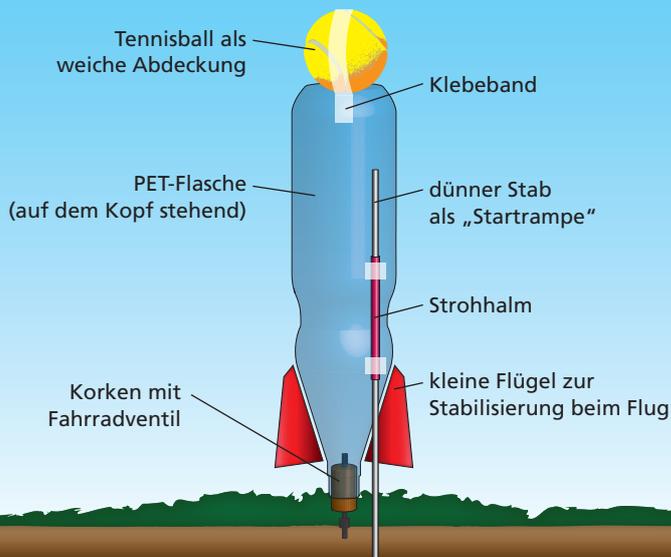
Ein Brausetabletten-Röhrchen wird geleert, dann mit einer halben Tablette sowie etwas Wasser gefüllt (die genaue Dosierung am besten vorher ausprobieren) und sofort mit dem Deckel verschlossen. Nun schnell das Röhrchen „kopfüber“ auf den Deckel stellen – und ein bis zwei Meter zurücktreten! Nach wenigen Sekunden hat sich die Brausetablette aufgelöst und durch die Bläschen so viel Druck im Röhrchen aufgebaut, dass die „Mini-Rakete“ nach oben schießt.

Hinweis: Am besten führen Sie das Experiment im Freien durch, da Wasser und Tablette Flecken auf dem Boden hinterlassen können. Sie können auch mit unterschiedlichen Mengen experimentieren und prüfen, welche „Dosierung“ am meisten Schub erzeugt.

Version C: Die Wasser-Rakete

Deutlich anspruchsvoller ist die Wasser-Rakete (oft auch als Wasser-Luft-Rakete bezeichnet), die eher für etwas ältere Schülerinnen und Schüler ab der 5. Klasse geeignet ist.

Bei jüngeren Kindern funktioniert der Versuch natürlich auch, hier sollten Sie allerdings beim Zusammenbau stärker eingreifen und den Start selbst durchführen.



Mit wenigen Mitteln lässt sich eine PET-Flasche in eine Wasser-Rakete verwandeln.

Materialien

- 1 PET-Flasche (1,5 Liter)
- Fotokarton oder Pappe
- 1 Tennisball (als „Schutzkappe“)
- 1 Korken (plus weitere in Reserve)
- 1 Fahrradventil
- 1 Luftpumpe (wegen Sicherheitsabstand nur mit Schlauch)
- Werkzeug (Messer, Schere, Bohrer)
- Klebeband, Klebstoff
- Wasser
- 1 dünner Metall- oder Holzstab (Startrampe)
- 1 Strohhalm (muss über den Startrampen-Stab passen)
- für Varianten weiteres Zubehör (siehe unten)
- ggf. Schutzbrillen

Und so geht's:



Start einer Wasser-Rakete. Bild: DLR

Im Handel sind fertige Wasser-Raketen erhältlich; die Rakete kann aber auch mit wenigen Haushaltsmaterialien selbst gebaut werden. Das Prinzip ist einfach: Die Rakete besteht hauptsächlich aus einer PET-Flasche (1,5-Liter), die mit der Öffnung nach unten und mit dem Flaschenboden nach oben zeigt.

Die PET-Flasche wird mit drei kleinen Flügeln aus Fotokarton oder Pappe ausgestattet, die im „unteren“ Bereich (nahe der Flaschenöffnung) mit Klebeband angebracht werden. Am Flaschenboden, der die „Raketenspitze“ bildet, wird eine möglichst weiche, stumpf geformte „Kappe“ angebracht (z. B. ein ganzer oder halber Tennisball, der mit Klebeband und Klebstoff befestigt wird).

In die Flaschenöffnung, die beim Start nach unten zeigt, wird ein Korken eingepasst. In den Korken wird (von der Lehrkraft) vorher ein Loch gebohrt, in das ein Fahrradventil gesteckt wird (damit das Ventil in den Korken und dieser wiederum in die Flaschenöffnung passt, den Korken ggf. etwas zurechtschneiden). Jetzt muss nur noch außen an der Flasche ein Strohhalm angeklebt werden: Er dient als Halterung, die man über die „Startrampe“ – eine dünne Holz- oder Metallstange, die fest im Boden steckt – stülpt.

Vor dem Start wird die Rakete natürlich noch „betankt“, indem man sie zu einem Drittel mit Wasser füllt. Anschließend kommt sie auf die Startrampe. Schließlich wird mit einer Luftpumpe (wegen des Sicherheitsabstands nur Modelle mit Schlauch verwenden und am besten eine Schutzbrille tragen) Druck aufgebaut, bis der Korken aus der Flasche gedrückt wird und die Rakete in die Höhe saust.

Eine komplette Bauanleitung mit vielen praktischen Tipps finden Sie auf dem DLR-Jugendportal DLR_next unter www.DLR.de/next/Experimente. Sie enthält auch weitergehende Hinweise für ein Fallschirm-

System (eher für Fortgeschrittene). Die Anleitung stammt übrigens von einem Schülerteam, das den Bau von Wasserraketen zum Hobby gemacht hat und sogar den deutschen Höhenrekord aufstellen konnte – siehe www.raketfuedrockets.com.

Vereinbaren Sie vorab mit Ihren Schülerinnen und Schülern, wer welche Materialien mitbringt. In der nächsten Stunde wird dann die Rakete gemeinsam gebaut. **Hinweis:** Natürlich kann die Rakete auch noch bemalt werden und vielleicht bekommt sie auch einen Namen. Über den Bau und erste Teststarts hinaus (z. B. auf dem Sportplatz oder einer Wiese) können auch mehrere Versuche mit jeweils unterschiedlichen Wassermengen durchgeführt und qualitativ ausgewertet werden. Welches ist wohl das beste Mengenverhältnis von Wasser und Luft?

Achtung: Dieses Experiment darf nur unter Anleitung und Aufsicht von Lehrkräften durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind vorab darauf hinzuweisen, dass sie beim Start mehrere Meter Abstand halten müssen. Außerdem muss die Rakete sicher stehen und nach oben zeigen. Alle Anwesenden sollten die Rakete während der Flugphase im Blick behalten, um beim Aufschlag ggf. auszuweichen. Achten Sie zur Vermeidung etwaiger Verletzungen auf eine weiche und stumpfe „Kappe“ an der Raketenspitze.

Ob Sie eine oder mehrere dieser Raketen-Varianten ausprobieren: Fassen Sie abschließend noch einmal das Wichtigste zum Rückstoßprinzip zusammen. In der Raumfahrt nennt man eine solche Nachbesprechung „De-Briefing“.

Aufgabe 4: „Ich starte ins All und nehme ... mit“

Die sorgfältige Vorbereitung einer Raumfahrt-Mission ist unabdingbar. Jahre im Voraus beginnen Bodenteams damit. Welche Experimente sollen durchgeführt werden, welche Geräte sind dafür an Bord, was muss eventuell noch zusätzlich mit Versorgungsschiffen zur Station gebracht werden? Ein kleines Spiel im Stil von „Ich packe meinen Koffer ...“ kann hier für jüngere Kinder zur Auflockerung dienen und

zugleich die Konzentration schulen. Dabei geht es natürlich nicht um eine vollständige Auflistung von Gerätschaften und Utensilien. Vielmehr nähern wir uns hier assoziativ der Frage, was der Mensch fernab der Erde zum Überleben braucht. Wie steht es zum Beispiel um ausreichende Nahrungsmittel oder auch Kleidung? Helm, Raumanzug, Handschuhe – alles dabei?

Aufgabe 5: Beschleunigung im Aufzug

Die Rakete ist gestartet, die Crew auf dem Weg ins All. Die Rakete wird immer schneller. Etwas mehr als acht Minuten dauert diese Flugphase, dann ist die nötige Geschwindigkeit von 27 500 Kilometern pro Stunde erreicht, die Triebwerke schalten ab und das Raumschiff schwenkt in eine Umlaufbahn um die Erde ein. Vom Start bis zum Abschalten der Triebwerke erfährt die Crew eine recht starke Beschleunigung: Mit dem Dreifachen ihres Körpergewichts werden die Astronauten in die Sitze gepresst.

Und so geht's:

Den Effekt der Beschleunigung können die Kinder in einem Aufzug erfahren und (je nach Alter) auch messen. In der einfachsten Variante stellt sich ein Kind im Aufzug auf eine Personenwaage und ein anderes filmt mit dem Smartphone die Anzeige der Waage. Dann geht es aus dem Erdgeschoss nach oben. Unmittelbar beim Anfahren zeigt die Waage einen Ausschlag, der je nach Aufzug und Gewicht des Kindes zwar nur ein oder zwei Kilogramm ausmacht, aber sichtbar ist.

Materialien

- 1 Personenwaage (**Hinweis:** „altmodische“ Federwaage, keine moderne Digitalwaage!)
- 1 Smartphone (zum Filmen)
- ggf. Smartphone-App zur Beschleunigungsmessung

Hinweis: Je mehr die Person auf der Waage wiegt, umso deutlicher wird der Ausschlag. Genauer – wenn auch in der Durchführung und Auswertung aufwendiger – sind Messungen mit einer Beschleunigungs-App per Smartphone. Im Internet gibt es verschiedene Apps und auch Anleitungen für Schul-Experimente zum Thema Beschleunigung.

Aufgabe 6: Warum starten die Raketen nach Osten?

Materialien

- 1 Globus
- 1 Kugelschreiber



Bei diesem *Sojus*-Start sorgt die Langzeitbelichtung dafür, dass die Rakete eine leuchtende Spur in den Nachthimmel zeichnet. An der Flugkurve erkennt man, wie die Rakete der Erdkrümmung folgend in Richtung Umlaufbahn unterwegs ist. Bild: NASA/Bill Ingalls

Und so geht's:

Alle *Sojus*-Raketen (und früher auch Raumfähren) starten in östliche Richtung. Aber warum? Die Antwort ist verblüffend: Weil sich die Erde von West nach Ost dreht! Dadurch nimmt eine Rakete den Schwung der Erdrotation mit. Es ist wie mit einem Ball, den man von einem sich schnell drehenden Karussell werfen würde. Dieser fliegt in Drehrichtung viel schneller als entgegen der Drehrichtung. Oder anders formuliert: Will man den Ball beim Wurf auf eine bestimmte Geschwindigkeit bringen, muss man in Drehrichtung viel weniger Kraft aufwenden als entgegen der Karusselldrehung. Auf Raketen bezogen heißt das: Um ein Raumschiff mit der ausreichenden Geschwindigkeit auszustatten, damit es die Erdanziehung überwindet und in die Umlaufbahn gelangt, ist beim Start in östlicher Richtung weniger Treibstoff erforderlich. Das alles können Sie leicht nachvollziehbar mit einem Globus demonstrieren, den Sie von oben (also mit Blick auf den Nordpol) gesehen entgegen dem Uhrzeigersinn drehen. Wenn sich von dieser drehenden Erdkugel eine Rakete fortbewegt, nimmt sie in Drehrichtung den „Schwung“ der Erdrotation mit. Als „Rakete“ kann bei dieser Demonstration der untere Teil eines Kugelschreibers dienen, den Sie per Hand von der Oberfläche ins „All“ führen.

Zur Vertiefung noch folgende **Hinweise**: Damit ist auch einleuchtend, warum Startplätze möglichst nah am Äquator liegen, soweit es das Staatsgebiet des jeweiligen Landes erlaubt. Denn am Äquator dreht sich die Erde (gemeint ist hier immer die Umfangsgeschwindigkeit) schneller als weiter im Norden oder Süden. Zum Vergleich: Während sich ein Ort am Äquator durch die Erdrotation mit 1670 km/h bewegt, liegt beispielsweise der Wert für München bei nur 1115 km/h.

Den Wert für den Äquator können ältere Schülerinnen und Schüler selbst berechnen. Wie findet man das überhaupt heraus? **Lösung**: Ein Punkt am Äquator legt bei rund 40 000 Kilometern Erdumfang genau diese Entfernung an einem Tag (also in 24 Stunden) zurück. Dividiert man diese 40 000 Kilometer durch 24 Stunden, erhält man die Geschwindigkeit, mit der sich der Ort in einer Stunde fortbewegt: nämlich die oben erwähnten 1670 Kilometer pro Stunde.

2. Docking: „Rendezvous“ im All



Die Raumstation im Visier des Dockingsystems. Das Bild wurde aus einem amerikanischen *Space Shuttle* aufgenommen. Aber auch die russischen *Sojus*-Raumschiffe verfügen über ein solches System, bei dem die Crew mit einem Periskop den Andockvorgang verfolgen kann. Bild: NASA

Die Ankopplung eines Raumschiffes an die Internationale Raumstation ist ein komplizierter Vorgang. Die *ISS* fliegt in einer Höhe von ca. 400 Kilometern um die Erde. Das Raumschiff wird von der Rakete auf ca. 200 Kilometer Höhe gebracht. Nach der Trennung von der ausgebrannten Rakete zündet es mehrmals seine eigenen Triebwerke und nähert sich so stufenweise der Station an, sodass es schließlich die gleiche Höhe und Geschwindigkeit wie die Raumstation hat. Früher dauerte das alles bei *Sojus*-Raumschiffen zwei Tage, heute geht es dank neuer Bordsysteme meist schon innerhalb einiger Stunden. Dann kommt es zum „Rendezvous“ im All – bei 27 500 Kilometern pro Stunde! Wobei man hinzufügen muss: Relativ zur *ISS*-Geschwindigkeit nähert sich die *Sojus* in der Schlussphase des Manövers nur mit einigen Zentimetern pro Sekunde an.

Bei der Annäherung und dem Andocken müssen Winkel und Tempo exakt stimmen. Dafür werden zwei unterschiedliche Methoden verwendet. Zum einen gibt es ein vollautomatisches Navigationssystem, das die Station mithilfe von Radarimpulsen ansteuert. Zum anderen kann die *Sojus*-Crew auch manuell andocken, wenn z. B. die Automatik versagt. Der gesamte Ablauf wird außerdem vom Bodenpersonal überwacht.



In der *Sojus*-Kapsel ist es eng. Hier Alexander Gerst im baugleichen Simulator beim Training. Außer dem „Cockpit“, in dem die drei Raumfahrer Schulter an Schulter sitzen, hat das Raumschiff noch einen kleinen Nebenraum mit „Mini-Toilette“. Bild: ESA

Experimente und Übungen

Aufgabe 7:

Wir bauen ein Periskop und finden damit den Weg zur ISS



Ein *Sojus*-Raumschiff im Anflug auf die *ISS*. Unten rechts auf der 5-Uhr-Position ragt (gut an der grünen Farbe erkennbar) das Periskop hervor. Das Bild des Periskops wird der Crew auf einen Monitor übertragen. Oben auf 11 und 2 Uhr befinden sich die Antennen des automatischen Dockingsystems. Vorne an der Spitze ist der Andock-Mechanismus zu sehen. Bild: NASA

Zunächst bauen die Kinder in diesem Mitmach-Experiment ein kleines „Periskop“ aus Papprollen und Spiegelfolie. Es entspricht stark vereinfacht den Instrumenten, mit denen die Crew im *Sojus*-Raumschiff das Andock-Manöver beobachtet. Beim Konstruieren und Zusammensetzen wird intuitiv klar, wie man mit Hilfe von zwei Spiegeln „um die Ecke“ schauen kann. Anschließend stellen die Kinder unter Einsatz ihres „Periskops“ das Ankopplungsmanöver spielerisch nach (eher für jüngere Kinder gedacht).

Hinweis: Das folgende Arbeitsblatt für Schüler enthält zwar eine vollständige Bauanleitung; helfen Sie als Lehrkraft dennoch den Kindern, indem Sie die einzelnen Schritte vormachen und die Kinder dies in Kleingruppen „Schritt für Schritt“ nachvollziehen.

Zur Didaktik

- Durch das Konstruieren und Bauen eines „Periskops“ lernen die Kinder exemplarisch Aufbau und Funktionsweise eines technischen Instruments kennen.
- Intuitiv lernen die Kinder das Thema des optischen Strahlengangs kennen.
- Die Kinder schulen ihr technisches Geschick und üben dabei sorgfältiges Vorgehen.
- Im Spiel vertiefen die Kinder ihre Fähigkeiten, als Team zusammenzuarbeiten.
- Die Kinder erleben spielerisch das Andockmanöver eines Raumschiffs an die *ISS*.

In der Realität erfolgt die Annäherung in recht komplizierten Etappen, in diesem Spiel wird das zu einer „spiralförmigen Annäherung“ vereinfacht.

Hinweis: Für diese spielerische Übung wird viel Platz benötigt. Es empfiehlt sich daher die Turnhalle oder ein Klassenraum, in dem alle Tische vorher an den Rand gestellt wurden.

Und so geht's:

1. Markieren Sie in der Mitte des Raumes mit Kreppband zwei konzentrische Kreise. Der innere Kreis stellt die Erde dar (ca. 2 Meter Durchmesser), der äußere Kreis symbolisiert die *ISS*-Umlaufbahn (mindestens 4 Meter Durchmesser).
Hinweis: Die Größen sind natürlich nicht maßstabsgerecht.
2. Zwei Kinder spielen nun *Sojus*-Raumschiff: Ein Kind sitzt dabei mit dem Periskop in der Hand auf einem rollbaren Drehstuhl, ein anderes Kind schiebt den Stuhl – allerdings mit verbundenen Augen. Zur Verdeutlichung kann man per Kreppband ein Schild mit der Aufschrift „*Sojus*“ aufkleben.
3. Zwei andere Kinder stellen die *ISS* dar: Ein Kind sitzt auf einem Drehstuhl, ein anderes Kind zieht den Stuhl (eventuell mit einem Zettel „*ISS*“ gekennzeichnet) in derselben Richtung wie das *Sojus*-Raumschiff. Das sitzende *ISS*-Teammitglied erhält eine Taschenlampe. Da das Raumschiff von hinten ankoppeln soll, zeigt das „*ISS*-Licht“ nach hinten.
4. Die übrigen Kinder setzen sich außerhalb der *ISS*-Umlaufbahn auf den Boden und stellen das Bodenpersonal im Kontrollzentrum dar.
5. Nun kann es losgehen: Die *ISS* umkreist langsam die Erde. Jetzt startet das *Sojus*-Raumschiff von der „Erde“ und nimmt die Verfolgung auf. Allmählich nähert es sich „spiralförmig“ von innen nach außen der *ISS* an – von den Kindern im „Kontrollzentrum“ per Zuruf gesteuert.
6. Wenn sich das *Sojus*-Raumschiff nur noch einen Halbkreis von der *ISS* entfernt befindet, wird vom sitzenden *Sojus*-Kind das Periskop benutzt. Damit peilt es das Licht der *ISS* an und gibt seinem schiebenden „Crewmitglied“ Kommandos.
7. Das „*ISS*“-Kind streckt Arme oder Beine aus, die das „*Sojus*“-Kind vom Raumschiff aus ergreifen soll. Sobald *ISS* und *Sojus* Kontakt haben, ist das Andock-Manöver komplett.



Mit dem selbst gebastelten Periskop auf dem Weg zur Internationalen Raumstation. Bild: DLR/Timm Bourry

Materialien

- 1 selbst gebautes Periskop (siehe vorherige Anleitung)
- 2 Drehstühle mit Rollen
- Kreppband
- 1 dicker Stift
- 1 DIN-A4-Zettel, beschriftet mit „*Sojus*-Raumschiff“
- 1 DIN-A4-Zettel, beschriftet mit „*ISS*“
- 1 Maßband
- 1 Taschenlampe
- Tuch oder Ähnliches zum Verbinden der Augen

Auch wenn die Kinder die Stühle nur langsam bewegen, macht die kleine Übung deutlich: Die Annäherung eines Raumschiffs an die *ISS* ist ein komplizierter Vorgang, bei dem es auf exakte Geschwindigkeit, den richtigen Winkel und Präzision ankommt.

Tipp: Um die Übung zu einem spannenden Erlebnis zu machen, sollte der Raum etwas abgedunkelt werden. So wirkt das Spiel realistischer. Vielleicht tragen ja auch alle Kinder im Kontrollzentrum Stirnlampen und leuchten so die Szenerie geheimnisvoll aus ...

Baut euer eigenes Periskop!

Ein Periskop ist eine Art Fernrohr, mit dem man „um die Ecke“ sehen kann. Jedes U-Boot hat so etwas: Das U-Boot ist unter der Wasseroberfläche, das Rohr guckt oben aus dem Wasser heraus. So kann die Mannschaft vor dem Auftauchen durch das Periskop sehen, was über Wasser passiert.

Aber wozu brauchen Astronauten das? Nun, wenn sie mit ihrem kleinen Raumschiff zur großen Raumstation wollen, müssen sie natürlich genau in die richtige Richtung fliegen. Eigentlich geht das automatisch. Aber manchmal müssen die Astronauten auch selbst das Raumschiff steuern. Das Problem ist nur: Anders als ein Auto oder Flugzeug hat das Raumschiff vorne keine Fenster, durch die man die Raumstation sehen könnte. Wie findet man da den richtigen Weg? Dafür gibt es das Periskop! Damit sehen die Astronauten die Raumstation und wissen so, wie weit sie noch weg ist und ob man zum Beispiel weiter nach links oder nach rechts fliegen muss.

Jetzt könnt ihr euer eigenes Periskop bauen und danach in einem kleinen Spiel zur Raumstation „fliegen“.

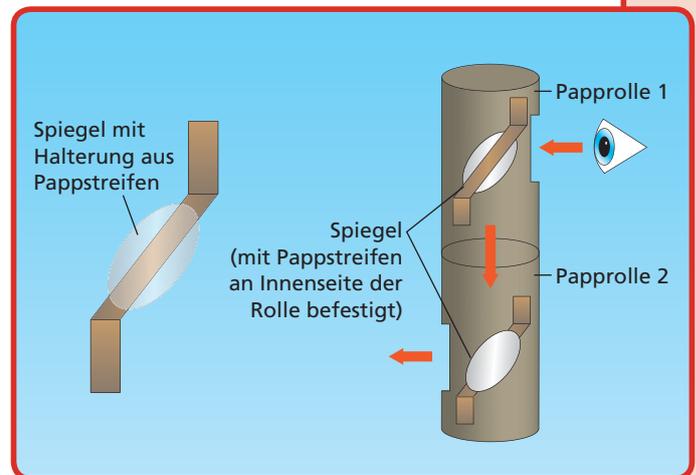
Ihr braucht dafür:

- 2 Papprollen (das Innere einer Rolle Toilettenpapier – natürlich ohne das Papier)
- Karton/Pappe
- selbstklebende Spiegelfolie
- 1 Schere
- Klebestreifen
- 1 Bleistift
- 1 Zirkel

So wird's gemacht:

Diese Zeichnung soll euch beim Bau des Periskops helfen. Sie zeigt das Periskop als Ganzes und daneben, wie man die Spiegelfolie auf einen Pappstreifen aufbringt.

- 1 Die Papprolle ist ungefähr 9,5 cm hoch. Zieht mit dem Bleistift von oben nach unten eine Linie auf der Rolle.
- 2 Jetzt kommt in die Rolle ein Fenster: Schneidet dafür in der Mitte der Linie ein Rechteck mit den Maßen 1,5 cm x 2 cm aus der Rolle aus. **Tipp:** Das Rechteck liegt genau richtig, wenn oben und unten je 4 cm Abstand bis zu den Rändern sind.
- 3 Die Schritte 1 und 2 wiederholt ihr bei der zweiten Papprolle.
- 4 In die Rollen müssen Spiegel hinein, die eine Halterung brauchen. Für die Halterung eurer Spiegel schneidet ihr zuerst aus Pappe zwei Streifen (Maße 12 cm x 2 cm) sowie zwei Kreise (Durchmesser 4 cm) aus.
- 5 Klebt auf jeden der beiden Pappstreifen einen Pappkreis – genau in der Mitte der Streifen.
- 6 Knickt die Pappstreifen auf der einen Seite nach unten und auf der anderen Seite nach oben ein wenig ab.
- 7 Klebt jetzt auf beide Pappkreise die Spiegelfolie auf.
- 8 Setzt nun in jede Papprolle einen Spiegel ein – und zwar so, dass ihr die Pappstreifen am oberen und unteren Rand der Rolle mit Klebestreifen befestigt. Die Spiegel „hängen“ jetzt im gleichen Winkel in den beiden Rollen.
- 9 Setzt die beiden Rollen nun genau umgekehrt aufeinander, befestigt sie mit Klebeband und macht den „Guck-Test“! Wenn ihr zum einen „Fenster“ hineinschaut, müsst ihr zum anderen Fenster hinaussehen können.



3. Willkommen auf der Raumstation!



Die Internationale Raumstation *ISS*. In der Bildmitte erkennt man die röhrenförmigen Module, in denen die Astronauten leben und arbeiten. An der langen Gitterstruktur, die sich waagrecht durchs Foto erstreckt, sind die großen Solarpanels angebracht, die die Station mit Strom versorgen. Die hellen, nach oben und unten abstehenden Strukturen sind Radiatoren, mit denen überschüssige Wärme aus dem Inneren der Station nach außen abgeführt wird. Bild: NASA

Die Crew ist auf der Raumstation angekommen. Willkommen an Bord! In diesem Kapitel behandeln wir einige „Basics“ zur *ISS*. Dazu gehört zunächst der Aufbau der Station. Zahlreiche Flüge der amerikanischen *Space Shuttles* (und auch russischer Raketen) waren dafür nötig: Jedes Mal wurden dabei einzelne Elemente – die sogenannten Module und Verbindungsknoten – in die Umlaufbahn gebracht. Das begann im November 1998 mit dem russischen Modul *Sarja*, dem zwei Wochen später der US-Verbindungsknoten *Unity* folgte.

Dann kam *Swesda* hinzu: Das ist ein russisches Wohn- und Servicemodul mit Steuereinrichtungen, Toiletten, einer kleinen Bordküche und mehreren Wohnkabinen. Über rund zehn Jahre hinweg wurde die Station um weitere Elemente ergänzt. Dazu gehören neben einer großen Gitterstruktur, an der auch die Solarpanels montiert sind, mehrere Labor-Module, in denen die Astronauten wissenschaftliche Experimente durchführen: das US-Modul *Destiny*, das japanische Modul *Kibo* und das europäische Modul *Columbus*.

Die Module sind durch mehrere „Knoten“ miteinander verbunden. Außerdem bietet ein kleines Modul namens *Cupola* den Astronauten eine großartige Aussicht auf die Erde; vor allem aber ermöglicht es einen guten Blick auf den externen Roboterarm, mit dem die Crew regelmäßig unbemannte Raumtransporter „einfangen“ muss. Im Jahr 2016 wurde schließlich ein entfaltbares „Mini-Modul“ namens *BEAM* angekoppelt. Damit will man untersuchen, ob solche leichten Strukturen auch auf künftigen Missionen zum Mond oder Mars eingesetzt werden könnten.

Insgesamt wurde die Station so wie ein Puzzle nach und nach zusammengesetzt. Um ein Puzzle und um einen Nachbau der *ISS* geht es auch bei den nachfolgenden Mitmach-Aktionen. Außerdem regen wir eine Übung an, bei der die Entfernung der *ISS* von der Erde maßstabsgerecht verdeutlicht wird.

Spannend!

Die ISS live sehen!

Vorweg noch ein ganz besonderer Tipp: Sie und Ihre Schülerinnen und Schüler können die Raumstation selbst sehen! Immer wenn die ISS eine Region wie Deutschland in den Morgen- oder Abendstunden überfliegt, hebt sie sich – von der Sonne angestrahlt – hell leuchtend vom dunklen Himmel ab. Die ISS zieht dabei recht flott innerhalb weniger Minuten von West nach Ost über den Himmel. Die genauen Termine und Uhrzeiten dieser sichtbaren ISS-Überflüge sowie viele weitere Infos finden Sie auf dem DLR-Jugendportal DLR_next unter www.DLR.de/next/ISSlive

Diese Webseite beinhaltet auch einen Link, der zu einem Livestream von Bord der ISS führt. Da können Sie und die Kinder den Astronauten bei der Arbeit zusehen oder den Blick auf die Erde genießen: ganz wie die Raumfahrer selbst! Weitere Informationen zu verschiedensten ISS-Missionen und auch Videos finden Sie ebenfalls auf DLR_next – und zwar in der Rubrik „Raumfahrt“ unter „Mit Astronauten ins All!“ und auf den Sonderseiten zu Alexander Gerst. Zeigen Sie den Kindern zum Einstieg einige dieser Videos oder auch Fotos! Das weckt garantiert das Interesse und regt für die weiteren Aufgaben die Vorstellungskraft an.

Experimente und Übungen

Aufgabe 8: Die Raumstation: eine echte Puzzle-Arbeit!

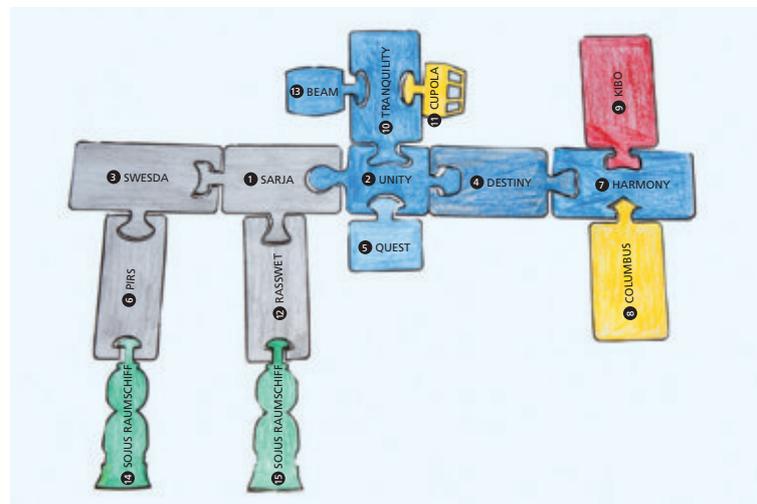
In dieser Übung bauen die Kinder die ISS als Puzzle nach, wobei wir zwei Puzzle-Varianten anbieten: Variante A als kleines Tisch-Puzzle, Variante B als großes Fußboden-Puzzle. Beiden Varianten gemeinsam ist dabei eine kleine Erschwernis, die wir hier eingebaut haben: Wie Astronauten bei Spacewalks mit Handschuhen und Helmen ausgestattet sind, ziehen die Kinder Handschuhe an und setzen eine Ski- oder Schwimmbrille auf. Natürlich wurden in beiden Varianten nicht alle Module der ISS aufgenommen. Dennoch machen die Übungen spielerisch mit den wichtigsten Elementen der ISS bekannt.

Materialien

- ISS-Foto (aus diesem Heft oder aus dem Internet)
- Puzzle-Schnittbogen (www.dlr.de/next/MitAstronautenInsWeltall)
- Buntstifte (bei farbiger Variante)
- Skibrille/Schwimmbrille und Handschuhe (sollen die Kinder mitbringen)

Sie benötigen zusätzlich für Variante B:

- Laminier-Gerät und 14 Folien in DIN A3 oder DIN A4
- farbige (oder weiße) Papier-Bögen in DIN A3 oder DIN A4



Die ISS als Puzzle. Wie hier im Bild können Sie die einzelnen Module farbig markieren (siehe Hinweise im Text) oder die Raumstation wie in der Realität hell belassen.

Zur Didaktik

- Die Kinder lernen „Basics“ zum Aufbau der Raumstation kennen.
- Die Kinder vertiefen beim Zusammen-setzen des Puzzles ihre Fähigkeiten im Team zu arbeiten und schulen auch motorische Fähigkeiten.

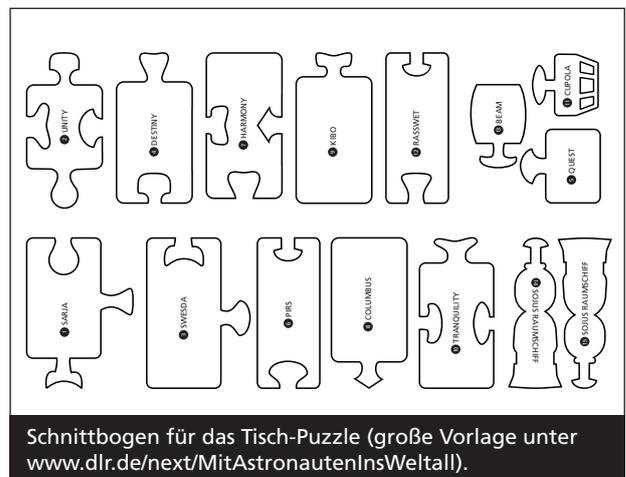
Und so geht's:



Wie Astronauten die *ISS*-Module nach und nach miteinander verbunden haben, wird die Raumstation hier als Fußboden-Puzzle zusammengesetzt.
Bild: DLR/Timm Bourry.

Die Puzzle-Teile sind so geprägt, dass immer nur die richtigen Elemente ineinander passen. In beiden Varianten können die einzelnen Module optional bestimmte Farben erhalten, die die Länder symbolisieren, aus denen die jeweiligen Module stammen: im Tisch-Puzzle mit Buntstiften angemalt, im großen Fußboden-Puzzle durch Verwendung farbiger Papierbögen.

Variante A: Das kleine Tisch-Puzzle



Schnittbogen für das Tisch-Puzzle (große Vorlage unter www.dlr.de/next/MitAstronautenInsWeltall).

Erläuterung

Die Farben der Puzzle-Teile

Grau: die russischen Module *Sarja*, *Swesda*, *Pirs* und *Rasswet*

Grün: die russischen *Sojus*-Raumschiffe

Blau: die Module der USA *Harmony*, *Destiny*, *Unity*, *Quest*, *Tranquility* und das entfaltbare Modul *BEAM*

Rot: das japanische Modul *Kibo*

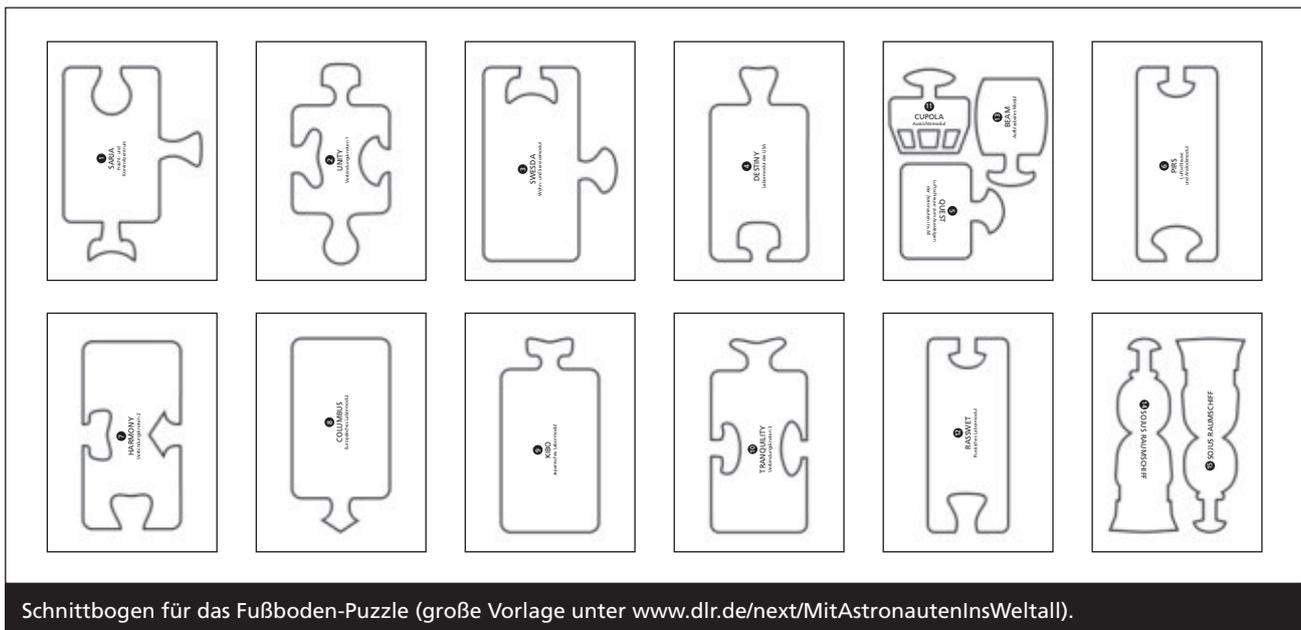
Gelb: das europäische *Columbus*-Modul und die Aussichtskuppel *Cupola* (die sich zwar im amerikanischen Teil der Station befindet, aber im Auftrag der USA in Europa gefertigt wurde)

Kopieren Sie den vorgegebenen Schnittbogen in ausreichender Anzahl. Die Kinder schneiden dann die Teile aus und malen sie ggf. mit Buntstiften an (geben Sie dazu an der Tafel die Farben für die einzelnen Segmente vor). Die Puzzle-Teile sind jeweils mit dem Namen des Moduls und einer Nummer beschriftet. Die Nummerierung der einzelnen Teile entspricht dem chronologischen Aufbau der *ISS*. Die Kinder legen in Partner- oder Gruppenarbeit das kleine „Tisch-Puzzle“ zusammen.

Variante B: Das große Fußboden-Puzzle

Kopieren Sie die Teile so groß, dass sie jeweils auf eine DIN-A4-Seite oder sogar DIN-A3-Seite passen (entweder auf weißes oder farbiges Papier). Laminieren Sie die Seiten und schneiden Sie die Teile aus (je nach Laminier-Gerät müssen die Teile erst ausgeschnitten, dann laminiert und danach die Folien

nochmals beschnitten werden). Sie erhalten so ein großes und stabiles „Fußboden-Puzzle“ zur mehrfachen Verwendung. Auf den Puzzle-Teilen befinden sich kurze Informationen zu den Namen und Funktionen der jeweiligen Module.



Aufgabe 9: Ein 3-D-Modell der ISS aus Abflussrohren

Die Module der *ISS* sehen wie große „Röhren“ aus. Sie sind jeweils ca. 6 Meter lang und haben einen Durchmesser von ungefähr 4 Metern. Solarzellen versorgen die *ISS* mit Strom. An die *ISS* docken Versorgungsschiffe an, sodass die Astronauten regelmäßig mit Lebensmitteln, Kleidung und Arbeitsmaterialien ausgestattet werden.

Mit einfachen Mitteln aus dem Baumarkt (ca. 20 €) können Sie mit den Kindern ein *ISS*-Modell bauen. Dabei werden Rohre ineinander gesteckt oder mit Klebeband befestigt. Kleine „*Sojus*-Raumschiffe“ können nach Belieben an- und abgekoppelt werden.



„Astronautinnen“ und ihre eigene Raumstation.
Bild: DLR/Timm Bourry

Materialien

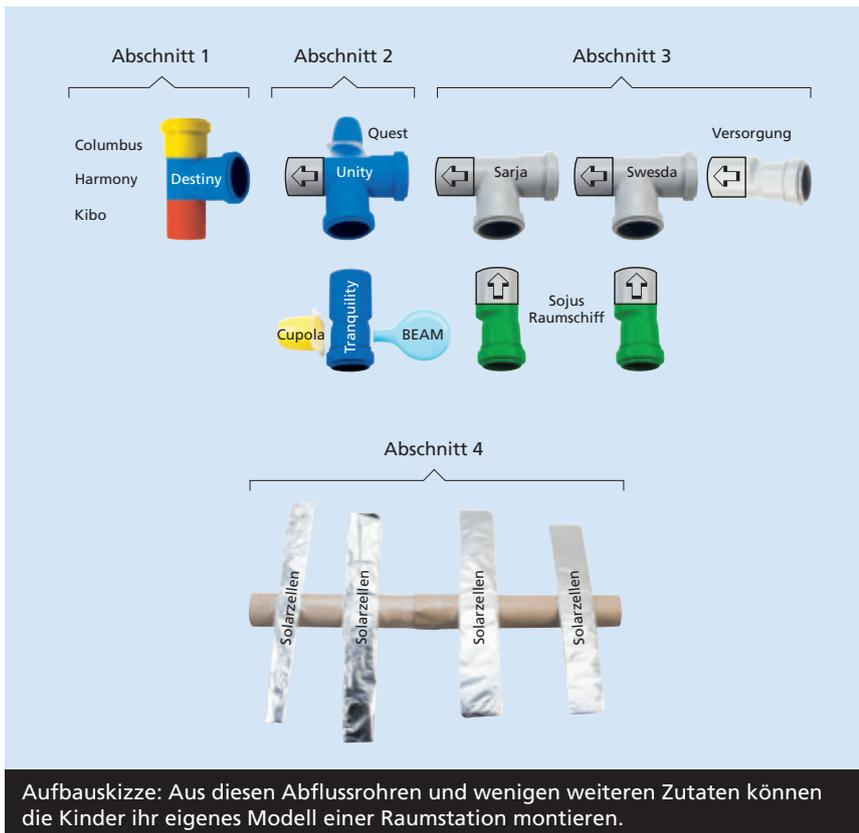
- HT-Rohre (Hochtemperaturrohre):
4 mal HTEA DN 50/50 87° und 4 mal HTR DN 50/40 (siehe auch Aufbauskitze)
- Isolierband in den Farben grün, blau, gelb, rot und weiß
- 4 wasserfeste schwarze Filzstifte (pro Gruppe ein Stift)
- 1 blauer Luftballon
- 2 kleine leere Joghurt-Becher
- selbstklebendes Klettband (ca. 4 cm)
- 1 Rolle durchsichtiges Paket-Klebeband (5 cm breit)
- Alufolie (Maße: ca. 42 x 30 cm)
- 1 DIN-A4-Pappe (z. B. die Rückseite eines Schreibblocks)
- 2 lange Papierrollen (ca. 26 cm lang, Durchmesser: 4,5 cm, z. B. Rolle von Haushaltspapier)
- Scheren

Und so geht's:

Die *ISS* haben wir in vier Abschnitte unterteilt, die jeweils von einer Kleingruppe gebastelt werden. Die Aufteilung in die einzelnen Abschnitte und die (auch hier wieder nur optionalen) Farben der verschiedenen Module entnehmen Sie der Aufbauskitze. Wenn Sie sich für die bunte Gestaltung entscheiden: Jedes Modul erhält seine Farbe, indem farbiges Isolierband auf die Rohre geklebt wird. Die Farben symbolisieren die Länder, aus denen die jeweiligen Module stammen. Die in der Skizze mit Pfeilen versehenen Abschnitte dienen zum Ineinanderschieben der Rohre und sollten nicht beklebt werden. Sobald alle Teile farbig beklebt sind (oder wahlweise auch ohne farbige Beklebung), werden sie mit ihren jeweiligen Bezeichnungen beschriftet. Die Rohre werden dann ineinander geschoben, die Joghurtbecher und den leicht aufgeblasenen und verknoteten Ballon befestigt man mittels Klebeband an den in der Skizze angegebenen Stellen.

Zur Didaktik

- Die Kinder vertiefen ihr Wissen über den Aufbau der *ISS*, indem sie ein 3-D-Modell der Raumstation bauen.
- Die Kinder schulen ihr Geschick im Basteln und üben Teamarbeit.

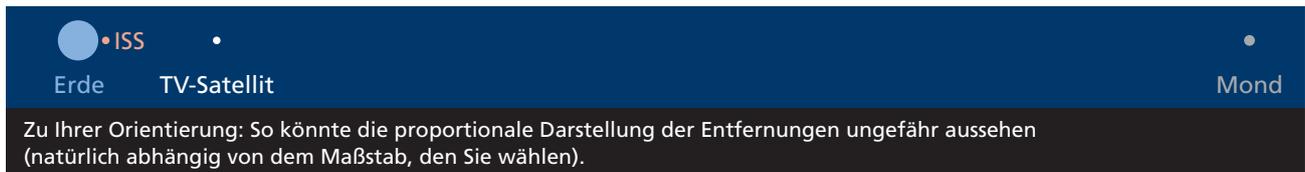


Die ISS wird in folgende Abschnitte unterteilt, die jeweils von einer Gruppe zusammengesetzt und anschließend wie in der Aufbauskizze ineinander geschoben werden:

- **Abschnitt 1** enthält das europäische Modul *Columbus* (gelb), das japanische *Kibo*-Modul (rot) sowie die amerikanischen Module *Harmony* (blau) und *Destiny* (blau).
- **Abschnitt 2** beinhaltet die amerikanischen Elemente *Unity*, *Quest* sowie *Tranquility* (alle blau) mit der *Cupola* (gelb) und das entfaltbare Modul *BEAM* (blauer Luftballon).
- **Abschnitt 3** umfasst das russische Segment mit den Modulen *Sarja* und *Swesda* (grau) sowie die beiden *Sojus*-Raumschiffe (grün) plus ein Versorgungsschiff (weiß).
- **Abschnitt 4** bildet das Trassensystem – eine äußere Gitterstruktur, an der die Solarzellen angebracht sind.

Das Trassensystem mit den Solarzellen besteht aus vier mit Alufolie umhüllten Papppstreifen (ca. 29 cm x 4 cm), die mit Klebeband auf zwei ineinander gesteckten Pappprollen befestigt werden. In der Mitte der Pappprollen wird ein Klettverschluss angebracht, das Gegenstück dazu kommt zwischen die Module *Unity* und *Harmony*. So bleiben die Solarzellen beweglich, wie es auch in der Realität der Fall ist. Denn während die ISS um die Erde kreist, richten sie sich permanent exakt zur Sonne aus, um genug Strom zu liefern. Am Ende wird das russische Segment so gedreht, dass die beiden *Sojus*-Raumschiffe nach unten zeigen.

Aufgabe 10: Die Raumstation auf dem Schulhof



Der Flug ins All – das klingt immer nach unendlichen Weiten. Doch die Internationale Raumstation *ISS* ist gar nicht einmal so weit von der Erde entfernt: Wie eingangs erwähnt, umkreist sie die Erde in nur 400 Kilometern Höhe (während TV-Satelliten eine Bahnhöhe von 36 000 km haben). Da oft die Frage auftaucht, warum die *ISS* aus dieser geringen Distanz nicht auf die Erde fällt, hier ein kurzer Einschub zur Erklärung: Nur ihrer hohen Geschwindigkeit von 27 500 Kilometern pro Stunde ist es zu verdanken, dass die Raumstation nicht wie ein Stein zur Erde stürzt, sondern eben permanent um unseren Planeten herum „fällt“. Wäre sie langsamer unterwegs oder stünde sie gar still, würde sie tatsächlich von der Schwerkraft nach unten gezogen und in Richtung Erdboden fallen. Genau das passiert mit einem *Sojus*-Raumschiff bei der Rückkehr zur Erde: Nach dem Abdocken erfolgt ein kurzes Bremsmanöver, sodass das Raumschiff etwas langsamer fliegt und seine Bahnhöhe dadurch automatisch sinkt.

In dieser kleinen Übung geht es aber nicht um Geschwindigkeiten, sondern um eine anschauliche Darstellung von Entfernungen – und zwar auf dem Schulhof.

Materialien

- Kreide
- Maßband

Zur Didaktik

- Die Kinder entwickeln eine Vorstellung von Entfernungen im erdnahen Weltraum (*ISS*, Satelliten, Mond).
- Die Kinder lernen maßstabsgerechte Darstellungen als Form der Visualisierung kennen.

Und so geht's:

Auf dem Schulhof wird eine Kreidezeichnung angefertigt: mit der Erde, der *ISS*, Satelliten und dem Mond. Dabei entspricht 1 Meter in der Skizze 10 000 Kilometern in der Realität. Das ergibt:

- Die Erde (stark gerundet ca. 12 000 km Durchmesser) wird als Kreis mit 1,2 m Durchmesser gezeichnet.
- Die *ISS* ist in der Zeichnung ein kleiner Punkt – nur 4 cm von der Erdoberfläche (dem Rand des Kreises) entfernt.
- TV- oder auch Wettersatelliten (ca. 36 000 km Bahnhöhe) werden 3,6 m von der Erde entfernt gezeichnet.
- Der Mond (Durchmesser ca. 3500 km Durchmesser, Distanz zur Erde ca. 400 000 km) wird als 35 cm großer Kreis gezeichnet – etwa 40 m von der Erde entfernt.

Jüngeren Kindern sollten Sie vorgeben, wo Erde, *ISS*, Satelliten und Mond einzutragen sind. Dann wird die Zeichnung gemeinsam betrachtet und besprochen. Älteren Schülerinnen bzw. Schülern geben Sie lediglich die realen Entfernungen und Größen sowie den Maßstab vor und lassen sie die Angaben umrechnen. Außerdem können Sie als Zusatzaufgabe ausrechnen lassen, wo sich bei diesem Maßstab die Sonne befindet.

Lösung: Die Sonne ist mit ca. 150 Millionen km Distanz überschlägig 400-mal weiter von der Erde entfernt als der Mond, also im gewählten Maßstab ca. 16 km vom Schulhof entfernt (alle Zahlenangaben stark gerundet).

Hinweis: Statt der Kreidezeichnung auf dem Schulhof lässt sich das alles natürlich auch in angepasstem Maßstab als Tafelbild darstellen. Eine weitere Alternative sind kleine Bälle und Kugeln auf dem Fußboden des Klassenraums. Bei einer Erde-Mond-Distanz von nur 4 m (statt 40 m in der Schulhof-Zeichnung) ist die *ISS* dann nur 0,4 cm von der Erde entfernt, die maßstabsgerecht von einem Ball mit 12 cm Durchmesser dargestellt werden kann (der Mond ist dann 3,5 cm groß).

4. Alltag an Bord



Die amerikanische Astronautin Karen Nyberg lässt einen großen Wassertropfen vor sich schweben. Bild: NASA

Unsere Reise ins All hat gerade erst begonnen und sie wird immer spannender! Das Leben auf der Raumstation wird ganz maßgeblich von der Schwerelosigkeit bestimmt. Daher behandeln wir dieses Phänomen und die zugrunde liegende Physik zu Beginn dieses Kapitels ausführlich mit einer ganzen Gruppe von Mitmach-Experimenten.

Danach versetzen wir uns wieder in die Rolle der Astronauten und machen – vom Drehwurm-Versuch bis zum Marmelade-Test – einige seltsame Erfahrungen, die auch Raumfahrer in Schwerelosigkeit so oder so ähnlich erleben.

Ein eindrucksvolles Erlebnis ist der Blick auf die Erde: Alle Raumfahrer schwärmen davon! Sie berichten zugleich darüber, wie verletzlich unser Planet mit seiner hauchdünnen Atmosphäre wirkt. Dem sind kleinere Übungen gewidmet.

An die „Lektion“, dass wir schonend mit unserer Umwelt und sparsam mit unseren Ressourcen umgehen müssen, schließt nahtlos ein Experiment zum Recycling-System auf der Raumstation an. Wie auf dem „Raumschiff Erde“ im großen Maßstab müssen auch die Astronauten auf der *ISS* jede Vergeudung von Ressourcen vermeiden. Die Kinder können das bei einem Mitmach-Experiment am Beispiel eines selbst gebauten Filtersystems ganz praktisch erproben.

Dass gute Planung eine Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Mission ist, zeigt anschließend eine wirklich „knifflige“ Übung, bei der man nicht mehr als einige Lego-Steine und eine gute Portion logisches Denken benötigt.

Das Kapitel endet mit einigen Versuchen und Überlegungen zu der Frage, wie man sich von der Erde aus mit den Astronauten unterhalten kann. Dabei geht es vom einfachen Dosentelefon für jüngere Kinder bis zum Thema Signallaufzeiten für ältere Jahrgänge.

4.1 Die „verrückte“ Welt der Schwerelosigkeit



Frisches Obst ist eine willkommene Abwechslung auf dem Speiseplan. Es wird auch genutzt, um Kindern und Jugendlichen mit solchen Fotos die Effekte der Schwerelosigkeit vorzuführen. Bild: NASA

Die Schwerelosigkeit hat Auswirkungen auf nahezu alle Abläufe des Alltagslebens: vom Essen und Trinken über das Waschen bis zum Schlafen. Auch viele Handgriffe, die auf der Erde eine Selbstverständlichkeit darstellen, müssen in Schwerelosigkeit abgeändert werden. In Ergänzung zu den Informationen aus der Einleitung (siehe Seiten 10 und 11) hier einige Beispiele ...



Selbst Kaffee kommt aus dem Trinkpäckchen. Hier die französische ESA-Astronautin Claudie Haigneré. Bild: NASA/ESA

Essen

Anders als in der Frühzeit der Raumfahrt kommt die Weltraumnahrung heute nicht mehr aus Tuben. Stattdessen bietet die Bordküche der ISS eine Vielzahl von recht schmackhaften Speisen. Ihnen wird in aller Regel bei der Zubereitung auf der Erde das Wasser entzogen. In Folie eingeschweißt gelangen sie dann mit unbemannten Versorgungsschiffen zur Raumstation. Dort wird wieder warmes Wasser zugesetzt und so kommen leckere Nudelgerichte oder andere Mahlzeiten auf den Tisch. Der Tisch hat spezielle Halterungen, damit nichts davonschwebt. Düninflüssige Soßen sind natürlich nicht erlaubt: Die Tropfen könnten unkontrolliert durch die Station schweben. Aus demselben Grund gibt es Getränke nur in Trinkpäckchen mit Strohhalm. Bemerkenswert ist, dass sich der Geschmackssinn in Schwerelosigkeit ändert (siehe dazu Aufgabe 20 mitsamt Erläuterungen).

Kein „oben“ und „unten“, kein „leicht“ und „schwer“

Stehen sich zwei Astronauten gegenüber – einer „normal“ und einer „kopfüber“: Jeder von ihnen hätte dasselbe Recht zu behaupten, dass er selbst und nicht sein Kollege den Kopf „oben“ und die Füße „unten“ habe. Weil das leicht zu Desorientierung führen kann, sind die Module der Station optisch so gestaltet, dass man einen Boden und eine Decke wahrnimmt (auch alle Beschriftungen sind innerhalb eines Moduls in einheitlicher Richtung angebracht und alle Computer und Instrumente so ausgerichtet). Da alles schwebt, sofern es nicht fixiert ist, muss jede Aktion sorgfältig überlegt und vorbereitet werden: Ein Handbuch oder Laptop kann man nicht mal kurz zur Seite legen, denn es würde ja einfach davon-schweben. Und wer mit einem Schraubendreher eine fest sitzende Schraube lösen will, muss sich irgendwo festhalten: Sonst dreht man nur sich selbst und nicht die Schraube.

Schlafen

Ein normales Bett wäre in Schwerelosigkeit denkbar ungeeignet: Eine falsche Bewegung im Schlaf würde genügen, um sich ungewollt von der Matratze zu entfernen und durch die Station zu schweben. Vielmehr schlafen Astronauten in Schlafsäcken, die an der Kabinenwand angebracht sind. Jedes Crewmitglied hat dabei eine eigene Kabine. Das erlaubt während des mehrmonatigen Zusammenlebens auf engstem Raum wenigstens etwas Privatsphäre.

In jedem Fall ist beim Schlaf eine gute Frischluftzufuhr wichtig: Auf der Erde sinkt das ausgeatmete Kohlenstoffdioxid (CO_2) nach unten, weil dieses Gas schwerer als normale Luft ist. Dadurch wird uns quasi automatisch neue, sauerstoffreiche Luft nachgeführt. Da es in Schwerelosigkeit aber kein „leicht“ und „schwer“ gibt, würde man beim Atmen eine Blase aus CO_2 produzieren, die stabil um den Kopf herum verbleibt und mit jedem Atemzug wächst. Das hätte fatale Folgen: mindestens starke Kopfschmerzen. Die Klimaanlage verhindert das an Bord der *ISS*.

Apropos Schlafen: Die Astronauten sehen bei geschlossenen Augen manchmal „Blitze“. Ausgelöst werden diese Lichterscheinungen – stark vereinfacht gesagt – durch kleinste elektrisch geladene Teilchen der kosmischen Strahlung bzw. des Sonnenwinds. Sie durchdringen die Bordwände und lösen auf der Netzhaut gelegentlich diese Reaktion aus.



Claude Nicollier aus der Schweiz (links) und Jean-François Clervoy aus Frankreich bei einer gemeinsamen *Shuttle*-Mission. Das Bild zeigt: Jeder von den beiden könnte behaupten, dass der andere „auf dem Kopf steht“. Bild: NASA/ESA



Die italienische ESA-Astronautin Samantha Cristoforetti in ihrer kleinen Kabine mit dem Schlafsack an der Wand. Bild: NASA/ESA

Exkurs

Mikrogravitation

Eingangs hatten wir erwähnt, dass Fachleute lieber von „Mikrogravitation“ als von „Schwerelosigkeit“ sprechen. Dazu an dieser Stelle eine kurze Erläuterung. Ob Sie dies im Unterricht (bei älteren Schülerinnen und Schülern) thematisieren wollen, bleibt natürlich Ihnen überlassen.

Der Begriff „Mikrogravitation“ deutet an, dass hier Schwerelosigkeit nicht vollständig, sondern nur in größtmöglicher Näherung erreicht wird. Der Grund dafür sind sogenannte Rest-Beschleunigungen: kleine Störfaktoren, die die „Qualität“ der Schwerelosigkeit minimal, aber messbar beeinträchtigen. So bremst beispielsweise der Luftwiderstand eine Fallkapsel leicht ab, was den freien Fall und damit die Schwerelosigkeit beeinflusst. Selbst wenn die Luft in der Fallröhre großer Falltürme abgepumpt und so ein Vakuum erzeugt wird, stellen sich noch minimale Bremswirkungen durch die verbliebenen Luftmoleküle ein. Und auch auf der *ISS* spielt die Reibung an der – wenn auch nur extrem dünnen – Rest-Atmosphäre der Erde eine Rolle: Sie sorgt dafür, dass die Station permanent leicht abgebremst wird. Deshalb verliert die *ISS* täglich etwas an Höhe und muss gelegentlich durch Zündung der Triebwerke angedockter Versorgungsschiffe wieder angehoben werden.

Handversuch: Der Papier-Test

Wie stark sich der Luftwiderstand ganz grundsätzlich auf den freien Fall auswirkt, können Sie den Schülerinnen und Schülern durch einen kleinen Handversuch verdeutlichen. Nehmen Sie ein Blatt Papier und lassen Sie es zu Boden fallen. Danach knäulen Sie das Blatt zu einer Kugel zusammen, die Sie aus identischer Höhe ebenfalls fallen lassen. Die Zeitdifferenz ist offensichtlich und es ist auch klar: Beide Male fiel dasselbe Blatt Papier zur Erde, sodass die Masse also keine Auswirkungen auf die Dauer des Falls haben kann. Vielmehr ist der Luftwiderstand entscheidend, der je nach Form des fallenden Objekts stärker oder schwächer ist. Im Sinne einer Gegenprobe sei hinzugefügt: Bekanntlich würden im Vakuum beide Versuche dieselbe Zeitspanne benötigen.

Dass die *ISS* selbst in 400 Kilometern Bahnhöhe noch einen „Luftwiderstand“ erfährt, ist natürlich stark übertrieben formuliert. Aber immerhin gibt es auch im erdnahen Weltraum noch genügend Luftteilchen (wenn auch viele Milliarden weniger pro Kubikzentimeter als auf der Erdoberfläche), um die *ISS* merklich abzubremsen.

Hier liegt es nahe, kurz den Aufbau der Erdatmosphäre zu erwähnen. Sie können das an der Tafel durch eine Schichten-Grafik illustrieren, welche die vier „Etagen“ der Atmosphäre skizziert: nämlich von unten nach oben Troposphäre (0-15 km), Stratosphäre (15-50 km), Mesosphäre (50-80 km) und Thermosphäre (80-500 km). Interessante Aspekte sind in unserem Zusammenhang:

- Die höchsten Berge der Erde sind über 8000 Meter hoch. Dort benötigen die meisten Bergsteiger bereits Sauerstoffgeräte, weil die Luft so dünn ist.
- Wer in einem Flugzeug in typischer Reiseflughöhe von 10000 Metern sitzt, hat schon mehr als zwei Drittel der Luftmassen der Erde unter sich: Etwa 70 % der Luftmassen befinden sich in den unteren 10 Kilometern unserer Atmosphäre.
- Wetterballons steigen oft auf 20 bis 30 Kilometer Höhe auf.
- Der Übergang in den Weltraum ist zwar fließend; um aber eine Grenze zu ziehen, gilt allgemein die Höhe von 100 Kilometern (nach anderer Definition 80 Kilometer) als Beginn des Weltraums.

Die Qualität der Schwerelosigkeit kann auf der Raumstation durch weitere Störfaktoren beeinträchtigt werden: Jede Erschütterung hat eine – wenn auch manchmal nur minimale – Beschleunigung in die eine oder andere Richtung zur Folge. Dockt ein Raumschiff an, überträgt sich dieser Impuls natürlich auf die ganze Station. Wird die *ISS* gar durch Zündung der Triebwerke eines angedockten Versorgungsschiffs angehoben, ist die Schwerelosigkeit für die ganze Dauer dieses Manövers gestört: Zwar tritt hier keine Beschleunigung wie beim Start einer Rakete auf – aber das Prinzip ist dasselbe. Und selbst ein Astronaut, der auf einem Fahrrad-Ergometer Sport treibt, löst minimale Erschütterungen aus (wenn auch durch entsprechende Vorrichtungen extrem gedämpft). Das alles muss berücksichtigt werden, wenn besonders sensible Experimente etwa zur Kristallzüchtung auf dem Programm stehen.

Hygiene

Eine der meistgestellten Fragen von Kindern lautet: „Wie gehen Astronauten aufs Klo?“ Die Bordtoilette ist im Prinzip einer „irdischen“ Toilette vergleichbar – mit dem Unterschied, dass ein leichter Unterdruck dafür sorgt, dass keinerlei Verunreinigungen in die Luft gelangen. Für Urin gibt es je nach Geschlecht spezielle Adapter. Er wird übrigens gesammelt und gefiltert und so zu Wasser wiederaufbereitet (dazu mehr in Kapitel 4.4).

Hygiene ist von größter Bedeutung, da das Immunsystem in Schwerelosigkeit geschwächt ist und man daher für Infektionen durch Bakterien oder für Pilzkrankungen besonders anfällig wird. Deswegen ist auch Körperpflege sehr wichtig, wobei es keine Dusche an Bord gibt (frühere „Weltraum-Duschen“ erwiesen sich als zu störanfällig). Stattdessen reinigen sich die Astronauten mit nassen Handtüchern. Das Zähneputzen funktioniert wie auf der Erde, nur dass die Zahnpasta am Ende in ein Tuch gespuckt wird.

Experimente und Übungen

Warum herrscht auf der *ISS* überhaupt Schwerelosigkeit? Es liegt nicht daran, dass die Raumstation so weit von der Erde entfernt ist. Die Bahnhöhe beträgt (wie in der Einleitung gesagt und durch das Kreidebild auf dem Schulhof illustriert) gerade einmal 400 Kilometer, und selbst der tausend Mal weiter entfernte Mond wird ja noch von der Erde angezogen. Der Grund ist vielmehr: Die *ISS* befindet sich im freien Fall um die Erde. Wie hängen freier Fall und Schwerelosigkeit zusammen? Zum Verständnis folgende Beispiele, die Sie den Kindern an geeigneter Stelle vortragen können.

- **Gedanken-Experiment: der Aufzug**

Stellen Sie sich vor, Sie befinden sich in einem Aufzug ganz oben in einem Hochhaus. Sie stehen auf einer Waage, die Ihr Gewicht zeigt. Plötzlich reißt das Seil und der Aufzug stürzt in die Tiefe. Was zeigt jetzt die Waage während des Falls an? Richtig: Sie stünde auf „null“. Denn Ihnen würde im wörtlichen Sinne der Boden unter den Füßen weggezogen und Sie würden von einer Sekunde zur nächsten kein Gewicht mehr auf die Waage bringen. Stattdessen fallen Sie genauso schnell wie die Waage und die ganze Kabine nach unten. Nach diesem Prinzip funktionieren große Falltürme (wie in Bremen) und auch die folgenden Experimente zum fallenden Becher und zur Fallkapsel. Und so fällt auch die *ISS* in rasendem Tempo um die Erde herum – mit den Astronauten im Innern.

Hinweis: Da die Vorstellung des in die Tiefe fallenden Aufzugs vor allem bei Kindern Angst auslösen kann, ist der Sprung vom Drei-Meter-Brett im Schwimmbad ein alternatives Gedankenmodell. Mit etwas Phantasie muss man sich dann eben eine Waage unter den Füßen vorstellen. Oben auf dem Brett zeigt sie vor dem Sprung noch

das Gewicht des Springers an. Wenn Springer und Waage aber nach unten fallen, steht die Anzeige der Waage auf „null“.

- **Achterbahnfahrt im Himmel**

Bei Parabelflügen in Spezialflugzeugen trainieren Astronauten für den Aufenthalt in Schwerelosigkeit. Das Flugzeug steigt dabei zunächst steil nach oben. In dem Moment, in dem der Pilot den Schub wegnimmt, folgt das Flugzeug praktisch antriebslos einer Wurfparabel: erst weiter nach oben, dann nach vorne kippend und schließlich in die Tiefe fallend. Die Insassen schweben in dieser Zeit, bis der Pilot nach etwa 20 Sekunden die Maschine

Zur Didaktik

- Die Kinder entwickeln und festigen anhand einer ganzen Reihe von Experimenten ein Grundverständnis des Phänomens Schwerelosigkeit.
- Die Kinder lernen Phänomene wie Oberflächenspannung und Konvektion kennen.
- Die Kinder lernen durch die Darstellung im „Kugel-Teilchen-Modell“ die drei Aggregatzustände „fest“, „flüssig“ und „gasförmig“ kennen.
- Die Kinder erleben im Mitmach-Experiment, dass warme Luft nach oben steigt, weil sie leichter ist als kalte Luft (und dass heißes Wasser leichter ist als kaltes Wasser und oben schwimmt).
- Die Kinder lernen grundlegende Vorgehensweisen der Wissenschaft kennen: Versuchsaufbau, Hypothesenbildung, Experimentdurchführung, Auswertung/Interpretation der Ergebnisse.



Eine Studentin schwebt beim Parabelflug. Bild: DLR

abfängt und den nächsten Steigflug einleitet, um eine weitere Parabel zu fliegen. Auf dieser „Achterbahnfahrt im Himmel“ wechseln so Phasen reduzierter Schwerkraft mit Phasen verstärkter Schwerkraft (im „Tal“ der Flugbahn) ab.

Die *ISS* folgt ebenfalls einer solchen Wurfparabel. Der Unterschied ist allerdings, dass hier niemand den freien Fall abfangen muss und es nicht andauernd hinauf und hinunter geht, denn die Station ist so schnell, dass sie immer weiter um die Erde herum fällt. Stellen Sie sich dazu einfach (natürlich nur in der Theorie) vor, dass der Pilot des Parabelfliegers auf dem Weg nach oben noch einmal kurz und kräftig so viel Schub geben würde, dass das Flugzeug in eine Kreisbahn um die Erde gelangt – dann haben Sie den gedanklichen Bogen vom Parabelflug zur *ISS* geschlagen.

Aufgabe 11: Galileo Galileis Kugelbahn

Für ältere Schülerinnen und Schüler können Sie den nachfolgenden Versuchen zur Schwerelosigkeit zunächst ein anderes Experiment voranstellen, das dem Thema Schwerkraft gewidmet ist (jüngere Kinder könnte das allerdings verwirren, sodass man mit ihnen besser direkt in die „Welt der Schwerelosigkeit“ einsteigt). Dazu hier eine Anregung, die einen wunderbaren „Klassiker“ aus der Wissenschaftsgeschichte aufgreift.

Im Museo Galileo in Florenz steht eine ebenso einfache wie faszinierende Apparatur: Eine Kugel rollt auf einer Bahn nach unten und berührt unterwegs mehrere kleine Glöckchen, die dicht über der Bahn angebracht sind. Vom Anfang bis zum Ende der Bahn wird der Abstand von Glöckchen zu Glöckchen immer größer, die Intervalle der akustischen Signale ändern sich jedoch nicht: Rollt die Kugel nach unten, ertönen die Glöckchen immer im selben zeitlichen Abstand. **Hinweis:** Ein korrespondierendes Experiment ist Ihnen sicher unter dem Namen „Fallschnur“ bekannt und je nach Ihrer Wahl können Sie natürlich die eine oder andere Version einsetzen. Hier folgt aber die Anleitung zur Galilei'schen Kugelbahn.

Materialien

- 1 U-Profil (1 Meter lang).
- 1 Glasmurmeltier (oder ähnliche Kugel aus Metall oder Holz)
- 1 Smartphone mit Kamera (oder andere Kamera)
- 1 Metronom (oder eine Stoppuhr-App für das Smartphone)
- Klebepunkte
- 1 Maßband
- doppelseitiges Klebeband
- Papierstapel, um die Bahn schief zu lagern

Tipp: Nehmen Sie beim Kauf des U-Profiles die Kugel mit, um die richtige Größe des Profils auszusuchen (oder umgekehrt).

Und so geht's:

Das U-Profil wird auf einen Tisch gelegt und das eine Ende um 2 bis 3 Grad Neigungswinkel erhöht (bei der hier empfohlenen Bahnlänge von 100 cm dazu ein Ende auf einen ca. 4 cm hohen Papierstapel legen). Wir haben damit eine schiefe Ebene. Entlang der Bahn wird das Maßband mit doppelseitigem Klebeband angebracht oder es wird die Zentimeter-Skala auf die Bahn übertragen. Per Smartphone-Kamera (die auf die Bahn und die Skala gerichtet

sein muss und sich nicht bewegen darf) wird der Lauf einer Kugel gefilmt. Dabei sollte als Zeitgeber ein Metronom im Bild zu sehen sein, das man vorher so einstellt, dass sich damit halbe Sekunden oder Drittelsekunden ablesen lassen (einfach auf 120 oder 180 Schläge pro Minute stellen).

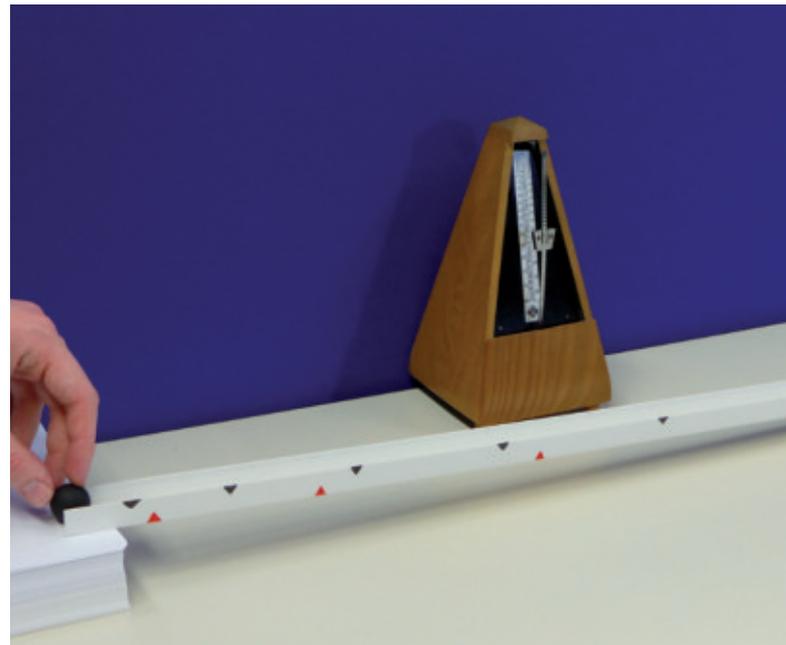
Beim Abspielen des Films in Einzelbildschaltung oder Zeitlupe ist wichtig: Immer am Wendepunkt des Metronoms wird die genaue Position der Kugel ermittelt und dann mit einem Klebepunkt an der Bahn markiert. Betrachtet man anschließend die Bahn mit den Punkten, so fällt auf: Die Abstände zwischen den Punkten werden immer größer. Denn je länger die Kugel rollt, desto größer ist der Weg, den sie in derselben Zeiteinheit zurücklegt: Sie wird immer schneller! Die Veränderung der Geschwindigkeit mit der Zeit nennt man Beschleunigung.

Bei Halbsekunden-Analysen (im Foto rote Markierungen) ergaben sich bei unseren Versuchen folgende Strecken:

Zeit in Sek.	Insgesamt zurückgelegte Strecke in cm	Während des Zeitintervalls zurückgelegte Strecke in cm
0	0	0
0,5	5	5
1	15	10
1,5	30	15
2	50	20
2,5	75	25

Bei Drittelsekunden-Analysen (schwarze Markierungen) ergaben sich bei unseren Versuchen folgende Strecken:

Zeit in Sek.	Insgesamt zurückgelegte Strecke in cm	Während des Zeitintervalls zurückgelegte Strecke in cm
0	0	0
0,33	3,7	3,7
0,66	9,8	6,1
1	17,3	7,5
1,33	27,2	9,9
1,66	39,2	12
2	53,2	14
2,33	69,3	16,1
2,66	87,4	18,1



Einfacher Nachbau der historischen Kugelbahn nach Galileo Galilei. Bild: DLR

Sprechen Sie anschließend die Beobachtungen und Ergebnisse mit den Schülerinnen und Schülern durch. Der Versuch macht intuitiv den Charakter der Fallbeschleunigung deutlich. Dass die Kugel nicht in gleichbleibendem Tempo nach unten saust, sondern immer schneller wird, kann man dabei ganz ohne Formel wie folgt erklären: Die Erdanziehung (Gravitation) wirkt permanent auf die Kugel ein. Dadurch gerät die Kugel ja überhaupt erst ins Rollen, wenn man sie auf die Bahn legt. Aber wenn die Erdanziehung, die ja eine konstante Größe ist, permanent auf die Kugel einwirkt – warum hat die Kugel dann kein konstantes Tempo? Der entscheidende Gedanke: Wie schnell die Kugel auf ihrem Weg auch immer ist – die Masse der Erde zieht weiter an ihr und steigert so permanent die aktuelle Geschwindigkeit. Die Kugel ist schnell, dann noch schneller, dann „noch noch“ schneller usw. Zu jedem beliebigen Zeitpunkt hat die Kugel auf ihrem Weg nach unten eine bestimmte Geschwindigkeit und immer „sattelt“ die Erdanziehung auf diese Geschwindigkeit noch etwas drauf. Als Analogie kann man den Schülerinnen und Schülern das folgende Beispiel nennen: Stellt euch vor, der Fahrer eines stehenden Autos tritt fest aufs Gaspedal und drückt es die ganze Zeit konstant bis zum Anschlag durch. Der Wagen setzt sich in Bewegung und wird immer schneller und schneller.

► Interessant!

Schwerelos, aber nicht masselos!



Alexander Gerst bei seinem Spacewalk.
Bild: NASA/ESA

Ein interessanter Aspekt wird oft übersehen: In der Schwerelosigkeit kann ein Astronaut zwar auch größere Objekte leicht auf dem kleinen Finger balancieren, denn schließlich wiegen ja all diese Dinge nichts mehr. Aber natürlich behalten alle Gegenstände ihre Masse bei! Wenn ein Astronaut beispielsweise während eines Spacewalks eine kleine und leichte Schraube einfangen würde, die da langsam an ihm vorbei durchs All schwebt, so wäre das problemlos möglich. Ganz anders sähe das bei einem tonnenschweren Satelliten aus: Er ließe sich wegen seiner großen Masse selbst unter Aufbietung aller Muskelkraft nicht aufhalten.

Aufgabe 12: Der fallende Becher

Dass im freien Fall Schwerelosigkeit herrscht, zeigt folgender Handversuch. Man hält dabei einen Becher voll Wasser fest, in dem unten ein Loch ist. Das Wasser fließt natürlich aus dem Loch heraus. Lässt man den Becher fallen, zeigt die Videoaufzeichnung anschließend in Zeitlupe oder Einzelbildschaltung: Sobald der Becher fällt, fließt kein Wasser mehr durchs Loch. Denn es fällt nun genauso schnell nach unten wie der Becher – ganz ähnlich wie es in den bereits erwähnten Beispielen beim fallenden Aufzug bzw. Sprung vom Drei-Meter-Brett passiert. Nach demselben Prinzip fällt die *ISS* um die Erde: mit den Astronauten im Innern.

Die Durchführung des kleinen Becher-Versuchs ist kinderleicht und kann daher den Kindern überlassen werden. Die Erklärung sollte aber durch Sie geführt im gemeinsamen Gespräch erarbeitet werden.

Hinweise: Je nach Alter der Kinder sollte die Lehrkraft das Loch in den Becher bohren oder schneiden. Und natürlich klappt der Versuch auch ohne Kamera!

Der fallende Becher

Wenn ein Becher mit Wasser gefüllt ist und ein Loch hat, fließt das Wasser raus – klar! Aber was passiert, wenn der Becher nach unten fällt? Fließt das Wasser dann auch aus dem Loch? Macht den Test mit dem fallenden Becher!

Ihr braucht dafür:

- 1 leerer Becher aus Plastik (z. B. Joghurt-Becher) oder Pappe
- Wasser (in einer Flasche bereithalten)
- 1 Eimer (damit der Boden nicht zu nass wird)
- 1 Handtuch oder Putzlappen (zum Aufwischen, falls doch etwas daneben geht)
- 1 Schere
- 1 Videokamera (Smartphone mit Video-Funktion)

Achtung: Macht diesen Versuch keinesfalls in der Nähe von elektrischen Geräten!

So wird's gemacht:

Schneidet unten ein Loch in den Becher und gießt Wasser hinein. Das Loch wird anfangs mit dem Finger geschlossen gehalten, damit sich der Becher füllt. Nun haltet ihr den Becher hoch in die Luft – direkt über einem Eimer, der auf dem Boden steht (oder noch besser im Freien).

Ab jetzt filmt ihr den Becher, wobei das Loch gut zu sehen sein muss. Die Kamera darf sich nicht bewegen (Stativ oder ruhig halten). **Tipp:** Im Bildausschnitt eurer Kamera sollte unter dem Becher noch genug Platz sein, damit man sieht, wie der Becher nach unten fällt.

Jetzt den Finger vom Loch nehmen und gleich danach den Becher loslassen! Was passiert? Filmt den Becher, bis er nach unten aus dem Bildausschnitt fällt.

Wertet den Film anschließend aus. Seht ihn euch auch in Zeitlupe an oder stoppt zwischendurch, um einzelne Bilder zu betrachten!

Besprecht eure Beobachtungen mit der Lehrerin bzw. dem Lehrer.



Aufgabe 13: Physikunterricht in der Turnhalle

Bei diesem Mitmach-Experiment geht es erstens um Schwerelosigkeit und zweitens in die Turnhalle. Dort wird ein Trampolin aufgebaut (es genügt auch ein kleines, rundes Trampolin). Den Versuch kann man in zwei Varianten durchführen.

Variante A: Mit der Beschleunigungs-App auf dem Trampolin

Materialien

- 1 Trampolin
- 1 Smartphone mit Beschleunigungs-App

Und so geht's:

Erst dürfen die Kinder zur Eingewöhnung einfach auf dem Trampolin herumhüpfen. Dann wird ein Smartphone, das über eine App zur Beschleunigungsanzeige verfügt, am Körper fixiert – etwa mit einem Gürtel (also nicht in den Händen halten, da die Armbewegungen beim Hüpfen die Werte verfälschen). Die Auswertung zeigt, dass die Beschleunigungsanzeige auf „null“ zurückgeht, wenn der Springer in der Luft ist. Mit anderen Worten: Während des Sprungs werden immer wieder Phasen der Mikrogravitation durchlaufen. Vom Prinzip her ist man dabei so schwerelos wie ein Astronaut! Am Rande bemerkt: Wenn der Springer auf dem Trampolin ankommt und zum nächsten Hüpfen ansetzt, zeigt die App eine erhöhte Beschleunigung an, die stärker als im Normalzustand auf dem Boden ist. Das ist genau derselbe Effekt, der bei Parabelflügen im „Tal“ der Flugbahn auftritt (siehe Seite 37).

Variante B: Die schwerelose Apfelsine

Materialien

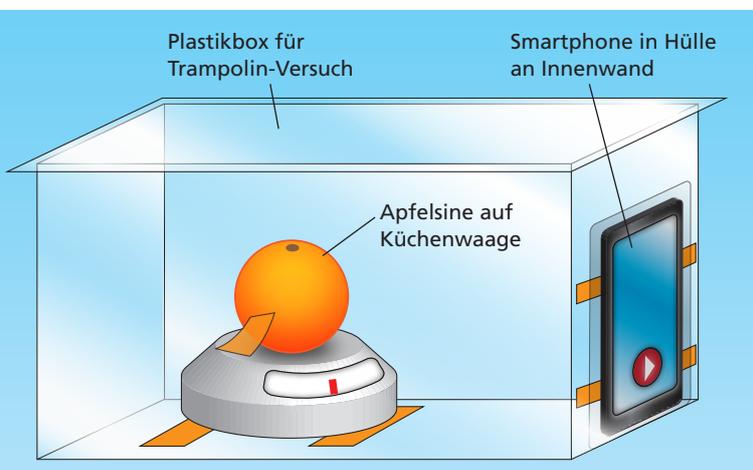
- 1 Trampolin
- 1 stabile Plastikbox (am besten durchsichtig)
- 1 Apfelsine, Apfel oder anderes Objekt mit möglichst großer Masse
- 1 Küchenwaage (analog, nicht digital)
- 1 Smartphone mit Kamerafunktion (oder andere kleine Videokamera)
- Klettband oder doppelseitiges Klebeband, einfaches Klebeband
- 1 Schere
- 1 Frühstücksbeutel oder 1 Klarsichthülle als Hülle für das Smartphone
- ggf. 1 weiteres Smartphone (mit Beschleunigungs-App)
- ggf. kleine Spielzeug-Figuren (einfache Version für jüngere Kinder)

Und so geht's:

Eine Küchenwaage (nicht digital, sondern eine „klassische“ Federwaage) wird mit Klettband oder doppelseitigem Klebeband auf dem Innenboden einer Plastikbox fixiert. Ein Objekt (z. B. eine Apfelsine oder ein noch schwererer Gegenstand etwa aus Metall) wird auf der Waagschale platziert und dort locker (!) mit Klebeband befestigt, damit es nicht wegrollt. Jetzt muss nur noch die Smartphone-Kamera auf die Skala der Waage ausgerichtet werden – je nachdem wo sich die Skala der Waage befindet entweder an der Innenwand oder innen am Deckel der Box.

Tipp: Bei einer Smartphone-Kamera empfiehlt es sich, zuvor an der Innenseite der Box eine passgenaue Hülle (z. B. aus Frühstücksbeutel oder Klarsichthülle gefaltet) mit Klebeband anzubringen, in die man für das Kameraobjektiv eine Aussparung schneidet.

Direkt vor dem Versuch wird die Videoaufzeichnung gestartet und das Smartphone mit bereits laufender Kamera in die Hülle gesteckt (ohne dass es bei den Sprüngen wackelt). Der „Springer“ führt dann ca. zehn Sprünge samt Box und laufender Kamera durch. Danach wird das Video ausgewertet. Wann zeigt die Skala das Ruhengewicht des Objekts auf der Waage? Wann zeigt sie erhöhte oder verminderte Werte? Warum ist das so?



Aufbauschema für Variante B: Die schwerelose Apfelsine.

Beide Experimente lassen sich natürlich auch kombinieren, sodass man die Werte von Waage und App vergleichen kann. Bemerkenswert ist dabei: Der freie Fall findet auch schon auf dem Weg nach oben statt! Diese scheinbar paradoxe Situation des „nach oben Fallens“ zeigt in Fortführung des vorherigen „Becher-Experiments“: Es geht nicht darum, dass etwas in Richtung Erdboden fällt! Es geht darum, dass auf ein System keine Beschleunigung wirkt – egal in welcher Richtung es sich bewegt.

Tipp: Für jüngere Kinder lassen sich die Trampolin-Experimente stark vereinfachen, indem eine durchsichtige Plastikbox mit Objekten wie etwa kleinen Spielzeug-Figuren verwendet wird. Die Box stellt die Raumstation dar, die Figuren verkörpern die Astronauten. Beim Trampolinspringen mit der Box in der Hand „schweben“ und „purzeln“ die Astronauten darin herum, was im Smartphone-Video schön zu sehen ist.

Achtung: Die Trampolin-Experimente dürfen nicht von Kindern mit Gleichgewichtsstörungen durchgeführt werden.

Aufgabe 14: Die Fallkapsel

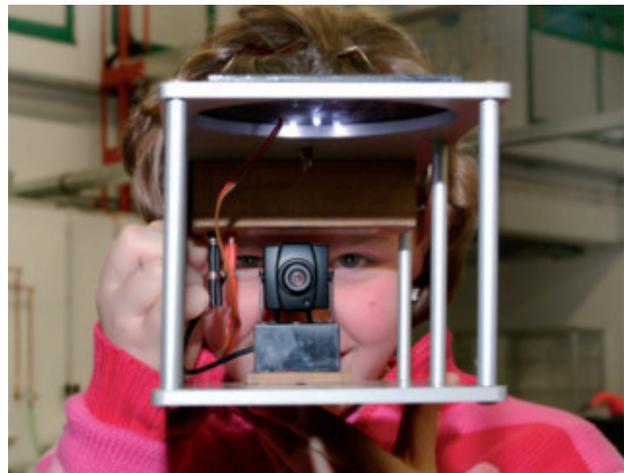
Experimente mit einer kleinen Fallkapsel „Marke Eigenbau“ sind in Umsetzung und Auswertung deutlich anspruchsvoller als die vorherigen Trampolin-Versuche und bieten viele Möglichkeiten für vorwissenschaftliches Experimentieren. Vom Prinzip her funktioniert die Fallkapsel wie ein Fallturm, bei dem Schwerelosigkeits-Experimente aus großer Höhe in die Tiefe fallen. Während dabei in der echten Forschung mehrere Sekunden lang Schwerelosigkeit herrscht, bringt es unsere Fallkapsel auf etwas mehr als eine halbe Sekunde. Doch schon das genügt, um einige äußerst interessante Effekte sichtbar zu machen.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, wie man die Fallkapsel konstruieren und bauen kann. Für schulische Zwecke empfehlen wir eine einfache Plastikbox (etwa aus der Küche). Im Inneren der Box wird auf der einen Seite ein Smartphone mit Videofunktion (oder eine andere kleine Videokamera) fixiert. Sie filmt den Ablauf des jeweiligen Experiments, das auf der gegenüberliegenden Seite in der Box platziert wird – etwa ein fest verschlossenes Glas, in dem Wasser mit etwas Luft enthalten ist, oder eine Kerze. Wie verhält sich das Wasser-Luft-Gemisch in Schwerelosigkeit, wenn die Box einige Meter nach unten fällt?

► Tipp!

Falsche Erklärung vermeiden!

Oft wird die Tatsache, dass auf der *ISS* Schwerelosigkeit herrscht, so erklärt, dass sich die Anziehungskraft der Erde und die Zentrifugalkraft infolge der hohen Geschwindigkeit der *ISS* aufheben. Dieses Erklärungsmodell ist aber zu kurz gegriffen und irreführend. Denn es vermag nicht zu begründen, wie es bei Parabelflügen oder in Falltürmen zu Schwerelosigkeit kommt, da hier ja keinerlei Kreisbewegung im Spiel ist. Auch bei all den in diesem Heft aufgeführten Mitmach-Experimenten – vom Aufzug über das Trampolin bis zur Fallkapsel – geht diese Erklärung ins Leere. Und auch die Schwerelosigkeit an Bord eines Raumschiffs, das zum Mond oder Mars fliegt, ist so nicht erklärbar.



Fallkapseln können auf verschiedene Weise konstruiert werden. Dieses Modell besteht lediglich aus einem stabilen „Käfig“ mit einer kleinen Kamera plus Licht. Per Klebe- oder Klettband können dann verschiedene Experimente eingebaut werden: etwa ein Glas mit Wasser und etwas Luft oder eine Dose mit einer Kerze. Bild: DLR

Wie brennt die Kerzenflamme? Auf einem Tisch stehend lässt eine Schülerin oder ein Schüler die Box nach unten auf ein Kissen fallen, das auf dem Boden liegt. Was in der Phase des freien Falls passiert, wertet man anschließend per Einzelbildschaltung aus.

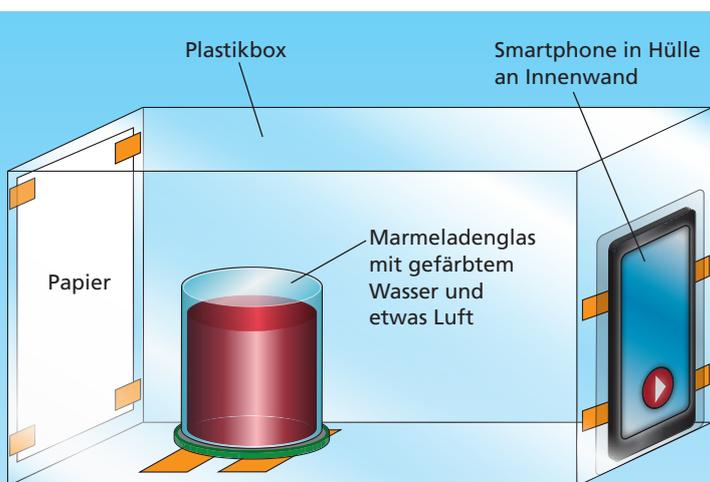
Materialien für die Fallkapsel

- 1 stabile Plastikbox (am besten durchsichtig) mit Deckel
- 1 Smartphone mit Kamerafunktion (oder andere kleine Videokamera)
- Klettband oder doppelseitiges Klebeband, einfaches Klebeband
- 1 Frühstücksbeutel oder Klarsichthülle als Hülle für das Smartphone
- 1 Schere
- 1 Blatt weißes Papier
- 1 möglichst großes Kissen (um die Kapsel beim Aufprall zu schützen)

Und so geht's:

Bau der Fallkapsel

Um die Experimente im Inneren der Fallkapsel anzubringen, wird doppelseitiges Klebeband oder Klettband an den entsprechenden Stellen auf den Boden der Plastikbox geklebt. Als Halterung für das Smartphone kann vorab eine passgenaue Hülle (z. B. aus Frühstücksbeutel oder Klarsichthülle) gefertigt werden, in die man ein Loch für die Kamera schneidet. Die Hülle wird mittels Klebeband so an der Innenwand der Box befestigt, dass die Kamera das Experiment im Blick hat. Unmittelbar vor dem Versuch startet man dann die Videoaufzeichnung und steckt das Smartphone mit bereits laufender Kamera in die Hülle (ohne dass es bei den Sprüngen wackelt). Fertig ist die Fallkapsel! Jetzt zu den Versuchen ...



Aufbau-Skizze der Fallkapsel mit dem Wasser-Luft-Experiment.

Materialien für Drop-Test A und Drop-Test B

- 1 leeres Marmeladenglas
- Wasser, ggf. mit Tinte oder Lebensmittelfarbe eingefärbt
- 1 Konservendose
- 1 Pinsel
- schwarze Farbe
- 1 Teelicht (Docht etwas kürzen)
- Streichhölzer

Drop-Test A: Das Wasser-Luft-Experiment

Färben Sie zunächst Wasser mit Lebensmittelfarbe oder Tinte ein und füllen Sie es in ein leeres Marmeladenglas, sodass sich nur noch wenig Luft im Glas befindet. Das Glas wird gut verschlossen und auf den Deckel des Glases wird Klettband geklebt. Nun platzieren Sie das Glas „kopfüber“ in der Box, wo es mittels der Klettbänder am Boden fixiert wird. Damit später im Video gut zu erkennen ist, was im Glas passiert, können Sie dahinter ein weißes Blatt Papier an der Innenwand der Box anbringen. Dann ist die Fallkapsel auch schon für den ersten „Drop-Test“ fertig!

Bevor der Test beginnt, stellen die Kinder Hypothesen auf: Wie wird sich das Wasser-Luft-Gemisch wohl verhalten? Die Kinder formulieren Vermutungen und begründen sie. Dann folgt der Test mit laufender Kamera. Ein Kind (auf einem Tisch stehend) lässt die Box auf das Kissen fallen.

Nach dem Test (bzw. mehreren Durchgängen) analysieren die Schülerinnen und Schüler, wie sich das Wasser-Luft-Gemisch verhalten hat. Die Einzelbildschaltung zeigt, wie sich im Wasser eine runde Luftblase bildet! Jetzt wird diskutiert, warum das so ist.

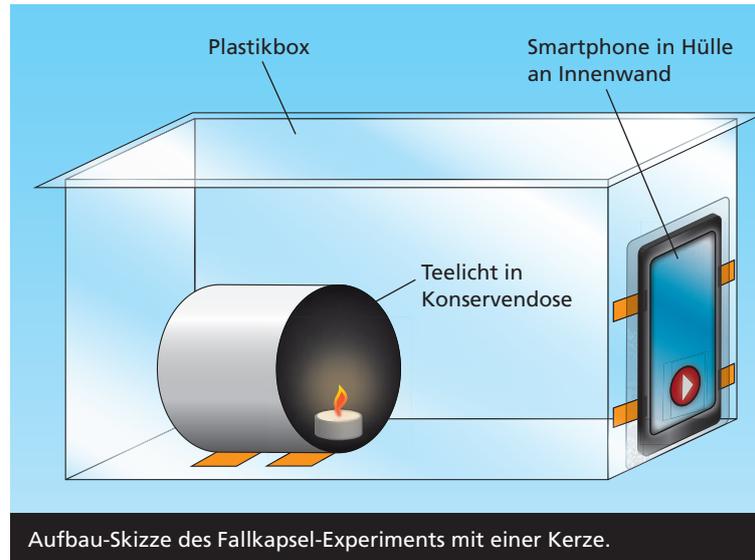
Erklärung: Da die Schwerkraft als dominante Kraft wegfällt, tritt eine andere Kraft zutage – nämlich die Oberflächenspannung. Sie „zwingt“ die Luftblase in eine Kugelform, während sich das Wasser an den Innenwänden des Glases – um die Luftblase herum – anordnet. Dieses „Mini-Experiment“ demonstriert ein wesentliches Prinzip vieler ISS-Experimente: In Schwerelosigkeit lassen sich physikalische Effekte betrachten und analysieren, die auf der Erde von der allgegenwärtigen Schwerkraft überlagert und „maskiert“ werden.

Drop-Test B: Die seltsame Kerzenflamme

Achtung: Das Experiment darf nur unter Aufsicht von Erwachsenen durchgeführt werden, weil mit einer Kerzenflamme gearbeitet wird. Die Box sollten Sie kurz (!) vor dem Fall mit einem Deckel verschließen, damit das Kissen (das den Aufprall auf dem Boden abfedert) nicht Feuer fängt. Nach dem Fallversuch nicht gleich die Dose anfassen, da sie heiß sein kann (Verbrennungsgefahr)!

Zunächst wird eine Konservendose innen schwarz angestrichen (so ist die Kerzenflamme im Video deutlicher zu erkennen). Dann wird in die Dose ein Teelicht (Docht etwas kürzen) geklebt. Die Dose wird auf der Seite liegend mit dem Teelicht in Richtung Kamera in der Fallkapsel angebracht (mit Klett- oder Klebeband am Boden fixieren). Die Kerze wird erst unmittelbar vor dem Fallversuch angezündet, damit die Flamme nur kurze Zeit brennt und sich die Dose nicht zu stark erhitzt. Kamera starten und in die Halterung an der Innenwand geben – los geht's mit dem zweiten „Drop-Test“!

Auch hier werden vorab Hypothesen zum Versuchsaufbau aufgestellt. Die Video-Auswertung zeigt schließlich, dass die Kerzenflamme klein, rund und bläulich brennt. Die Ursache wird in einer gemeinsamen Diskussion herausgearbeitet: In Schwere-



Aufbau-Skizze des Fallkapsel-Experiments mit einer Kerze.

losigkeit gibt es kein „leicht“ und „schwer“ und daher auch keine Konvektion. Heiße Luft ist also in Schwerelosigkeit nicht leichter als kalte. Daher steigt sie nicht nach oben, weshalb kaum neue, sauerstoffhaltige Luft „nachrücken“ kann. In der Folge führt das dazu, dass die Flamme unter Sauerstoffarmut blau brennt. **Hinweis:** Dieses Kerzen-Experiment können Sie wahlweise auch erst im Anschluss an die folgenden Versuche durchführen.

Aufgabe 15: Konvektion – Das Kugel-Teilchen-Modell und die Alu-Spirale

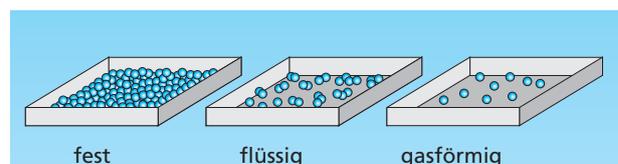
Direkt an das Kerzen-Experiment aus der Fallkapsel anknüpfend oder wahlweise auch vorgeschaltet kann die folgende Übung dem Verständnis dienen. Dem eigentlichen Mitmach-Experiment mit einer Alu-Spirale (siehe Schüler-Arbeitsblatt) sollte dabei eine Erläuterung anhand des Kugel-Teilchen-Modells vorausgehen.

Und so geht's:

In drei Schuhkarton-Deckeln befinden sich unterschiedlich viele Kügelchen: erstens sehr dicht gepackt, zweitens mit etwas mehr Distanz zueinander angeordnet und drittens nur wenige Kügelchen in sehr großen Abständen.

Materialien

- 3 Schuhkarton-Deckel
- Holzperlen (oder wahlweise Krepppapier, wenn Sie die Kügelchen mit den Kindern selbst herstellen möchten)



Das Kugel-Teilchen-Modell: In drei Schuhkarton-Deckel werden Kügelchen in unterschiedlicher Dichte gepackt.

Erklären Sie den Kindern anhand des Modells, dass alle Materie aus kleinsten Teilchen besteht, die man sich wie Kügelchen vorstellen kann. Wenn die Kügelchen dicht aneinander liegen, ist die Materie fest. Wenn die Kügelchen etwas weiter auseinander liegen, ist die Materie flüssig. Wenn die Kügelchen noch weiter voneinander entfernt sind, ist die Materie gasförmig. Veranschaulichen Sie das Gesagte am Kugel-Teilchen-Modell. Ordnen Sie dabei die Kugeln in den drei Deckeln so an, dass sie die drei Aggregatzustände „fest“, „flüssig“ und „gasförmig“ darstellen. Nennen Sie den Kindern einige Beispiele für die Aggregatzustände – etwa Holz für fest, Orangensaft für flüssig und Luft für gasförmig.

Hinweis: Vermeiden Sie als Beispiel Eis, Wasser und Wasserdampf, da hier die Besonderheit besteht, dass gefrorenes Wasser (also Eis) leichter ist als flüssiges Wasser (was sehr kompliziert zu erklären ist), weshalb Eisberge oder -schollen auf dem Wasser schwimmen.

Im anschließenden Mitmach-Experiment wird Konvektion „sichtbar“ gemacht, bei der die im Kugel-Teilchen-Modell veranschaulichte Dichte eine entscheidende Rolle spielt. Die erforderlichen Materialien sind im Schüler-Arbeitsblatt aufgelistet.

Achtung: Das Experiment darf nur im Beisein von Erwachsenen durchgeführt werden, weil mit einer Kerzenflamme gearbeitet wird. Bitte verwenden Sie unbedingt Alufolie für die Schnecken-Spirale und keine anderen Materialien, da die Folie schwer entflammbar ist, und weisen Sie die Kinder auf den nötigen Sicherheitsabstand zur Kerze hin.

Nach dem Mitmach-Experiment erläutern Sie unter erneuter Hinzuziehung des Kugel-Teilchen-Modells: Heiße Luft hat weniger „Kügelchen“ pro Raumeinheit als kühlere Luft. Sie ist deshalb leichter und steigt nach oben – wie eben bei dieser Alu-Spirale oder auch bei einer Weihnachtspyramide oder einem Heißluftballon.

Die abschließende Frage aus dem Schüler-Arbeitsblatt ist dann einfach zu beantworten: Wenn es in Schwerelosigkeit gar kein „leicht“ und „schwer“ gibt, weil alles „nichts“ wiegt, steigt heiße Luft nicht nach oben. Hier schließt sich der Kreis zum Kerzen-Experiment aus der Mini-Fallkapsel und wir kommen zu einem weiteren Versuch, der demonstriert: Heißes ist (unter Schwerkrafteinfluss auf der Erde) leichter als Kaltes.

Warme Luft ist leichter als kalte Luft

Sicher habt ihr schon mal einen großen Heißluftballon am Himmel gesehen. Vielleicht habt ihr dabei sogar unten am Ballon die Flamme beobachten können, mit der die Luft erhitzt wird. Aber wie ist es möglich, dass der Ballon nach oben steigt, obwohl darin nur heiße Luft enthalten ist? Der Ballon steigt nach oben, weil heiße Luft leichter ist als kalte Luft. Prüft es im Mitmach-Experiment nach!

Ihr braucht dafür:

- Alufolie (Größe wie ein DIN-A5-Blatt)
- 1 Bleistift (nicht zu spitz)
- 1 Teelicht
- Streichhölzer
- 1 dünnen Faden (Nähgarn) und 1 Nadel
- 1 Marmeladenglas-Deckel

So wird's gemacht:

- 1 Schneidet ein Stück Alufolie von der Rolle ab, das etwa so groß wie ein DIN-A5-Blatt ist.
- 2 Zeichnet mit Bleistift eine handgroße schneckenförmige Spirale auf die Alufolie.
- 3 Schneidet eure Spirale auf der Alufolie nun vorsichtig entlang den Umrisslinien aus.
- 4 Am inneren Ende der Spirale befestigt ihr mithilfe der Nadel einen dünnen Faden.
- 5 Stellt das Teelicht auf den Marmeladenglas-Deckel und zündet es mit den Streichhölzern an.
- 6 Haltet den Faden mit der Spirale ca. 30 cm hoch über die Flamme des Teelichts. **Achtung:** Kommt mit der Hand nicht näher an die Kerze, damit ihr euch nicht verbrennt!
- 7 Beobachtet und besprecht, was passiert.

Frage: Auf der *ISS* herrscht Schwerelosigkeit. In Schwerelosigkeit gibt es kein „leicht“ und „schwer“. Würde sich eure Aluminium-Spirale dort drehen?

Aufgabe 16: Das Wasser-Rätsel



Blaues und gelbes Wasser: In einem Glas (rechts) mischen sie sich zu grünem Wasser, im anderen bleiben sie zunächst getrennt. Bild: DLR

Nachdem Sie das Kugel-Teilchen-Modell erläutert haben, führen Sie dieses Experiment vor der Klasse durch – und zwar ohne gleich zu verraten, was hier geschieht. Denn genau das sollen die Kinder selbst erraten bzw. schlussfolgern! Schließlich sind sie ja angehende Astronauten und müssten sich nach den vorhergehenden Übungen damit auskennen. Bei diesem Versuch geht es in zwei Durchgängen um die Verteilung von Wasser: einmal bei gleicher und dann bei unterschiedlicher Temperatur.

Materialien

- 4 (hitzebeständige) Gläser
- kaltes Leitungswasser (in einer Flasche)
- 1 Wasserkocher und 1 Thermoskanne für heißes Wasser
- 1 Esslöffel
- 2 verschiedene Lebensmittelfarben (am besten blau und gelb).

Und so geht's:

Kündigen Sie der Klasse an, dass Sie einen „Trick“ vorführen und die Kinder herausfinden müssen, was da warum passiert. Vorab (und ohne dass die Kinder es sehen konnten) haben Sie Wasser für etwa ein halbes Glas erhitzt, blau eingefärbt und in eine Thermoskanne gefüllt. Auf einem Tisch platzieren Sie nun vier Gläser (jeweils zwei pro Durchgang).

Beim ersten Durchgang füllen Sie zwei Gläser je zur Hälfte mit kaltem Wasser. In einem Glas färben Sie das Wasser blau, im anderen gelb. Jetzt gießen Sie das blaue Wasser aus dem einen Glas vorsichtig in das Glas mit dem gelben Wasser. Resultat: Beide Flüssigkeiten durchmischen sich sofort und ergeben grünes Wasser.

Das soll schon der ganze Trick gewesen sein? Nein! Jetzt geht's erst richtig los! Es folgt der zweite Durchgang: Gießen Sie nun das heiße, zuvor blau gefärbte Wasser aus der Thermoskanne in das dritte Glas. Das vierte Glas füllen Sie zur Hälfte mit kaltem gelbem Wasser. Optisch ist diese Ausgangssituation also mit dem ersten Durchgang identisch. Jetzt gießen Sie langsam das heiße (blaue) in das kalte (gelbe) Wasser. Damit es sich nicht gleich durchmischt, halten Sie einen Esslöffel ganz dicht über die Oberfläche und gießen das heiße Wasser über den Löffel ins kalte. Durch die unterschiedlichen Farben ist sofort die Abtrennung zwischen kaltem und heißem Wasser zu erkennen: Das kalte gelbe Wasser ist unten, das heiße blaue Wasser bleibt darüber. Fordern Sie die Kinder zu einer Erklärung auf. Stellen Sie auch die Frage, wie sich die Flüssigkeiten in Schwerelosigkeit durchmischen würden.

Hinweis: Beim ersten Durchgang ist es eigentlich nicht nötig, das blaue Wasser über einen Löffel in das Glas mit dem gelben Wasser zu gießen, da ja beide kalt sind und sich daher ohnehin vermischen. Damit die Kinder aber nicht glauben, der Löffel wäre die Ursache für den unterschiedlichen Ausgang des Experiments, gießen Sie am besten auch beim ersten Durchgang das Wasser über einen Löffel ins Glas.

Aufgabe 17: Das gefälschte Schwebefoto



Scheinbar schwerelos: Nach seiner ersten *ISS*-Mission traf Alexander Gerst die Gewinner eines Schulwettbewerbs – und auf Bitte des Fotografen wurde hier kurzzeitig die Schwerkraft aufgehoben ;-) Bild: DLR

Als kleine Auflockerung hier eine Anregung für eine eher künstlerische Auseinandersetzung mit dem Thema Schwerelosigkeit: Wer macht das originellste „Fake-Foto“? Die Kreativaufgabe: „Nehmt ein Foto auf, bei dem es so aussieht, als ob ihr schwerelos schweben würdet.“ Die Schülerinnen und Schüler können dazu Teams bilden – etwa indem eine Person im Bild zu sehen ist, andere knapp jenseits des Bildrands assistieren und scheinbar schwebende Objekte ins Foto halten. Natürlich sind auch dünne Fäden,

an denen Objekte unsichtbar befestigt werden, oder andere Tricks etwa mit entsprechenden Bildbearbeitungsprogrammen erlaubt.

Achtung: Weisen Sie die Schülerinnen und Schüler darauf hin, dass sie jegliche Verletzungsgefahr ausschließen sollen (z. B. weiche Matte als Untergrund benutzen). Für ein wirklich gutes Foto sollten die nötigen Requisiten vorab genau überlegt werden. Auch ein Stativ ist hilfreich.

4.2 Auswirkungen auf den menschlichen Körper



Alexander Gerst schwebt nach Feierabend durch die ISS, als die normale Beleuchtung bereits ausgeschaltet war (daher die seltsame Lichtstimmung). Bild: NASA/ESA



Schon lange vor dem Start werden Astronauten medizinisch untersucht. Hier Alexander Gerst beim Augentest im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Die Werte werden dann mit den Daten verglichen, die während des Fluges und danach gesammelt werden. Bild: DLR

Nur wer wirklich gesund ist, darf ins All. Astronauten werden daher schon lange vor dem Start sehr intensiv untersucht. In Schwerelosigkeit entwickeln sie dann Symptome, die irdischen Krankheiten entsprechen. Die Knochen bauen Calcium ab – ähnlich wie bei Osteoporose. Das Immunsystem büßt an Leistungsfähigkeit ein. Und während sich unsere Körperflüssigkeiten wie beispielsweise Blut normalerweise in einer Balance befinden, verlagern sie sich ohne den Faktor Schwerkraft vermehrt in die oberen Körperregionen. Das führt zu Kreislaufbeschwerden, erhöhtem Augeninnendruck und anderen Effekten. Die ungewohnte Umgebung der Schwerelosigkeit kann auch zu Gleichgewichtsstörungen führen. Nach der Landung bilden sich diese Symptome wieder zurück. Mediziner können all diese Abläufe im Organismus unter kontrollierten Bedingungen studieren und daher wichtige Rückschlüsse auch für die irdische Praxis ziehen. Nachfolgend einige ganz harmlose Übungen, in denen es um diese Fragen geht.

Zur Didaktik

- Die Kinder lernen spielerisch das Thema Gleichgewichtssinn kennen (das später noch vertieft wird).
- Die Kinder bauen ein Wirbelsäulenmodell, lernen dadurch den schematischen Aufbau der Wirbelsäule und den Einfluss der Schwerkraft auf die Wirbelsäule kennen. Sie werden zugleich mit Modellen als Mittel der Visualisierung und Demonstration bekannt gemacht.
- Die Kinder lernen beim Marmeladen-Test am Beispiel des Geschmacksinns einen weiteren Effekt der Schwerelosigkeit kennen (und werden hier mit der Logik empirischer Studien einschließlich Kontrollgruppe bekannt gemacht).

Experimente und Übungen

Aufgabe 18: Der Drehwurm

„Ich war gerade erst auf der Station angekommen, als ich durch einen der Verbindungsknoten schwebte“, erzählt der deutsche ESA-Astronaut Thomas Reiter. „Wie bei einer Kreuzung zweigen dort mehrere Module in verschiedene Richtungen ab. Ich blickte in die lange Röhre unter mir und dachte spontan: Das ist ja tief! Da darfst du aber nicht reinfallen!“ Der Wechsel von der Erde zum Leben auf der *ISS* ist eine

Materialien

- 1 Tuch (um die Augen zu verbinden)
- Turnmatten oder alternativ 1 Drehstuhl

gravierende Erfahrung und es dauert, bis sich unsere Reflexe darauf eingestellt haben. Durch ein Fenster erblickt man tief unter sich die Erde – und eine kleine Körperdrehung genügt, um unseren Planeten hoch über sich zu sehen. In spielerischen „Selbstversuchen“ können die Kinder dieses Phänomen der räumlichen Desorientierung erfahren.

Und so geht's:

Einige Astronauten leiden darunter, andere nicht. Die Rede ist von der Raumkrankheit, die mit Desorientierung, Schwindelgefühlen und Übelkeit einhergeht. Diese Symptome sind der Seekrankheit ähnlich und klingen nach einigen Tagen der Eingewöhnung ab. Dazu hier eine Übung, die wir alle von Kindergeburtstagen kennen: Wir spielen „Blinde Kuh“. Um jede Verletzungsgefahr auszuschließen, führen Sie das Spiel am besten auf einer oder mehreren Sportmatten in der Turnhalle durch. Nacheinander werden einige Freiwillige mehrmals um die eigene Achse gedreht. Wer danach am besten geradeaus laufen kann, gehört zu den „robusteren“ Astronautentypen. Ganz ohne Turnhalle und Matten funktioniert eine Drehstuhl-Übung im Klassenzimmer: Wo ist die Tafel? Wer zeigt nach mehreren Umdrehungen mit geschlossenen Augen in die richtige Richtung?

Achtung: Kinder mit Gleichgewichtsstörungen dürfen diese Übungen nicht ausführen!



Zwei Mal dasselbe Foto mit dem deutschen ESA-Astronauten Thomas Reiter und seiner *ISS*-Crew. In der linken Darstellung ist Reiter unten im Bild zu sehen. Aber wo ist im Weltraum „unten“? Man kann das Foto genauso gut auf den Kopf stellen, wie wir es rechts getan haben – und dann wäre Reiter oben in der Bildmitte. Bild: NASA

Aufgabe 19: Morgens sind wir größer als abends!



Starre Wirbel und elastische Bandscheiben: Kinder bilden eine Wirbelsäule nach und verstehen so, warum man morgens größer ist als abends – und warum Astronauten im All größer werden. Bild: DLR/Timm Bourry.

Wussten Sie, dass Sie morgens etwas größer sind als abends? Und dass Astronauten in Schwerelosigkeit sogar einige Zentimeter „wachsen“? Dazu hier zwei Anregungen. Wir beginnen mit einer kleinen Hausaufgabe.

Materialien

- 1 Maßband oder Metermaß (Zollstock)
- 1 Buch
- 1 Stift

Und so geht's:

Nachts wird die Wirbelsäule im Liegen entlastet, tagsüber wird sie im Stehen unter dem Einfluss der Schwerkraft gestaucht. Die Kinder können das als Hausaufgabe an sich selbst testen: direkt nach dem Aufstehen so exakt wie möglich die Körpergröße mit einem Strich an der Wand markieren, abends vor dem Zubettgehen die Messung wiederholen. Am besten gelingt das mit elterlicher Hilfe und einem Buch auf dem Kopf, damit der Winkel stimmt und die Werte vergleichbar sind – denn es geht nur um wenige Millimeter Unterschied.

Ergänzend zur „Hausaufgabe“ hier ein Vorschlag für ein Erklärungsmodell: Durch den Bau eines vereinfachten Wirbelsäulen-Modells kann die Auswirkung der Schwerkraft auf unsere Körpergröße illustriert werden. Der Vergleich im „Stehen“ und „Liegen“ macht den Effekt der Schwerkraft auf die Bandscheiben deutlich: Er beträgt bei dem hier beschriebenen Versuchsaufbau ca. 1 cm.

Alle Materialien und die Durchführung entnehmen Sie dem Schüler-Arbeitsblatt. Im Modell werden mit Sand gefüllte Marmeladengläser als Wirbel und Mal-Schwämmchen als Bandscheiben verwendet. Beides wird abwechselnd in einer Röhre gestapelt, die sich aus zwei PET-Flaschen zusammensetzt. Anschließend wird die Länge des „Gläser-Schwämmchen-Turms“ in der Senkrechten (stehend) und in der Waagerechten (liegend) gemessen.

Hinweise: Erstens sollten Sie vorab testen, ob der Effekt deutlich messbar ist (da hier viel von der Elastizität und Dicke der Schwämmchen und von der Schwere der Gläser abhängt, sodass ggf. eine etwas größere Anzahl beider „Zutaten“ erforderlich ist). Zweitens empfiehlt es sich, dass Sie vorab kleine Löcher in die PET-Flaschen bohren oder stechen, damit die Kinder gut mit der Schere ansetzen können. Drittens die Erklärung zur Zusatzfrage im Schüler-Arbeitsblatt: Da Astronauten meist mehrere Monate auf der ISS in Schwerelosigkeit verbringen, wird ihre Wirbelsäule dauerhaft entlastet und sie werden etwa 2 bis 3 cm größer (was sich nach der Rückkehr zur Erde wieder normalisiert).

Morgens sind wir größer als abends!

Wenn ihr euren Rücken vom Hals nach unten abtastet, könnt ihr eure Wirbelsäule spüren. Wer gelenkig ist, schafft das bei sich selbst – sonst bei einer Mitschülerin oder einem Mitschüler. Damit wir uns gut bewegen können, befinden sich zwischen den Wirbeln die sogenannten Bandscheiben. Die Wirbel sind hart und starr, die Bandscheiben dazwischen weich und elastisch.

Morgens direkt nach dem Aufstehen sind wir etwas größer als am Abend.

Wie kann das sein? Findet es selbst heraus und baut das Modell einer Wirbelsäule!

Die harten Wirbel sind im Modell Marmeladengläser, die ihr vorher mit Sand füllt.

Die weichen Bandscheiben sind im Modell kleine Schwämme, die zwischen die „Wirbel“ kommen. Damit der Turm aus Gläsern und Schwämmen nicht umfällt, kommt alles in eine Röhre, die ihr aus Plastikflaschen bastelt. So könnt ihr am Modell ausprobieren, was in unserem Rücken passiert, wenn wir liegen oder stehen.

Ihr braucht dafür:

- 4 Marmeladengläser mit Deckel (Durchmesser: bis max. 8,5 cm)
- 3 Mal-Schwämmchen (Durchmesser: ca. 7 cm)
- 3 durchsichtige PET-Flaschen (1,5 Liter)
- 1 Schere
- 1 Lineal oder Maßband
- 1 wasserfester Stift
- Sand (1 oder 2 Eimer, genaue Menge abhängig von Größe und Anzahl der Marmeladengläser)

So wird's gemacht:

- 1 Schneidet von zwei PET-Flaschen jeweils das obere und untere Ende ab, sodass ihr zwei „Rohre“ aus den Mittelteilen erhaltet.
- 2 Von der dritten PET-Flasche schneidet ihr nur das obere Ende mit dem Verschluss ab.
- 3 Verbindet die drei Teile mit durchsichtigem Klebeband, sodass ein „Turm“ entsteht.
- 4 Befüllt die Marmeladengläser mit Sand und verschließt sie gut.
- 5 Legt den „Turm“ waagrecht auf den Tisch. Befüllt ihn abwechselnd mit einem Marmeladenglas und einem Schwämmchen dazwischen. Die mit Sand gefüllten Marmeladengläser stellen die Wirbel dar, die Schwämmchen die Bandscheiben.
- 6 Markiert mit einem wasserfesten Stift die Position des Deckels des letzten Marmeladenglases.
- 7 Nun stellt euer Wirbelsäulen-Modell aufrecht hin und haltet es fest.
- 8 Messt noch einmal die Position des Deckels des letzten Marmeladenglases. Was ist geschehen?

Und hier eine kleine Zusatzfrage: Auf der *ISS* herrscht Schwerelosigkeit, sodass die Astronauten nichts wiegen. Was passiert mit der Wirbelsäule?

Aufgabe 20: Der Marmeladen-Test

Und so geht's:

Jetzt folgt der Geschmackstest! Astronauten haben aufgrund der Verschiebung von Körperflüssigkeiten in die obere Körperregion geschwollene Nasenschleimhäute. Wie bei einem Schnupfen mit verstopfter Nase beeinträchtigt das den Geschmackssinn. Um das zu imitieren, müssen sich die Kinder lediglich die Nase zuhalten. So probieren sie (immer mit unbenutzten Löffeln oder Holzspateln) kleine Mengen von zwei verschiedenen Marmeladensorten (jeweils nur eine kleine Löffelspitze). Natürlich müssen auch die Augen verbunden werden, damit die Marmelade nicht an der Farbe erkannt wird. Eine Kontrollgruppe darf zum Vergleich mit offener Nase (aber ebenfalls verbundenen Augen) den Test machen. Welche Gruppe schneidet besser ab?

Hinweise: Am besten bilden Sie drei Schülergruppen: Eine führt den Test mit zugehaltener Nase durch, die andere als Kontrollgruppe mit offener Nase (beide Gruppen mit identischer Schülerzahl). Die dritte Gruppe hilft den Mitschülern (Löffel ins Marmeladenglas tauchen etc.) und überwacht den Test (Anzahl der Treffer pro Gruppe notieren). Damit der Test nicht verfälscht wird, dürfen die Kinder vorher natürlich nicht erfahren, um welche Geschmacksrichtungen es geht. Also sammeln sich alle „Tester“ in einer anderen Ecke des Klassenraums. Von dort werden sie mit verbundenen Augen nacheinander zum Tisch mit den Gläsern geführt. Ihre Ergebnisse flüstern die Marmeladen-Tester dem Kind zu, das die richtigen Treffer protokolliert.

Achtung: Kinder mit Lebensmittelallergien oder anderen Erkrankungen, die Einschränkungen bei der Ernährung erfordern, sollten hier nicht als „Tester“ mitmachen, sondern z. B. die Ergebnisse notieren.

Materialien

- 2 möglichst unterschiedlich schmeckende Sorten Marmelade (je 1 Glas)
- ausreichend Plastiklöffel oder Holzspatel
- Tuch zum Verbinden der Augen
- Zettel und Stift zum Notieren



So sieht Astronautennahrung aus: Den vakuumverpackten Lebensmitteln wie zum Beispiel Spinat (rechts oben) wird vorab das Wasser entzogen. Auf der Raumstation fügen die Astronauten wieder warmes Wasser zu – fertig ist die Mahlzeit. Bild: NASA



Abendessen auf der Raumstation. Hier war gerade die Crew eines *Space Shuttle*s zu Besuch, sodass sich mehr Besatzungsmitglieder als üblich an Bord der Raumstation befanden. Weil deshalb am Tisch nicht genug Platz war, machte es sich ein Astronaut einfach an der Decke bequem. Bild: NASA

4.3 Der Blick auf die Erde

Die Astronautin Tracy Caldwell Dyson genießt den Blick auf die Erde. Bild: NASA

„Am ersten Tag deutete jeder auf sein Land, am zweiten Tag zeigte jeder auf seinen Kontinent. Ab dem dritten Tag sahen wir nur noch die Erde als Ganzes.“ Dieser Satz eines Raumfahrers, der Mitglied einer internationalen Crew war, zeigt, dass der Blick auf die Erde durchaus völkerverbindend sein kann und politische Dimension hat. Außerdem berichten Astronauten immer wieder davon, wie verletzlich und schützenswert unser Heimatplanet aus der Distanz wirkt – auch dies mit Blick auf unseren Umgang mit der Umwelt sicher eine politische Botschaft.

Zugleich ist die Schönheit des „Blauen Planeten“ von einem Zauber, dem sich kaum ein Raumfahrer entziehen kann. Da viele Module der *ISS* keine Fenster haben, ist die Cupola – ein „Mini-Modul“ mit Panoramablick – der beste Ort, um in der Freizeit den Blick auf die Erde zu genießen.

Vorweg für Sie als Lehrkraft noch diese Informationen: Aus 400 Kilometern Höhe ist man der Erde natürlich noch recht nah, sieht also nicht die komplette Erdkugel auf einen Blick. Dennoch lassen sich Gebiete etwa von der Größe Westeuropas in Fotos, die die Astronauten aufnehmen, auf einem Bild erfassen. Nur mit Teleobjektiv sind dabei Einzelheiten wie die Gebäude oder Straßen zu erkennen.

► Spannend!

Die eigene Stadt aus dem Weltraum gesehen

Wenn Sie bzw. Ihre Schülerinnen und Schüler die eigene Stadt suchen möchten, haben wir hier einen besonderen Link parat. Ein Online-Bildarchiv der NASA enthält Millionen Fotos, die Astronauten von der Erde aufgenommen haben: <https://eol.jsc.nasa.gov/> Über die Suchfunktion können Sie dort auch eine Großstadt in Ihrer Nähe eingeben. Mit etwas Glück ist ja vielleicht Ihre Heimatregion auf einem der Bilder zu sehen.

Und weil immer wieder gefragt wird: Die Chinesische Mauer ist nur als sehr dünne Linie zu sehen – und auch nur dann, wenn man genau weiß, wo sie zu finden ist.

Zur Didaktik

- Die Kinder lernen in einem leichten Geo-Quiz Landschaften der Erde kennen.
- Ältere Schülerinnen und Schüler schulen am Beispiel der *ISS*-Umlaufbahn ihr logisches und räumliches Denken.
- Die Schülerinnen und Schüler entwickeln zum Thema Licht und zu atmosphärischen Phänomenen ein erstes Grundverständnis.



Ein Crewmitglied in der Cupola. Von hier aus können die Astronauten den außen an der Station angebrachten Robotikarm sehen und steuern – etwa, um unbemannte Frachtschiffe einzufangen. Aber natürlich nutzen sie die „Aussichtskuppel“ auch für den Blick auf unseren Planeten. Bild: NASA

Experimente und Übungen

Aufgabe 21: Das Geo-Quiz

Das nachfolgende Schüler-Arbeitsblatt zeigt Fotos, die Astronauten von verschiedenen Regionen der Erde aufgenommen haben. Wer weiß, was auf den Bildern zu sehen ist?

Hinweise: Je nach Alter der Kinder sollten Sie Tipps geben, indem Sie beispielsweise die betreffenden Regionen nennen und die Kinder nur noch die passenden Bilder zuordnen müssen. Bedenken Sie beim Betrachten der Fotos auch, dass abhängig von der Blickrichtung Norden nicht immer oben im Bild ist (die Fotos lassen sich wegen der Perspektive nicht immer „einnorden“).

Lösung: Die Bilder zeigen folgende Regionen:

1. Europa bei Nacht (in der Mitte Deutschland, links Skandinavien). Am Horizont erkennt man Polarlichter.
2. Die Sinai-Halbinsel mit dem Roten Meer (rechts) und dem Mittelmeer (links am Rand). Unten ist der Nil teilweise zu sehen.
3. Norddeutschland und Dänemark.
4. Berlin bei Nacht (Mai 2012). Auffallend sind die unterschiedlichen Farben der Straßenbeleuchtung in West und Ost.
5. Das westliche Mittelmeer mit Spanien (links) und Mallorca (Bildmitte).
6. Der Bosphorus (oben das Marmarameer, unten das Schwarze Meer).
7. Italien, Frankreich und die Alpen.
8. Hamburg.

Bilder: NASA und ESA

Mach das Geo-Quiz!

Astronauten sind immer wieder begeistert, wie schön die Erde aussieht. In ihrer Freizeit schauen sie aus dem Fenster und machen auch zahlreiche Fotos. Hier einige dieser Aufnahmen. Versuche mal herauszufinden, welche Regionen die Bilder zeigen!





Aufgabe 22: Die Bahn der *ISS* um die Erde

Die Bahn der *ISS* wird im sogenannten „Ground-track“ angezeigt, wie er in Raumfahrt-Kontrollzentren oft auf der Leinwand zu sehen ist. Eine solche Projektion der *ISS*-Flugbahn auf die Erdoberfläche finden Sie im nachfolgenden Schüler-Arbeitsblatt (nur für ältere Schülerinnen und Schüler geeignet). Dabei fallen zwei Besonderheiten auf:

- Erstens scheint die Bahn sinuskurvenartig zu verlaufen, immer hoch über den Äquator nach Norden und dann wieder tief auf die Südhalbkugel hinunter.
- Zweitens: Die Bahnen sind von einer Umrückung zur nächsten leicht versetzt (die Grafik zeigt mehrere Umläufe).

Woran liegt das alles? Diskutieren und erklären Sie dies anhand des nachfolgenden Schüler-Arbeitsblattes.

Hier die **Lösungen**:

- Erstens: Natürlich fliegt die *ISS* nicht in „Schlangenlinien“ um die Erde. Das sieht nur auf der zweidimensionalen Karte so aus. Vielmehr kann man sich die Bahn der *ISS* wie einen Ring vorstellen, der aber nicht genau über dem Äquator um die Erde verläuft, sondern schräg geneigt ist. Diese Neigung zum Äquator wird Inklination genannt. Bei der *ISS* beträgt sie 51,6 Grad. Das heißt auch: Die *ISS* überfliegt keine Regionen, die jenseits dieser nördlichen bzw. südlichen Breite liegen. So führt die Bahn beispielsweise eben noch über Dortmund, aber nicht über Hamburg (das man von der *ISS* also nie genau unter sich, sondern nur schräg sieht).

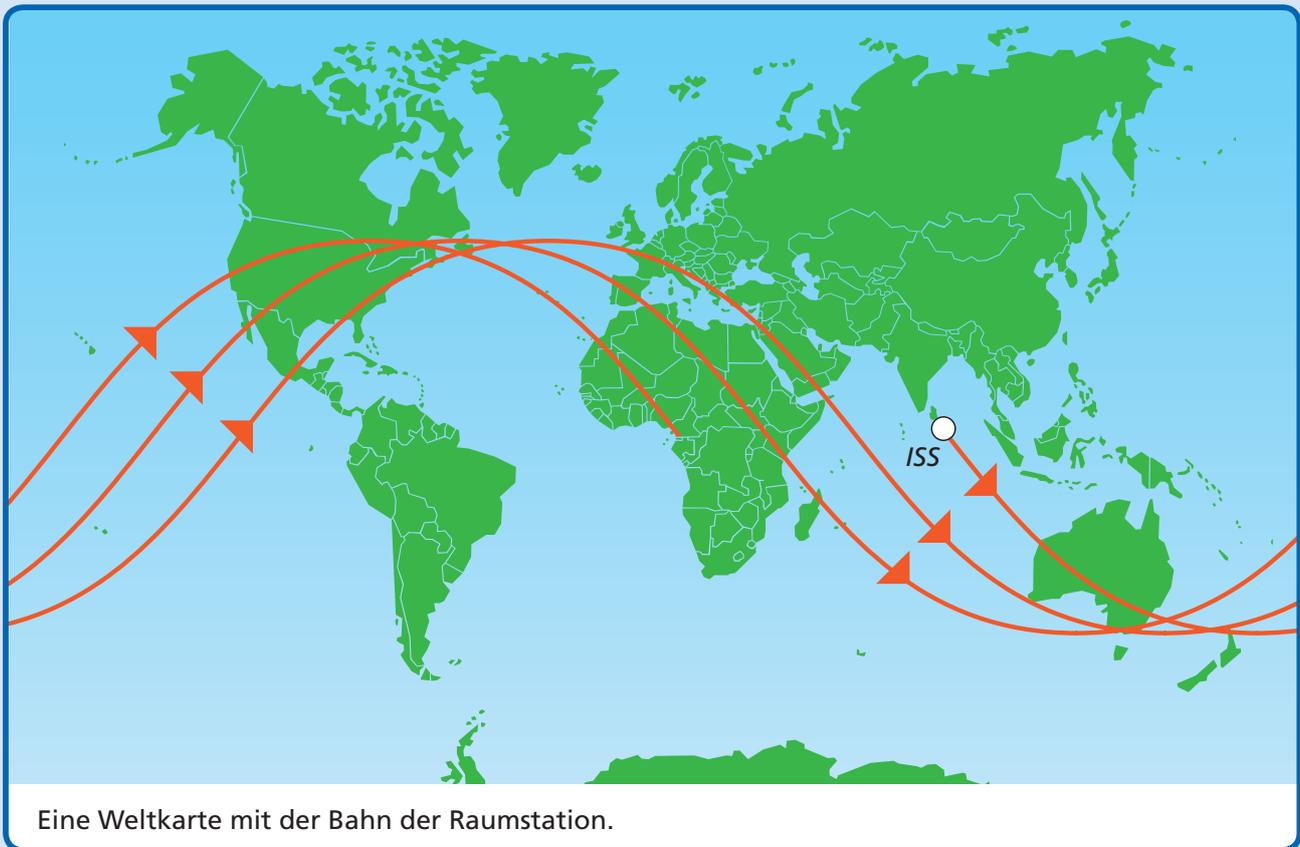
- Zweitens: Da sich die Erde unter der *ISS*-Bahn weiterdreht, überfliegt die *ISS* nach 90 Minuten nicht exakt dieselbe Region. Vielmehr ist jede Bahn im Vergleich zur vorherigen genau um jene Strecke nach Westen versetzt, die ein Punkt auf der Erde in der Zwischenzeit mit der Erdrotation nach Osten zurückgelegt hat. Dabei gilt: Die *ISS* benötigt ca. 90 Minuten für eine Erdumkreisung, vollzieht also in 24 Stunden 16 Umrundungen. Während jeder Umrundung bewegt sich ein beliebiger Punkt auf der Erde um ein Sechstel seiner Wegstrecke, die er in 24 Stunden absolviert, weiter. Ein Punkt auf dem Äquator legt in 24 Stunden – dem Erdumfang am Äquator entsprechend – ca. 40 000 Kilometer zurück. Ein Sechstel davon ergibt 2500 Kilometer an Versatz nach Westen (im Norden oder Süden je nach Breitengrad weniger). Dem Alter sowie Leistungsstand der Schülerinnen und Schüler entsprechend können Sie dies mit einem Globus oder einem Ball lediglich qualitativ demonstrieren oder auch ausrechnen lassen.

► Interessant!

Live-Anzeige der aktuellen Position

Es gibt eine ganze Reihe von Apps – darunter auch vom Jugendportal DLR_next – mit einer Live-Anzeige der aktuellen *ISS*-Position. Für die PC-Ansicht finden Sie eine solche Livemap z. B. auf www.lizardtail.com/isana/tracking/

Die Bahn der ISS um die Erde



Diese Karte zeigt die Bahn der Internationalen Raumstation *ISS* (in roten Linien dargestellt) über der Erdoberfläche. Fällt dir etwas auf? Die *ISS* scheint seltsame Kurven um unseren Planeten zu fliegen! Das ist natürlich nicht wirklich so. Aber wie kommt es zu den komischen „Schlangenlinien“ auf der Karte? Versuche das zu erklären!

Schau dir die Grafik nochmal genau an. Die Bahn der *ISS* ist hier gleich in drei roten Linien eingezeichnet – und zwar von ihrer aktuellen Position ausgehend für die nächsten drei Erdumkreisungen. Wo die Bahn am rechten Kartenrand aufhört, geht sie also am linken Rand weiter. Wenn du den Weg der *ISS*, die immer von Westen nach Osten fliegt, entlang der roten Linie verfolgst, wirst du feststellen: Die Bahnen sind leicht versetzt. Mit anderen Worten: Die *ISS* fliegt nach einer Erdumkreisung nicht wieder über dieselben Gebiete, sondern die Linien des zweiten und dritten Umlaufs verlaufen links (also westlich) daneben. Warum aber verschiebt sich die Bahn der *ISS* von einer Erdumkreisung zur nächsten etwas? Finde auch dafür eine Erklärung!

Aufgabe 23: Der „Blaue Planet“ und der rote Sonnenuntergang im Glas



Astronauten berichten davon, wie die Atmosphäre aus dem All betrachtet als dünne, blaue Schicht erscheint. Und auch wenn wir aus umgekehrter Richtung von unten nach oben blicken, sehen wir tagsüber den Himmel in blauen Farbtönen. Aber warum ist er eigentlich blau? Hier Erklärungen zu einer der beliebtesten Kinderfragen, gefolgt von einem ebenso einfachen wie faszinierenden Experiment.

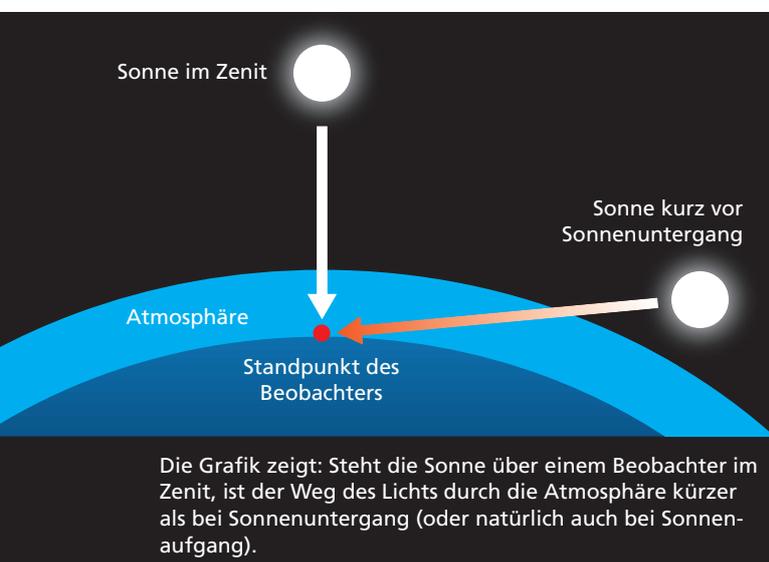
Das Sonnenlicht wirkt weiß, besteht aber aus vielen verschiedenen Farben, die jeweils eine andere Wellenlänge haben. Das erkennt man gut an einem Regenbogen oder einem Prisma.

Tipp: Dazu kann man bereits hier ein erstes „Mini-Experiment“ einbauen, bei dem man eine CD mit der reflektierenden Unterseite in die Sonne hält: An einer hellen Wand, die möglichst im Schatten liegen sollte, sieht man einen künstlichen „Regenbogen“, denn die

CD spaltet das in der Summe weiße Sonnenlicht in seine verschiedenfarbenen Bestandteile auf.

Was genau passiert nun, wenn das aus verschiedenen Wellenlängen und damit Farben zusammengesetzte Sonnenlicht die Atmosphäre durchdringt? Aus Richtung Sonne erhalten wir die komplette „Mischung“ in Form von weißem Licht. Betrachten wir aber den übrigen Himmel abseits der Sonne, so sehen wir Licht, das unser Auge erst auf Umwegen erreicht: Dieses Licht trifft nämlich auf seinem Weg zu uns zunächst auf Luftmoleküle und wird von ihnen abgelenkt (man sagt auch „gestreut“). Die Besonderheit ist nun, dass diese Streuung umso intensiver ist, je kürzer die Wellenlängen sind: Während die langwelligeren rötlichen Lichtanteile kaum gestreut werden, werden die kurzwelligeren blauen Lichtanteile von den Luftmolekülen viel stärker in alle Richtungen gestreut – eben auch in unsere Richtung auf den Erdboden. Wohin auch immer wir am Himmel schauen: Von überall trifft blaues Licht auf unsere Augen.

Interessant ist auch, warum sich die Situation bei Sonnenuntergang ändert: Stellen Sie sich zunächst den Weg des Lichts durch die Atmosphäre vor. Steht die Sonne im Zenit, nehmen die Lichtstrahlen bis zu Ihrem Auge den kürzesten Weg durch die Lufthülle. Sehen Sie dagegen die Sonne dicht über dem Horizont, legt das Licht einen viel längeren Weg „schräg“ durch die Atmosphäre zurück, bis es Sie erreicht. Das blaue Licht trifft auf diesem langen Weg so oft auf Moleküle, dass davon kaum noch etwas ankommt. Nun hat das langwellige Licht in Gestalt der gelblichen und roten Farben seinen großen Auftritt: Da es weniger oft gestreut wird, dominiert es über das blaue Licht.



Und so geht's:

Erläutern Sie den Schülerinnen und Schülern die oben geschilderten Zusammenhänge zunächst mit einfachen Worten, wobei Sie unterstützend die auf Seite 62 gezeigte Grafik an der Tafel skizzieren. Und dann führen Sie ein ganz besonderes Experiment vor! Dabei stellt eine Mischung aus Wasser und etwas fettarmer Milch in einem Glas die Atmosphäre dar und eine Taschenlampe ersetzt die Sonne. Halten Sie die Lampe in einem abgedunkelten Raum gegen den Glasboden, sodass die Wasser-Milch-Mischung von unten angestrahlt wird. Wenn Sie jetzt mit den Kindern von oben in das Glas blicken, ist dort ein rötlicher Schimmer zu erkennen. Das sind die roten Lichtanteile, die fast „geradeaus“ und mit geringer Streuung die „Atmosphäre“ durchdringen (dies entspricht der Situation bei Sonnenuntergang).

Tipp: Wenn Sie die Taschenlampe unter einem zunächst leeren Glas platzieren und dann die Wasser-Milch-Mischung langsam aus einer Flasche oder Kanne einfüllen, sieht man beim Blick von oben sehr schön, dass sich die Färbung allmählich von gelb über orange zu roten Farbtönen steigert. Wie in den Minuten vor einem Sonnenuntergang wird der Weg durch die „Wasser-Milch-Atmosphäre“ immer länger. Am Ende sind alle verblüfft: Das weiße Licht der Taschenlampe erscheint durch das eigentlich weißliche Wasser-Milch-Gemisch betrachtet rot!

Ein weiterer Überraschungseffekt kommt beim seitlichen Blick ins Glas hinzu: Aus diesem Winkel betrachtet schimmert der Inhalt weißlich bis leicht bläulich. Denn das kurzwelligere bläuliche Licht wird von den Fett-Tröpfchen in der Milch, die quasi die Luftmoleküle verkörpern, zur Seite hin gestreut, während das langwelligere rote Licht seinen Weg „geradeaus“ durchs Glas nimmt und daher beim Blick von der Seite fehlt (genau wie in der Atmosphäre).

Hinweise: Dies ist kein typisches „Mitmach-Experiment“, das die Schülerinnen und Schüler alleine umsetzen und verstehen könnten. Führen Sie den Versuch daher der Klasse vor, wobei die Kinder natürlich bei Aufbau und Durchführung helfen können. Machen Sie aber in jedem Fall vorab selbst Tests mit unterschiedlichen Wasser-Milch-Mischungen (es sollte deutlich mehr Wasser als Milch enthalten sein).

Achtung: Wie bei allen Experimenten zum Thema Sonne sollten Sie die Kinder gleich zu Beginn darauf hinweisen, dass man nie direkt in die Sonne blicken darf, da sonst schwerste Augenschäden auftreten können!

Materialien

- 1 höheres Glas (farblos)
- (fettarme) Milch
- Wasser
- 1 Taschenlampe (am besten mit Glühbirne)
- 1 Flasche oder Kanne



► Interessant!

Der Mars-Himmel



Auf der Erde ist der Himmel tagsüber blau und bei Sonnenuntergang rot. Auf dem Mars ist es genau umgekehrt: Tagsüber sorgt die Atmosphäre mit Partikeln aus rotem Sand und Staub für eine rötliche Färbung, bei Sonnenuntergang streuen sie das Licht so, dass der Himmel um die Sonne herum leicht bläulich erstrahlt.

4.4 Sparsamer Umgang mit Ressourcen!

Die Raumstation befindet sich hoch über der Erde. Da nur von Zeit zu Zeit Versorgungsschiffe Nachschub bringen, ist der sparsame Umgang mit Ressourcen sehr wichtig.
Bild: NASA

Was hat eine Raumstation mit Umweltfragen und einem nachhaltigen Umgang mit natürlichen Ressourcen zu tun? Und was mit einer Kläranlage? Hier die Antworten ...

Jedes Kilogramm, das ins All befördert werden soll, ist ein Kostenfaktor. Unbemannte Versorgungsschiffe bringen im Abstand von mehreren Monaten Nachschub zur *ISS*, sind aber in ihren Transportkapazitäten

auf einige Tonnen beschränkt. Diese Limitierungen machen den sparsamen Umgang mit den Ressourcen an Bord der *ISS* zum obersten Gebot. Ein Beispiel ist die Wiederaufbereitung von Wasser, das nicht nur auf der Raumstation, sondern bekanntlich auch in vielen Regionen der Erde ein kostbares und knappes Gut ist. Auf der *ISS* wird dabei die Feuchtigkeit aus der Luft gefiltert und sogar Wasser aus dem Urin zurückgewonnen.

Zur Didaktik

- Die Kinder entwickeln ein Bewusstsein für Umweltfragen und für die Maxime der Nachhaltigkeit.
- Die Kinder üben sich im Diskutieren.
- Die Kinder erlernen den Aufbau einer „Mini-Kläranlage“ und üben dabei ihr technisches Geschick.
- Die Kinder begreifen, dass es in einer Kläranlage verschiedene Stufen der Reinigung gibt; hier: mechanische und chemische Trennverfahren.
- Die Kinder lernen, dass Stoffgemische durch Filtration wieder in einzelne Stoffe getrennt werden können.

Experimente und Übungen

Zu diesem Themenkomplex empfehlen wir eine einleitende Diskussion, gefolgt von einem eher technischen Mitmach-Experiment.

Aufgabe 24: Raumschiff Erde – Wasser, Luft und Energie

Zum Einstieg kann man erstaunliche Parallelen ziehen und dabei diskutieren, was aus dem Betrieb einer Raumstation hinsichtlich des sparsamen und nachhaltigen Umgangs mit Ressourcen auf der Erde gelernt werden kann. Das betrifft nicht nur das Thema Wasser, das im anschließenden Mitmach-Experiment ausführlich behandelt wird. Auch Luft ist ein gutes Beispiel: Da sie auf der *ISS* ständig umgewälzt wird, dürfen keine Giftstoffe in die Raumluft gelangen, wo sie sonst über lange Zeit zirkulieren würden. Denn man kann ja nicht wie zu Hause einfach das Fenster öffnen und durchlüften. Daher müssen sämtliche Materialien einschließlich der Kleidung der Astronauten vorab auf Ungiftigkeit getestet werden. Selbst manche Textilien können infolge der Einfärbung oder einer chemischen Behandlung „ausgasen“ und so die Umgebungsluft kontaminieren. Auch bei der Energieversorgung ist die *ISS* vorbildlich: Sie bezieht ihren Strom über die Solarzellen, die außen an der Gitterstruktur angebracht sind. Damit werden die Bordcomputer, die wissenschaftlichen Experimente und auch die Lebenserhaltungssysteme der Station versorgt – einschließlich der Beleuchtung, damit die Astronauten nicht im Dunkeln durch die Module schweben müssen.

Wasser, Luft, Energie – die Beispiele zeigen: Was im Kleinen für die Raumstation gilt, kann Vorbild für die Erde im Großen sein. Da die Ressourcen auch auf unserem Planeten endlich sind, wird gelegentlich vom „Raumschiff Erde“ gesprochen.

Tipp: Erläutern Sie zunächst den Schülerinnen und Schülern in wenigen Sätzen die Art und Weise, wie auf der *ISS* mit Wasser, Luft und Energie umgegangen wird: Wasser wird gereinigt und kann wiederverwendet werden, Luft muss sauber und frei von Schadstoffen sein, Strom wird über Solarzellen gewonnen. Regen Sie dann eine Diskussion an, was wir daraus für die Erde lernen können. Welche Probleme gibt es hier mit Wasser, Luft und Energie? Was müsste noch verbessert werden? Achten Sie unabhängig von inhaltlichen Aspekten auch auf faires Gesprächsverhalten: Ausreden lassen, andere Meinungen respektieren, Kritik sachlich formulieren.

Aufgabe 25: Der selbst gebaute Filterturm

Ein Mensch benötigt täglich mehrere Liter Wasser. Bei einer sechsköpfigen Crew ergibt das in der Summe mehr, als mit Versorgungsschiffen zur Station befördert werden könnte. Daher wird das Wasser auf der *ISS* wiederaufbereitet. Das sogenannte „Water Recovery System“ reinigt über mechanische und chemische Stufen mehr als 90 Prozent des Wassers. Es wird aus der Feuchtigkeit der Luft herausgefiltert und sogar aus dem Urin zurückgewonnen. Mikroorganismen und andere organische Verunreinigungen werden durch hohe Temperaturen abgetötet und aus dem Abwasser entfernt.



Nach einer „Rezeptur“ verschmutztes Wasser wird in den Filterturm gegossen. Bild: DLR/Timm Bourry



Die selbst gebaute Wasseraufbereitungsanlage.
Bild: DLR/Timm Bourry

In diesem Mitmach-Experiment konstruieren die Kinder unter anderem mit PET-Flaschen, Filtern und Sieben eine „Mini-Wasseraufbereitungsanlage“. Damit kann Wasser, das zuvor von nach einer „Rezeptur“ kontrolliert verschmutzt wurde, weitgehend gereinigt werden. Indem die Kinder ihre selbst gebaute Apparatur anwenden, lernen sie verschiedene Trennverfahren kennen. Zunächst werden dabei durch zwei Filter unterschiedlicher Porengröße die groben Teile mittels physikalischer (rein mechanischer) Trennung aus dem Wasser geholt. Im zweiten Schritt wird durch Zugabe von Zitronensäure ein chemisches Trennverfahren demonstriert (wobei die Zitronensäure streng genommen das zuvor mit schwarzem Tee gefärbte Wasser nur optisch wieder aufhellt, da die Färbung vom Säuregrad abhängt und der dunkle Farbstoff selbst immer noch unsichtbar im Wasser ist).

Achtung: Das Wasser, das als Endprodukt „geklärt“ aus der Anlage kommt, sieht zwar sauber aus, kann aber noch durch Mikroorganismen und andere kleine Partikel verunreinigt sein. Es ist also kein Trinkwasser – worauf die Kinder hinzuweisen sind!

Tipp: Bohren Sie Löcher in die PET-Flaschen vor, damit die Kinder gut mit einer Schere ansetzen und schneiden können (die Skizzen im Schülerblatt deuten an, wo die Flaschen auseinandergeschnitten und daher die Löcher angebracht werden sollten).

Exkurs

Von der Kläranlage bis zum Plastikmüll

Wenn Sie das Thema vertiefen wollen, gibt es dafür zahlreiche Anknüpfungspunkte – von der Besichtigung einer Kläranlage bis zur Erörterung der Frage, wieviel Wasser wir alle täglich verbrauchen. Verwandte Themen sind auch der Umgang mit der „Ressource“ Luft (Stichworte sind Emissionen, Feinstaub, Klimawandel etc.) oder mit Bodenschätzen wie Erdöl (das wir bekanntlich zu einem Großteil verbrennen oder in Plastikmüll verwandeln). Am Ende der Diskussionen kann in der Klasse als Maxime die Nachhaltigkeit eingeführt werden.

Das Rezept für „Schmutzwasser“:

Bereiten Sie vor dem Versuch eine Tasse schwarzen Tee zu (Ziehzeit: 10 Minuten) und lassen Sie ihn auf Raumtemperatur abkühlen. Mischen Sie zusammen mit den Kindern das „Schmutzwasser“, indem Sie 100 ml von diesem Tee in einen Messbecher füllen, 3 Esslöffel Sand mit kleinen Steinchen (Größe max. 2 cm) hinzugeben und alles gut verrühren.

Alles wird wiederverwendet – selbst das „Pipi“ in der Toilette!

Wenn wir auf der Toilette waren und auf die Spülung gedrückt haben – wo geht das alles eigentlich hin? Es fließt durch unterirdische Kanäle in eine Kläranlage. Dort wird das Wasser durch verschiedene Prozesse von allen Verschmutzungen gereinigt. Am Ende ist es wieder sauber und wird in die Flüsse geleitet.

Auf der Internationalen Raumstation ist Wasser knapp. Denn es kann ja nicht ständig neues Wasser von der Erde dorthin befördert werden. Daher muss möglichst jeder Tropfen aufgefangen und gereinigt werden, damit die Astronauten jeden Tag genug frisches Wasser haben. Sogar aus der Atemluft und aus dem Urin wird wieder Wasser gewonnen.

Die Wasseraufbereitungsanlage

Auf der Raumstation erledigt das eine sehr komplizierte Anlage mit vielen Filtern. In diesem Experiment könnt ihr eure eigene „Mini-Wasseraufbereitungsanlage“ bauen, die schmutziges Wasser wieder reinigt. Aber Achtung: Das Wasser, das aus eurer Anlage herauskommt, darf nicht getrunken werden! Nur weil Wasser sauber aussieht, ist es noch lange nicht wirklich sauber! Es können nämlich noch Verunreinigungen und Keime im Wasser enthalten sein, die man mit den Augen nicht sieht.

Ihr braucht dafür:

- 2 runde PET-Flaschen (je 1,5 Liter)
- 1 Schere
- 1 Lineal
- 1 Kaffeefilter
- 1 Fliegengitter aus Fiberglas (Baumarkt)
- Klebeband
- 1 großes Marmeladenglas
- 1 Messbecher
- Zitronensaft (in einer gelben Plastik-Zitrone)

So wird's gemacht:

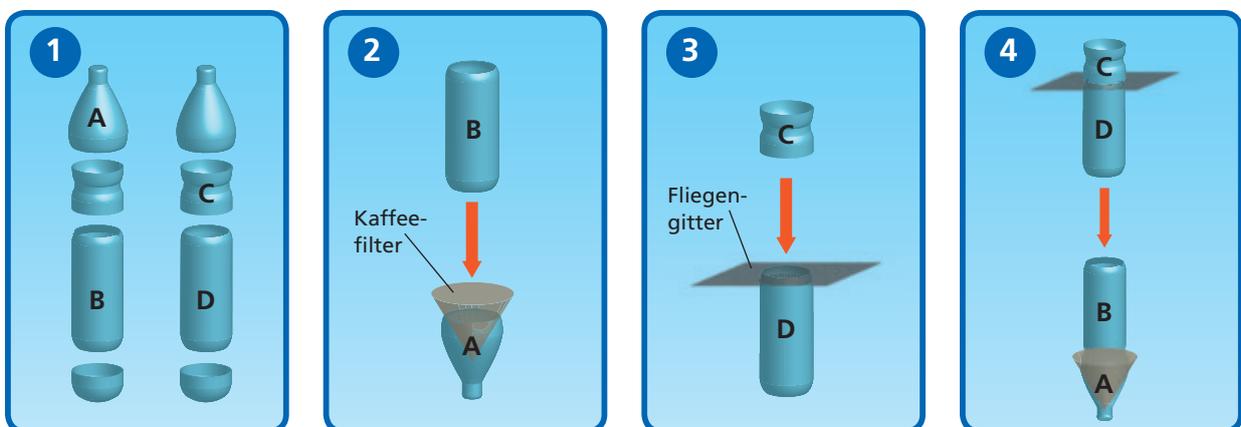
Der Bau der Anlage:

Schritt 1: Schneidet beide Flaschen auseinander – und zwar dort, wo eure Lehrerin oder euer Lehrer vorher kleine Löcher in die Flaschen gebohrt hat. Ihr erhaltet insgesamt 8 Teile. Zum Bau benötigt ihr nur die 4 Teile, die hier mit Buchstaben gekennzeichnet sind.

Schritt 2: Befestigt mit Klebeband einen Kaffeefilter in Teil A. Steckt danach Teil A mit Teil B zusammen.

Schritt 3: Schneidet ein quadratisches Stück Fliegengitter mit den Kantenlängen von je 11 cm aus und befestigt es mit Klebeband in Teil D. Setzt dann Teil C und Teil D zusammen.

Schritt 4: Fügt jetzt noch Teil B und Teil D zusammen, indem ihr die Flaschen am Rand ein klein wenig einschneidet (damit man die Flaschenteile besser ineinander stecken kann). Damit ist die Anlage fertig.



Und so reinigt ihr mit eurer Anlage Wasser:

Eure Lehrerin oder euer Lehrer hat nach einem speziellen Rezept „Dreckwasser“ hergestellt, das ihr jetzt mit eurer Anlage reinigen könnt. Stellt die Anlage in ein leeres Marmeladenglas und haltet sie fest. Schüttet das „Dreckwasser“ von oben langsam in die Anlage. Das Wasser wird die verschiedenen Filterstufen durchlaufen. Am Ende rieselt eine Flüssigkeit in das Marmeladenglas. Gebt dann noch 4 Spritzer Zitronensaft hinzu.

Beobachtet, was jetzt passiert, und sprecht mit eurer Lehrerin oder eurem Lehrer darüber.

4.5 Der Stundenplan der Astronauten



In den Kontrollzentren – hier Oberpfaffenhofen bei München – werden die Bordstundenpläne für die *ISS*-Besatzung ausgearbeitet und die Arbeiten auf der Station aus der Ferne überwacht. Bild: DLR

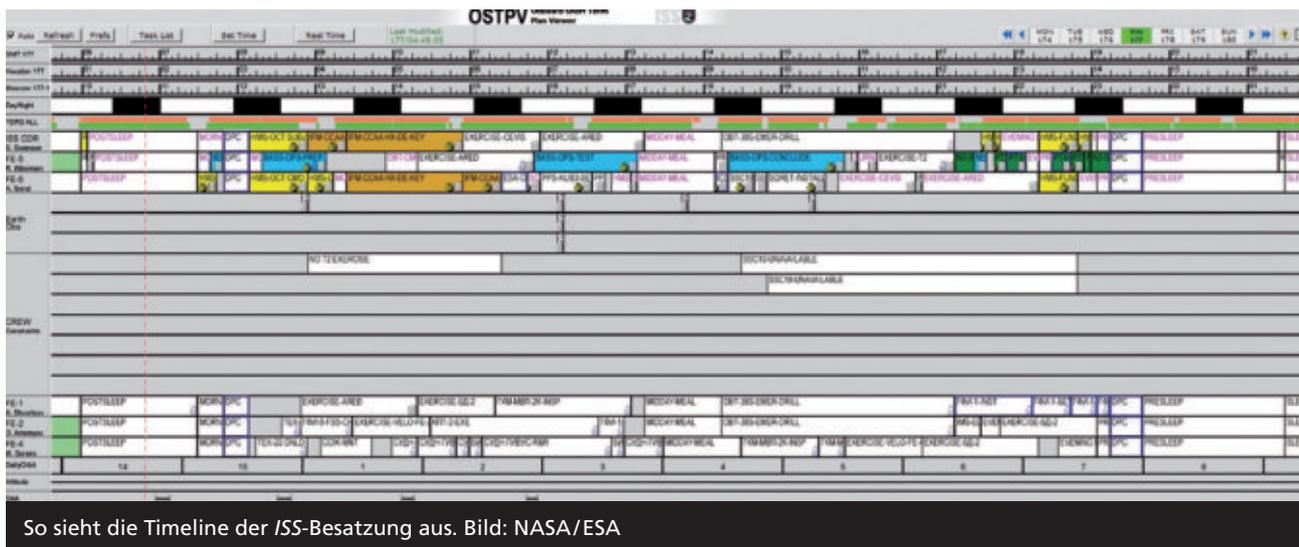
An Bord der *ISS* befinden sich in der Regel immer sechs Astronauten (von kurzen Phasen abgesehen, in denen nur drei Crewmitglieder auf der Station sind, bis die nächste „Schicht“ startet). Um einen reibungslosen Ablauf der Arbeiten zu gewährleisten, wird lange im Voraus ein Bordstundenplan erstellt. Diese sogenannte Timeline listet die anstehenden Tätigkeiten jedes Crewmitglieds auf: vom Aufstehen über die geplanten Experimente bis zu Mahlzeiten, Sport, Freizeit und Bettruhe. Bei der Planung muss genau darauf geachtet werden, dass Aktivitäten nicht durch parallel laufende Tätigkeiten gestört werden.

Der Tagesablauf gestaltet sich wie folgt: Die Astronauten schlafen alle zur selben Zeit, niemand hält nachts „Wache“ (weil alle wichtigen Funktionen der *ISS* von der Erde aus überwacht werden). Jeden Morgen gibt es eine kurze Konferenz mit den Kontrollzentren in Houston und Moskau sowie Oberpfaffenhofen (dort ist in der Nähe von München der DLR-Standort), in der die Tagesplanung besprochen wird. Ein Großteil der Planung ist den wissenschaftlichen Experimenten sowie Wartungsarbeiten gewidmet. Daneben haben die Astronauten feste Essenszeiten. Hinzu kommt das körperliche Training, um sich fit zu halten und dem Abbau der in Schwerelosigkeit wenig beanspruchten Muskulatur entgegenzuwirken. Und am Wochenende muss auf der



Eine amerikanische Astronautin bei der Arbeit (im Hintergrund ein russischer Kollege). Hier steht übrigens gerade eine Notfallübung auf dem Bordstundenplan. Bild: NASA

ISS geputzt werden: Sauberkeit ist sehr wichtig, weil sonst Filter durch Staub verstopfen und sich Bakterien oder Pilze auf Oberflächen ansiedeln könnten. Unvorhergesehene Ereignisse können kurzfristig zu einer Änderung der Planung führen. Abends findet eine weitere Konferenz mit den Bodenstationen statt. Auch Freizeit und Bettruhe sind im Bordstundenplan eingetragen.



Experimente und Übungen

Aufgabe 26: Der Bordstundenplan aus Lego-Steinen

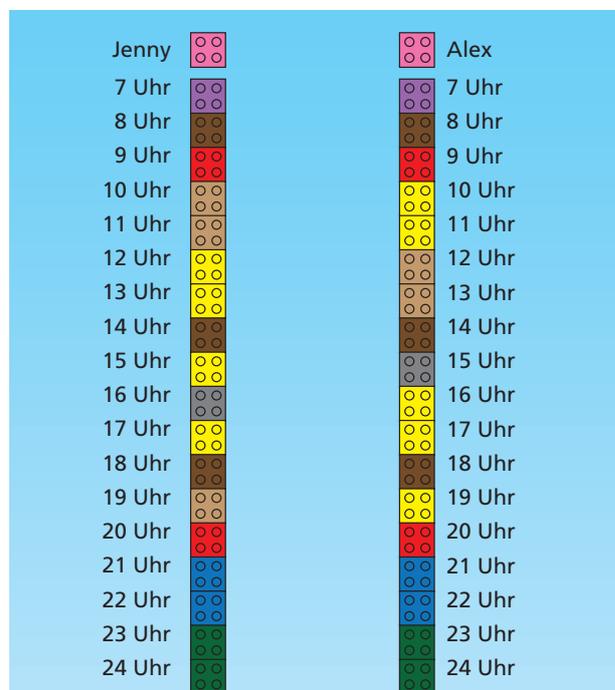
In dieser Übung erstellen die Kinder in Gruppen den Bordstundenplan. Mithilfe von Lego-Steinen fertigt jede Gruppe den Stundenplan von zwei Crewmitgliedern für einen Tag an Bord der ISS an. Im Schüler-Arbeitsblatt erhalten die Kinder dazu eine Anleitung und eine Tabelle. Die Lego-Steine und Steckplatten sollen die Kinder von Zuhause in der passenden Anzahl und Farbe mitbringen (laut Tabelle auf Seite 72). Die Steine sollten 4er-Steine sein.

Hinweis: Falls es an Lego-Steinen mangelt, können Sie auch mit farbigen Pappe- oder Papierblättern arbeiten (alle in identischer Größe und in der entsprechenden Anzahl). Auf die Blätter schreiben Sie zur Verdeutlichung vorab die Tätigkeiten, die in die richtige Reihenfolge gebracht werden müssen (siehe ebenfalls Schüler-Arbeitsblatt). Je nach Alter der Kinder kann die Aufgabenstellung vereinfacht werden.

Materialien

- Lego-Steine in vorgegebener Anzahl und Farbe
- 1 große Steckplatte von Lego (pro Tischgruppe 1 Platte)
- Stifte in einer dunklen Farbe (pro Tischgruppe 1 Stift)
- alternativ statt der Lego-Steine ausreichend farbige Pappe oder Papier (plus Schere zum Ausschneiden)

Lösung:



Zur Didaktik

- Die Kinder lernen den Tagesablauf von Astronauten kennen.
- Die Kinder begreifen, dass sorgfältige Planung bei komplexen Abläufen wichtig ist.
- Die Kinder üben den Umgang im Arbeiten mit Tabellen, logisches Denken und einfaches Kopfrechnen.

Wie in der Schule: der Stundenplan der Astronauten

Auf der Internationalen Raumstation leben sechs Astronauten. Damit es kein Gedränge gibt und sie sich nicht darüber streiten, wer zuerst an welches Gerät darf, richten sich die Astronauten nach einem Stundenplan. Er ist ähnlich aufgebaut wie euer Stundenplan in der Schule. Darin steht, welche Arbeiten jeder Astronaut zu welcher Uhrzeit erledigen muss. Außer den Experimenten sind auch Mahlzeiten, Sport oder Schlafen eingetragen.

Baut selbst einen Stundenplan für die Astronauten!

Ihr braucht dafür:

- Lego-Steine in verschiedenen Farben, so wie es in der Tabelle steht
- 1 Lego-Steckplatte
- 1 dünnen Filzstift

So wird's gemacht:

Ihr sollt die Stundenpläne für Jenny (eine Astronautin aus den USA) und Alex (einen Astronauten aus Deutschland) erstellen. Dazu nehmt ihr Lego-Steine, die ihr von Zuhause mitgebracht habt.

- 1** Steckt zuerst für Jenny und daneben für Alex jeweils eine lange Reihe mit 18 weißen Steinen auf die Platte. Das ist die Zeitleiste mit den Uhrzeiten.
Wichtig: Immer 4 Punkte auf einem Stein stehen dabei für 1 Stunde. Schreibt die Uhrzeiten seitlich mit dem Stift auf die Steine. Beide Zeitleisten beginnen morgens um 7 Uhr – das ist der erste weiße Stein. Dann folgt der Stein für 8 Uhr und so weiter. Der letzte Stein ist die Stunde, die nachts um 24 Uhr (also Mitternacht) beginnt. Zählt am Ende nochmal durch: In jeder der beiden Reihen müssen es 18 Steine sein, jeder davon mit 4 Punkten.
- 2** Die beiden Zeitleisten – eine für Jenny und eine für Alex – müssen genau nebeneinander angeordnet sein. Schreibt die Namen von Jenny und Alex auf 2 rosa Lego-Steine (eine andere Farbe geht hier natürlich auch), damit ihr wisst, welche Zeitleiste zu wem gehört.

- 3** Jetzt steckt ihr bunte „Aktivitäts-Steine“ oben auf die weißen Zeitleisten. Jede Farbe bedeutet eine bestimmte Art von Aktivität, zum Beispiel Braun für Essen, Gelb für Experimente oder Orange für Sport. Folgende Lego-Steine – jeder mit 4 Punkten, also immer 1 Stunde – habt ihr für Jenny und Alex zur Verfügung:

Bedeutung	Farbe	Anzahl 4er-Lego-Steine Jenny	Anzahl 4er-Lego-Steine Alex
Zeitleiste	Weiß	18	18
Namens-Steine	Rosa	1	1
Aufstehen (Zähneputzen, Waschen, Anziehen)	Lila	1	1
Essen (Frühstück, Mittag- und Abendessen)	Braun	3	3
Konferenz mit Kontrollzentren	Rot	2	2
Reparaturarbeiten	Grau	1	1
Experimente	Gelb	4	5
Sport	Orange	3	2
Freizeit	Blau	2	2
Schlaf	Grün	2	2

Jetzt gut aufpassen! Denn bei der Planung müsst ihr auf viele Dinge achten:

Jenny und Alex stehen gleichzeitig um 7 Uhr auf, waschen sich und ziehen sich an. Das dauert 1 Stunde und ist noch einfach: Ein Lila-Stein kommt bei Jenny und auch bei Alex auf den weißen 7-Uhr-Stein.

Jenny und Alex nehmen auch alle Mahlzeiten (immer 1 Stunde) gemeinsam ein. Frühstück gibt es um 8 Uhr, Mittagessen um 14 Uhr und Abendessen um 18 Uhr. Steckt die braunen Steine, die „Essen“ bedeuten, auf die entsprechenden Stellen eurer Zeitleiste.

Um 9 Uhr morgens und um 20 Uhr abends findet eine Konferenz statt, bei der alle Astronauten anwesend sein müssen und per Funk mit den Kontrollzentren auf der Erde sprechen. Ihr findet sicher schnell heraus, wo die roten Steine auf eurer Zeitleiste hinkommen. Aber Achtung: Jetzt wird's wirklich kompliziert ...

Bei der Besprechung um 9 Uhr erfahren Jenny und Alex, dass sie jeweils 1 Stunde zu Reparaturarbeiten eingeteilt werden, weil etwas kaputt gegangen ist. Alex ist mit seiner Stunde zuerst dran und fängt gleich nach dem Mittagessen damit an, direkt danach löst Jenny ihn ab.

Alle Astronauten müssen täglich 2 bis 3 Stunden Sport treiben, weil sonst die Muskeln in der Schwerelosigkeit abbauen würden. Jenny absolviert 2 Stunden Training am Vormittag direkt nach der Konferenz. Alex beginnt mit dem Training, sobald Jenny fertig ist. Jenny hat heute 1 Stunde mehr Training als Alex, die sie zwischen dem Abendessen und der Konferenz am Abend ausführen muss.

Jenny muss im Laufe des Tages 4 Stunden lang Experimente durchführen, Alex muss sogar 5 Stunden lang experimentieren. Ein Experiment, das 1 Stunde dauert, müssen beide vor dem Abendessen gemeinsam durchführen. Eines der Experimente, das Alex 1 Stunde lang durchführt, ist besonders empfindlich und braucht absolute Ruhe. Jenny darf in dieser Zeit also auf keinen Fall Sport treiben, denn das würde zu Erschütterungen führen, die den Versuch von Alex stören könnten. Alle Experimente müssen vor der Konferenz am Abend abgeschlossen sein.

Alex macht in seiner 2-stündigen Freizeit gerne Fotos von der Erde. Wann hat er an diesem Tag Zeit dafür, wenn er um 23 Uhr schlafen geht?

Abends spricht Jenny vor dem Schlafengehen 1 Stunde lang mit ihrer Familie auf der Erde und liest in der 2. Stunde ihrer Freizeit in einem Science-Fiction-Buch.

4.6 Kommunikation: Wie spricht man mit jemandem im Weltall?

Kommunikationssatelliten übertragen Bild- und Tonsignale.
Bild: Eutelsat

Kennen Sie das? Es ist ein heißer Sommerabend und Sie haben deshalb die Fenster weit geöffnet, während Sie im Fernsehen ein Fußballspiel verfolgen. Plötzlich hören Sie die Nachbarn über ein Tor jubeln, das bei Ihnen noch gar nicht gefallen ist. Erst Sekunden später landet der Ball auch auf Ihrem Fernseher im Netz. Der Grund für die Zeitverschiebung sind je nach Art des Empfangs unterschiedliche Signalwege und Verzögerungen bei der Signalverarbeitung. Satellitenschüssel, Kabelfernsehen oder auch Livestream im Web: Nie ist es wirklich „live“, immer benötigt ein Signal eine bestimmte Zeit, bis es beim Empfänger ankommt – und wenn es nur Sekundenbruchteile sind. Früher waren diese „Delays“ bei Telefonaten über den Atlantik ein unangenehmes Phänomen: Die Gesprächspartner fielen sich dann mit schöner Regelmäßigkeit gegenseitig ins Wort. In Nachrichtensendungen bemerkt man diese Verzögerungen gelegentlich noch heute, wenn Reporter in Live-Schaltungen aus weit entfernten Regionen über ein Ereignis berichten.

Auch die Audio- und Videosignale von Bord der *ISS* legen einen weiten Weg zurück. Die 400 Kilometer Bahnhöhe sind dabei das geringste Problem. Oft sind ein oder sogar mehrere Relaisatelliten mit im Spiel, die in 36 000 Kilometern Höhe stationiert sind. Wenn dann ein Nachrichtensprecher oder Politiker mit der *ISS*-Crew redet, ist an den Gesprächspausen gut zu sehen, wie lange das Signal braucht, bis eine Frage beim Astronauten ankommt und er antwortet – wobei die Antwort ja ebenfalls einen Moment unterwegs ist, bis wir sie empfangen.

Das Thema Kommunikation kann mit mehreren Aufgaben und Übungen im Unterricht behandelt werden. Im Folgenden einige Anregungen.

Experimente und Übungen

Aufgabe 27:

Das Dosentelefon – ein „Quatsch-Satz“ geht auf die Reise

Materialien

- 2 größere Plastikbecher (Joghurt, Buttermilch oder Ähnliches)
- Schnur (3-5 Meter)
- dünner Klebefilm
- Schere oder Messer
- 1 Pferd
- kein Gurkensalat

Sie haben es sicher bemerkt: Das Pferd und auch „kein Gurkensalat“ gehören nicht wirklich in die Materialliste für diesen kleinen „Klassiker“. Warum wir das hier dennoch augenzwinkernd aufgenommen haben, erfahren Sie im nebenstehenden Text bei einem kurzen Ausflug in die Technikgeschichte ...

Und so geht's:

Für jüngere Kinder eignet sich zum Einstieg ins Thema Kommunikation und Signalübertragung das beliebte „Dosentelefon“, das auch mit größeren Joghurtbechern gut funktioniert: Einfach bei zwei leeren Bechern einen kleinen Schlitz in die Böden schneiden, eine Schnur (3 bis 5 Meter) durch die Löcher stecken und innen verknoten oder mit einem dünnen Klebestreifen befestigen – fertig! Wird die Schnur gespannt, überträgt sie auch leise in den Becher geflüsterte Worte. Mit mehreren Dosentelefonen in einer Reihe quer durchs Klassenzimmer (oder mit mehreren Kindern, die sich an den beiden Seiten eines Dosentelefon abwechseln) lässt sich dann „Stille Post“ spielen und testen, wie gut die „Anlage“ funktioniert. Als Testsatz, der immer wieder auf die Reise geschickt wird, kann dabei der erste Satz dienen, der je per Telefon übermittelt wurde. Kennen Sie ihn? „Das Pferd frisst keinen Gurkensalat“, sprach Philipp Reis am 26. Oktober 1861 in den gerade von ihm erfundenen Apparat. Er wählte bei seiner Demonstration der neuen Technologie diesen sinnlosen „Quatsch-Satz“, um zu zeigen, dass sein Gesprächspartner ihn wirklich klar versteht und nicht aus Wortfetzen eine naheliegende Aussage rekonstruiert.

Aufgabe 28:

Händeklatschen auf Distanz – schneller gesehen als gehört

Schallwellen setzen sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit durch die Luft fort: Je nach Luftfeuchtigkeit und Temperatur leicht variierend beträgt die Schallgeschwindigkeit etwa 340 Meter pro Sekunde. Eine Übung, bei der sich zwei Gruppen an den beiden Enden der 100-Meter-Bahn aufstellen, zeigt das: Klatscht eine Schülerin oder ein Schüler in die Hände, sehen das die Kinder in 100 Metern Entfernung etwa um eine Drittelsekunde früher, als sie es hören. Auch das Platzen eines Luftballons kann als Signalgeber fungieren. Mit einer Trommel oder anderen Schlaginstrumenten aus der Musiksammlung oder einer Startklappe aus dem Sportunterricht können Sie je nach Lautstärke die „Teststrecke“ noch vergrößern. Dass wir alles schneller sehen als hören hat einen einfachen Grund: Auch Licht hat eine be-

stimmte Geschwindigkeit. Allerdings ist es viel flotter als der Schall unterwegs, nämlich 300 000 Kilometer pro Sekunde schnell. Das gilt auch für Funkwellen, die – wie Licht – elektromagnetische Wellen sind. Kurz und gut: Signale haben Laufzeiten.

Zur Didaktik

- Die Kinder lernen intuitiv Grundprinzipien der Signalübertragung und der Wellenausbreitung kennen.
- Die Kinder lernen das Phänomen der Signallaufzeiten kennen.

Aufgabe 29: Der Wecker und die Funkklingel im Vakuum

Materialien

- 1 Vakuumglocke
- 1 altmodischer Glockenwecker
- 1 Funkklingel

Und so geht's:

Schall benötigt zur Übertragung ein Medium. Beim Dosentelefon ist es die Schnur, also ein Festkörper. Bei einer normalen Unterhaltung oder anderen Tönen funktioniert die Schallübertragung mittels Luft als Trägermedium. Das können Sie leicht demonstrieren, indem Sie einen Wecker in einer Vakuumglocke klingeln lassen. Anfangs hört man ihn noch, bei Luftleere dann nicht mehr. Ohne Luft gibt es keinen Schall. Am besten eignet sich dazu ein altmodischer Glockenwecker: Da sehen die Kinder, wie er weiterhin klingelt – auch wenn sie es nicht mehr hören. Halten Sie an dieser Stelle fest: Schallwellen können ohne ein Medium wie Luft nicht übertragen werden.



In einem der DLR-Schülerlabore experimentieren Jugendliche mit einer Vakuumpumpe. Bild: DLR

Dieser Standardversuch könnte hier schon enden. Doch ein interessanter Aspekt kommt erst noch: Während Schallwellen ein Medium benötigen, lassen sich Funksignale (also elektromagnetische Wellen) auch im Vakuum übertragen. Sonst könnte man ja den Wecker in der Vakuumglocke ebenso wenig sehen wie das Licht der Sonne und der Sterne, das seinen Weg durch das Vakuum des Alls zu uns nimmt.

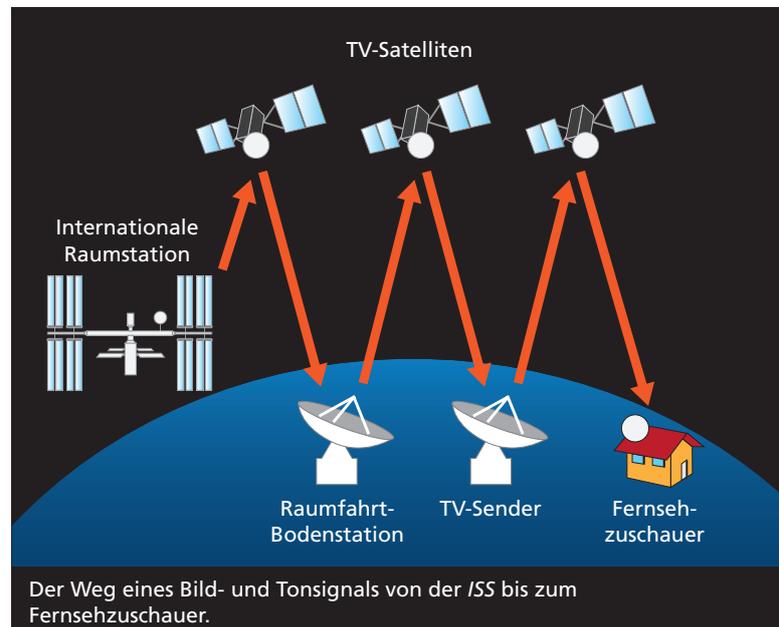
Zur Veranschaulichung könnten Sie ganz einfach mit einer Taschenlampe durch die Vakuumglocke leuchten. Das würde aber bei den Schülerinnen und Schülern bereits die Kenntnis voraussetzen, dass es sich bei Licht und Funkwellen gleichermaßen um elektromagnetische Wellen handelt. Für jüngere Kinder einsichtiger ist es, wenn ein Objekt per Funk in der Vakuumglocke bedient wird. Versuche mit Handys würden sich hier anbieten, sind aber zu riskant, da die Geräte im Vakuum kaputt gehen können. Benutzen Sie daher besser eine einfache Funkklingel, die zusätzlich eine LED als visuellen Signalgeber hat (diese kleinen Geräte sind ab ca. 10 Euro erhältlich). Wenn die Vakuumglocke luftleer gepumpt ist, ist der Gong nicht mehr zu hören, aber die LED leuchtet weiterhin im Rhythmus der Melodie. Das zeigt: Anders als eine Schallwelle breitet sich die Funkwelle im Vakuum weiter aus. Auch mit einem einfachen, sehr kleinen Spielzeug-Minicopter kann man das demonstrieren: Von außen ferngesteuert fliegt er, solange Luft in der Glocke ist. Ohne Luft fliegt er nicht mehr, die Rotoren lassen sich aber per Funk weiterhin an- und ausschalten. Die Versuche illustrieren, dass Funksignale auch im Vakuum „funktionieren“. So erfolgt auch die Signalübertragung zwischen der Raumstation und den Kontrollzentren.

Aufgabe 30: Signallaufzeiten – Tafelbild und Aufgaben zum Nachdenken und Rechnen

Der Begriff „Signallaufzeit“ bezeichnet die Zeitspanne, die ein Signal vom Sender bis zum Empfänger unterwegs ist. Lassen wir einmal Verzögerungen, die in den Bordcomputern von Satelliten entstehen, beiseite und betrachten wir zwei Fälle, die Sie so (vorwiegend älteren) Schülerinnen und Schülern erklären können.

Als erstes sehen wir uns den Weg eines Signals von der *ISS* zu einer Schule an, in der per Amateurfunk mit einem Astronauten gesprochen wird. Die Aufzeichnung eines solchen Funkkontaktes finden Sie übrigens hier: www.DLR.de/next/ISSFunkkontakt. Für derartige „edukative“ Zwecke gibt es das Programm *ARISS* (*A*mateur *R*adio on the *I*nternational *S*pace *S*tation). Hier können sich Schulen bewerben, wenn sie mit einem *ISS*-Crewmitglied in Funkkontakt treten wollen. Dabei wird die Raumstation direkt vom Boden aus angepeilt. Das bedeutet, dass die Funksignale lediglich die Distanz von ca. 400 Kilometern (einfache Strecke zwischen Boden und *ISS*) zurücklegen. Hier ist allerdings zu beachten, dass die Antenne permanent auf die *ISS* „zielen“ und deshalb nachgeführt werden muss, was am besten mit Unterstützung erfahrener Amateurfunker gelingt. Denn die Raumstation bewegt sich recht schnell über den sichtbaren Teil des Himmels und ist nach wenigen Minuten schon wieder aus dem „Blickfeld“ der Antenne verschwunden, sodass dann auch der Funkkontakt abbricht.

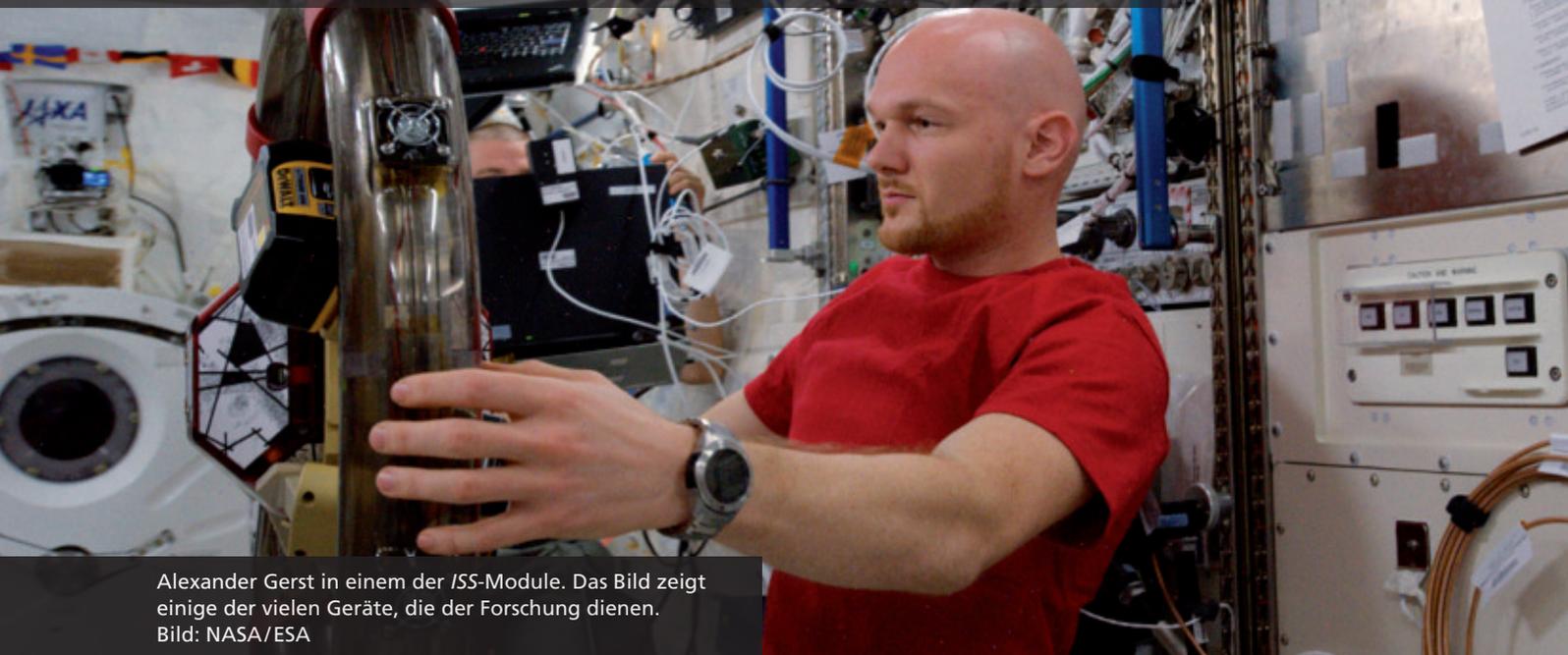
Im Kontrast dazu stellt sich nun die Frage: Wie sieht der Signalweg aus, wenn ein Fernsehsender mit einem Astronauten ein Live-Interview führt? Das Signal der *ISS* wird hier natürlich nicht über ein Amateurfunksystem übermittelt. Vielmehr geht es als Bild- und Tonsignal erst zu einem Relaisatelliten in 36 000 Kilometern Höhe und von dort zu den Bodenstationen auf der Erde. Oft wird es dann von einer NASA-Station in den USA oder von der ESA in Europa wieder auf einen Satelliten in 36 000 Kilometern Höhe geschickt und von dort durch den Fernsehsender „abgegriffen“. Schließlich strahlt der Sender Ton und Bild im Rahmen seines Programms aus – erneut über einen solchen geostationären Satelliten, den wir schließlich mit einer Satellitenschüssel auf dem Dach empfangen. Diese Wege können als Tafelbild gezeich-



net und dabei erläutert werden. Sie können auch die Laufzeiten berechnen lassen, wobei Sie in diesem Fall am besten von insgesamt rund 200 000 Kilometern ausgehen: Dann fällt die Rechnung nicht so schwer, da sich Signale mit Lichtgeschwindigkeit von 300 000 Kilometern pro Sekunde fortbewegen. Wir sehen und hören den Astronauten also allein aufgrund der Laufwege der Signale mit einer Zweidrittel-Sekunde Verspätung (immer andere Verzögerungen durch Bordrechner außen vor gelassen).

Interessant ist abschließend noch die Frage, warum man die Satellitenschüssel auf dem Dach – anders als beim ersten Fall des Direktkontakts – nicht nachführen muss. Lassen Sie die Schülerinnen und Schüler überlegen und lösen Sie am Ende auf: Die Satelliten, die das Fernsehprogramm übertragen, befinden sich in 36 000 Kilometern Höhe in einer sogenannten geostationären Umlaufbahn. „Stationär“ ist daran Folgendes: Der Satellit umkreist die Erde genau in 24 Stunden und dreht sich daher synchron zur Erdrotation permanent mit unserem Planeten mit. Dadurch „steht“ er vom Boden gesehen immer exakt am selben Punkt am Himmel: Einmal auf ihn ausgerichtet hat die Antennenschüssel den Satelliten ständig im Visier.

5. Forschung auf der *ISS*



Alexander Gerst in einem der *ISS*-Module. Das Bild zeigt einige der vielen Geräte, die der Forschung dienen.
Bild: NASA/ESA

Ihre Schülerinnen und Schüler haben es schon weit gebracht: Sie haben trainiert, sind gestartet und auf der *ISS* angekommen. Sie wissen jetzt auch, wie wesentliche Technikkomponenten der Station funktionieren und wie das Leben im All aussieht. Doch warum sind wir überhaupt auf die Raumstation geflogen? Natürlich um dort Forschung zu betreiben. Also an die Arbeit!

Die Liste von Experimenten, die typischerweise während einer Mission durchgeführt werden, ist lang. So war der deutsche ESA-Astronaut Alexander Gerst bei seinem ersten Aufenthalt auf der *ISS* im Jahr 2014 an rund 100 wissenschaftlichen Versuchen beteiligt. Um den Kindern die verschiedenen Forschungsgebiete näherzubringen, haben wir hier exemplarisch einige wenige Themen in Form von Mitmach-Experimenten aufbereitet – und zwar aus den Bereichen Kristallzüchtung, Humanmedizin, Pflanzenwachstum und Materialforschung.

5.1 Kristallzüchtung

In Schwerelosigkeit gezüchtete Protein-Kristalle. Bild: NASA

Kristalle sind feste Stoffe, deren Teilchen regelmäßig angeordnet sind: etwa Kochsalz oder Zucker. Ihren Aufbau kann man mithilfe der Röntgenstrukturanalyse untersuchen. Dazu sind möglichst große, gleichmäßig gewachsene Kristalle nötig. Auf der Erde stört aber oft die Schwerkraft (mit Sedimentation und Konvektion als Folgeerscheinungen) die Bildung solcher Kristallstrukturen. Darum sind Kristalle, die

auf der *ISS* in Schwerelosigkeit gezüchtet wurden, für die Forschung von großem Wert. Das gilt auch für Protein-Kristalle. Proteine (Eiweiße) sind lebensnotwendige Bausteine in den Zellen aller Lebewesen. Je mehr wir über sie wissen, desto besser können wir die biochemischen Abläufe in einer Zelle und damit in einem Organismus verstehen.

Experimente und Übungen

Aufgabe 31: Kristallforscher in Aktion!

Das folgende Mitmach-Experiment führt die Kinder an die Welt der Kristalle heran, wobei die Schülerinnen und Schüler sogar selbst Kristalle züchten. Hierzu werden in zwei separaten Versuchen einmal Kochsalz und einmal Glaubersalz (Natriumsulfat) unter stetigem Rühren in Wasser gegeben, bis sich davon nichts mehr auflösen kann. Salz, das nicht mehr im Wasser gelöst werden kann, sinkt zum Gefäßgrund. Man

spricht dann von einer „gesättigten Lösung“. Bei den Salzsorten in diesen zwei Versuchsdurchgängen sollte sich dieser Zustand jeweils bei ca. 3 Teelöffeln auf 30 ml Wasser einstellen. Die Lösung wird nach Filtration in einen Marmeladenglas-Deckel gegossen und ein paar Tage stehen gelassen. Das Wasser verdunstet langsam und es zeigen sich Kristalle.



Schüler züchten Kristalle. Bild: DLR/Timm Bourry



Kristallzucht im Unterricht: beeindruckende Ergebnisse! Bilder: DLR/Timm Bourry

Die Kinder erkennen Unterschiede zwischen den Kristallgitterstrukturen beider Stoffe: Kochsalz bildet würfelförmige Kristalle, kristallines Glaubersalz weist größere und komplexere Strukturen auf. Glaubersalz-Kristalle entstehen durch Verdunstung schneller als die des Kochsalzes. Sie sind im Gegensatz zu den festen Kochsalz-Kristallen porös und zerbrechlich. Daran kann man erkennen, welcher Stoff im Wasser gelöst war.

Hinweise: Alle Materialien und die Durchführung sind auf dem Schüler-Arbeitsblatt beschrieben (da dort auch Kandiszucker als Beispiel erwähnt wird, bringen Sie vielleicht zur Anschauung ein paar Stücke mit). Für das Abmessen des Wassers wird eine Spritze (5 ml oder 10 ml) gebraucht, die mehrmals aufgezogen wird. Der Trichter sollte einen Durchmesser von ca. 14 cm haben, sodass ein Kaffeefilter gut hineinpasst. Eines der benötigten Marmeladengläser, die die Kinder von Zuhause mitbringen sollten, muss so hoch sein, dass der Trichter bequem hineinpasst. Das Glaubersalz und die Plastikspritzen (ohne Nadeln!) gibt es kostengünstig in Apotheken. Sie können die Kristalle optional mit Tinte einfärben. So erhalten Sie statt durchscheinender weißlicher Kristalle farbige Kristalle. Achten Sie dann aber wegen eventueller Verfärbungen darauf, dass Einweg-Handschuhe und Schürzen getragen werden und eine Unterlage verwendet wird.

Achtung: Die beiden aufgeführten Salzsorten Kochsalz und Glaubersalz (Natriumsulfat) sind zwar grundsätzlich ungefährliche Stoffe, es wird aber dringend von jeglichem Verzehr abgeraten! Glaubersalz wirkt stark abführend und eine übermäßige Zufuhr von Kochsalz kann zu Herz-Kreislauf-Problemen führen.

Teilen Sie die Kinder in Gruppen (4 bis 6 Kinder pro Gruppe) ein. Die Gruppen experimentieren jeweils mit einer oder zwei Salzsorten (das nachfolgende Schüler-Arbeitsblatt enthält Materialien und Anleitung für eine Salzsorte). Assistieren Sie den Kindern bei den Mengenangaben und bei der Umsetzung.

Zur Didaktik

- Die Kinder entdecken, dass Salze Kristalle sind.
- Sie lernen die Trenn-Methode „Filtration“ kennen.
- Die Kinder vertiefen ihre Fähigkeiten im Team zu experimentieren.

Wir züchten Kristalle!

Kennt ihr Kandiszucker? Man benutzt ihn manchmal im Tee. Schaut euch so ein Stück mal genauer an. Das Besondere daran ist seine eckige Form. Diese regelmäßige Struktur nennt man „Kristall“. Auch Eisblumen, die an kalten Tagen Auto- oder Fensterscheiben bedecken, Schneeflocken und manche andere Dinge haben eine solche Kristallstruktur. Auf der Erde und auf der Internationalen Raumstation werden Kristalle untersucht, um mehr über die Eigenschaften dieser Stoffe herauszufinden. In Schwerelosigkeit wachsen Kristalle besonders regelmäßig. Das hilft bei der Untersuchung.



In diesem Mitmach-Experiment dürft ihr selbst Kristalle züchten!

Ihr braucht dafür:

- 3 Marmeladengläser mit Deckel
- 2 Teelöffel
- 1 Trichter
- 1 Kaffeefilter (ca. 14 cm Durchmesser)
- 1 Plastikspritze (5 ml oder 10 ml)
- Kochsalz oder Glaubersalz
- Wasser (für ein halbes Marmeladenglas)
- 1 wasserfesten Stift

So wird's gemacht:

- 1 Füllt das erste Marmeladenglas etwa bis zur Hälfte mit warmem Wasser. Füllt daraus mit der Spritze 30 ml in ein zweites Marmeladenglas um. (Das restliche Wasser wird nicht mehr gebraucht.)
- 2 Löst in den 30 ml Wasser unter ständigem Rühren so viel Salz auf, bis am Boden des Marmeladenglases etwas Salz übrig bleibt, das sich nicht mehr auflöst. **Hinweis:** Verwendet immer denselben Löffel zum Rühren und einen anderen, trockenen Löffel zum Salz-Nachfüllen!
- 3 Steck den Kaffeefilter in den Trichter.
- 4 Stellt den Trichter in ein drittes Marmeladenglas.
- 5 Schüttet die Salzlösung in den Filter, sodass unten die wässrige Lösung in das Marmeladenglas tropft (das nennt man „Filtrat“).
- 6 Füllt einen Marmeladenglas-Deckel zur Hälfte mit diesem Filtrat.
- 7 Beschriftet euren Deckel (eure Namen, Salzsorte, Datum) und stellt ihn an einen ruhigen Ort – am besten auf die Heizung oder auf die Fensterbank, damit alles schneller verdunstet.
- 8 Beobachtet ein paar Tage lang immer mal wieder, was passiert!

5.2 Medizin



Alexander Gerst beim täglichen Fitness-Training an Bord der Raumstation. Nur mit viel Sport lässt sich dem Abbau der Muskulatur entgegenwirken, die in Schwerelosigkeit weniger beansprucht wird. Bild: NASA/ESA

Ein Großteil der Forschung in Schwerelosigkeit ist der Humanmedizin gewidmet. Aus den vielen Fragestellungen, die dabei untersucht werden, haben wir hier zwei Aspekte ausgewählt, die sich für einfache Mitmach-Experimente eignen: erstens das Thema

Gleichgewicht und Orientierung und zweitens das Thema „Fluid Shift“, also die Verlagerung von Flüssigkeiten im menschlichen Körper infolge der Schwerelosigkeit.

Experimente und Übungen

Aufgabe 32: Die drehende Kakaotasse und die Bürste mit Steinen im Ohr

Eine Bürste mit Steinen im Ohr? Ja, dieses kleine Modell zur Illustration des Gleichgewichtsorgans zeigt, was bei uns im Innenohr passiert, wenn wir den Kopf seitlich kippen. Was das alles mit Kakao zu tun hat? Darum geht es zu Beginn dieses „Doppel-

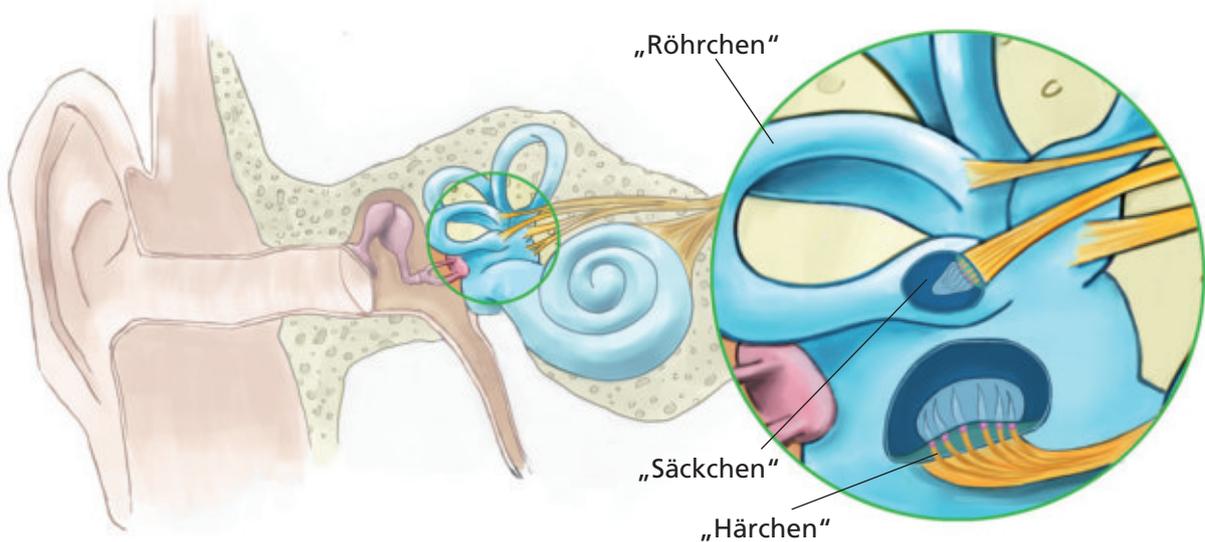
Experiments“ zum Thema Gleichgewichtsorgan (eher für ältere Schülerinnen und Schüler). Es knüpft an die auf Seite 51 beschriebenen Übungen zum „Drehwurm“ an.

Was haben Kakao, eine Bürste und Steine mit unserem Ohr zu tun?

Selbst wenn wir die Augen schließen, merkt unser Gehirn, ob wir still stehen oder ob wir anfangen uns zu bewegen. Es spürt auch, ob wir den Kopf gerade oder schief halten. Aber wie funktioniert das? Dazu hier zwei kleine Versuche, die euch erklären, was alles in eurem Ohr passiert. Im Ohr? Ja, denn da sitzt das Gleichgewichtsorgan des Menschen.

- Das Gleichgewichtsorgan besteht aus dünnen gebogenen „Röhrchen“ (sie werden „Bogengänge“ genannt). Die Röhrchen sind so etwas wie unsere „Bewegungsmelder“.
- Außerdem hat das Gleichgewichtsorgan mehrere Ausstülpungen, die man sich wie „Säckchen“ vorstellen kann. Das sind die Anzeiger für oben und unten.

In den Röhrchen und in den Säckchen sind feine „Härchen“ (um genau zu sein sind es „Haarsinneszellen“). Wie ihr gleich erfahren werdet, sind sie besonders wichtig!



Diese beiden Grafiken zeigen stark vereinfacht unser Gleichgewichtsorgan. Links sieht man das ganze Ohr und das Innenohr, rechts ist der grün eingekreiste Ausschnitt vergrößert dargestellt. Ihr erkennt dabei die kleinen „Röhrchen“ und die „Säckchen“, in denen sich „Härchen“ befinden.

1. Das Kakao-Experiment

Ihr braucht dazu:

- 1 Tasse Kakao (einfach mit Milch und etwas Kakaopulver anrühren)
- Schokostreusel
- 1 Löffel

So wird's gemacht:

Löst Kakaopulver mit Milch auf und verrührt es wie bei einer ganz normalen Tasse Kakao. Streut zusätzlich Schokostreusel auf den Kakao. Lasst die Tasse auf dem Tisch stehen, bis sich der Kakao nicht mehr bewegt. Dann dreht ihr vorsichtig die Tasse auf dem Tisch im Kreis herum: Die Tasse fängt an sich zu drehen, aber der Kakao dreht sich erst einmal nicht mit. Ihr könnt das an den Schokostreuseln gut erkennen.

Stellt jetzt einen Löffel in die Tasse, wartet wieder etwas ab und dreht die Tasse noch einmal um sich selbst: Ihr seht, wie sich der Löffel zusammen mit der Tasse zu drehen beginnt und dabei gegen die Flüssigkeit stößt, die dadurch verwirbelt wird.

Was hat das mit dem Gleichgewichtsorgan im Ohr zu tun? Nein, in euren Ohren ist natürlich kein Kakao mit Schokostreuseln! Aber im Gleichgewichtsorgan sind kleine Bogengänge mit Flüssigkeit gefüllt. Wenn ihr anfangt euren Kopf zu bewegen, bleibt die Flüssigkeit zunächst stehen – wie der Kakao in der Tasse. Dadurch stoßen die Härchen, die sich in den Bogengängen befinden, gegen die Flüssigkeit – wie der Löffel gegen den Kakao. Diese „Härchen“ sind Sinneszellen: Sie „merken“, wenn sie gegen die Flüssigkeit stoßen und geben diesen Reiz sofort an unser Gehirn weiter. So erfährt das Gehirn davon und wir spüren, dass wir schneller oder langsamer werden.

Mit den Bogengängen merken wir also, dass wir anfangen uns zu bewegen (oder ob die Bewegung wieder aufhört). Aber damit können wir nicht feststellen, wo oben oder unten ist. Dafür haben wir unter den Bogengängen kleine „Säckchen“, in denen sich ebenfalls Haarsinneszellen befinden.

Auf diesen dünnen Härchen liegen viele kleine Kalk-Kristalle. Und was da passiert, zeigt das zweite Experiment ...

2. Das Bürsten-Experiment

Ihr braucht dafür:

- 1 Buch
- 1 Bürste
- 1 flachen Stein

So wird's gemacht:

Legt die Bürste auf das Buch (Borsten nach oben) und den Stein auf die Bürste. Wenn ihr das Buch (und damit auch die Bürste) vorsichtig an einer Seite anhebt, könnt ihr sehen, wie der Stein etwas zur Seite rutscht und dabei die Borsten biegt.

In unserem Gleichgewichtsorgan ist es auch so: Wenn wir den Kopf schief halten, verrutschen die Kalk-Kristalle ein winziges Stück und verbiegen dabei die Härchen der Sinneszellen ein wenig. Die Zellen melden das an unser Gehirn. So wissen wir, dass unser Kopf schräg geneigt ist (und dass „oben“ dann nicht mehr genau über unserem Kopf ist, sondern schräg darüber).

Aufgabe 33: Handstand-Fotos und Messungen an Stirn und Wade



Messung des Kopfumfangs an der Stirn. Bild: DLR/Timm Bourry

Wenn wir auf dem Boden stehen, befinden sich unsere Körperflüssigkeiten in einer ausgeglichenen Verteilung. Fehlt die nach unten „ziehende“ Gravitation plötzlich, verlagern sie sich in Richtung Kopf. Astronauten haben daher in Schwerelosigkeit etwas aufgedunsene Gesichter und dünne „Storchenbeine“, wie sie es selbst manchmal nennen. Dieser Effekt lässt sich leicht anhand von zwei Vergleichsfotos demonstrieren: Beim ersten Foto wird das Gesicht einer aufrecht stehenden Person fotografiert, danach in möglichst ähnlichem Bildausschnitt während eines Handstands (am besten an der Wand und mit Unterstützung durch Mitschüler, die die Beine festhalten). Dreht man das Handstand-Foto anschließend um 180 Grad, erkennt man den Unterschied (mit Bildbearbeitungsprogrammen kann man beide Fotos halbtransparent überlagern und den Effekt noch genauer sehen).

Auf den nächsten Seiten gibt es zu diesen Vorgängen im Körper ein Schüler-Arbeitsblatt mit Vorschlägen für etwas präzisere Messungen. Dabei geht es um den Umfang an Wade und Stirn, der erst im Stehen und dann im Liegen (Beine auf einem Stuhl leicht hochgelagert) gemessen wird.

Test-Messungen mit 14- bis 19-Jährigen haben dabei ergeben: Der Umfang der Wade nimmt liegend um 1 bis 2 cm ab, der Umfang des Kopfes um 1 bis 2 cm zu. Beim anschließenden Vergleich der Werte sollten Sie mit den Kindern noch einmal den Hintergrund dieser Flüssigkeitsverschiebungen im Körper rekapitulieren (er wurde auf Seite 55 bereits beim Marmeladen-Test angesprochen).

Interessant ist an dem kleinen Versuch auch: Da eine Kopftieflage die Situation in Schwerelosigkeit simuliert, wird dies auch in der echten Forschung in großen Studien so ähnlich durchgeführt. Da liegen Probanden sogar mehrere Wochen lang unter medizinischer Aufsicht in einem „schrägen“ Bett, wobei sich der Kopf etwas tiefer als die Beine befindet.

Schwerelosigkeit: Was passiert im Körper der Astronauten?

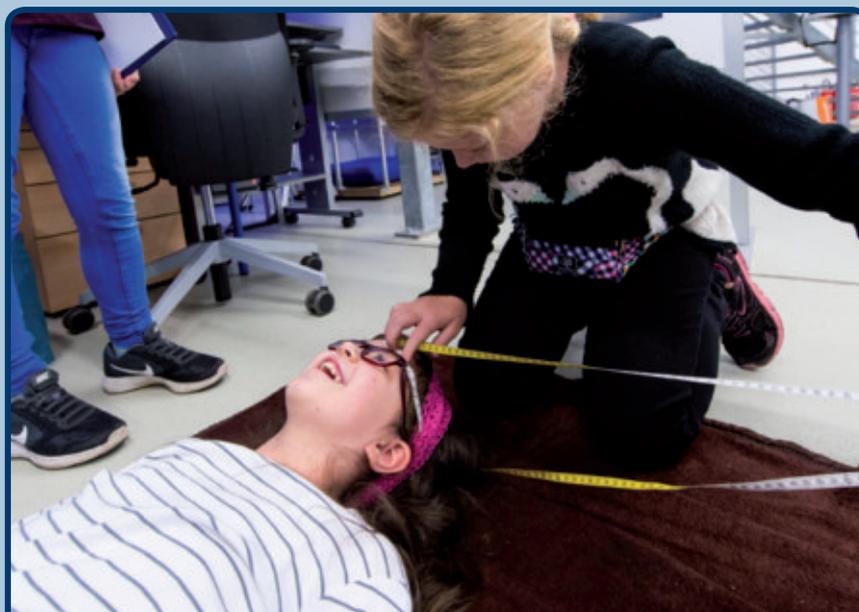
Der Körper des Menschen besteht zum größten Teil aus Wasser. Das meiste ist in den Zellen, aber ihr habt sicher schon vom Blutkreislauf gehört. Wenn wir stehen, müssen diese Flüssigkeiten gegen die Schwerkraft in Richtung Kopf transportiert werden. Das übernimmt eine „Pumpe“, nämlich unser Herz.

Normalerweise ist das alles gleichmäßig im Körper verteilt: Die Schwerkraft zieht nach unten, das Herz pumpt nach oben. Wenn Astronauten aber schwerelos sind, zieht die Schwerkraft ja nicht mehr nach unten. Da das Herz aber weiter pumpt und pumpt und pumpt – was passiert da wohl? Genau: Jetzt sammeln sich mehr Flüssigkeiten in der oberen Körperhälfte an. Die Folge: Die Astronauten bekommen einen „dicken Kopf“ und dünnere Beine, denn oben befindet sich zu viel und unten zu wenig Flüssigkeit.

In diesem Experiment könnt ihr das nachmachen.

Ihr braucht dafür:

- Klebepunkte
- 1 Maßband
- 1 Stuhl
- 1 Wolldecke



Hier wird der Kopfumfang im Liegen gemessen.
Bild: DLR/Timm Bourry

So wird's gemacht:

Wird der Kopf in Schwerelosigkeit wirklich dicker und werden die Beine dünner? Das messen wir in diesem Versuch. Da wir die Schwerkraft nicht ausschalten können, wenden wir einen „Trick“ an: Die Versuchsperson legt sich einfach hin – mit den Beinen leicht nach oben. Dann passiert dasselbe, was in Schwerelosigkeit passiert. Damit wir an den richtigen Stellen messen, wird die Versuchsperson vorher an der Stirn und an der Wade (Hose hochkrempeln) mit mehreren Klebepunkten gekennzeichnet. Dann bleibt die Versuchsperson erst einmal 5 Minuten lang ruhig stehen. Mit dem Maßband messen wir an den gekennzeichneten Stellen den Umfang des Kopfes und der Wade.

Hinweis: Das Maßband muss eng auf der Haut liegen, sollte sie aber nicht eindrücken!

Nun streckt sich die Versuchsperson auf dem Boden aus, wobei die Füße leicht erhöht auf einem Stuhl liegen müssen. Sie soll sich möglichst nicht bewegen (am besten eine Decke unterlegen). Nach 10 Minuten wiederholen wir die Messungen genau an denselben Stellen wie zuvor.

Vergleicht nun die Werte im Stehen und Liegen. Was ist passiert? Warum?

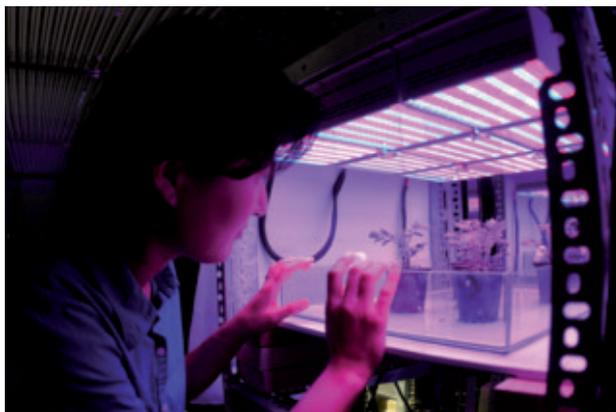
	Kopf Umfang in cm	Wade Umfang in cm
stehend		
liegend		

5.3 Biologie: Pflanzenwachstum



Diese Blume wurde auf der *ISS* in Schwerelosigkeit gezüchtet. Auch das Wachstum von Salat, Kresse und anderen Pflanzen wird auf der Raumstation getestet. Bild: NASA

Woher „wissen“ Pflanzen, in welche Richtung sie wachsen müssen? Wachsen sie zum Licht hin? Oder orientieren sie sich an der Gravitation und wachsen dann in entgegengesetzter Richtung? Welcher dieser beiden Faktoren „sagt“ der Pflanze, dass sie die Wurzeln nach unten und die Triebe nach oben ausrichten soll und wo überhaupt unten und oben ist?



Bei welchem Licht Pflanzen am besten gedeihen – auch das ist ein Forschungsthema. Bild: NASA

Diesen Fragen ist der niederländische ESA-Astronaut André Kuipers im Jahr 2004 in einem Experiment für Kinder auf der *ISS* nachgegangen. Seine Untersuchungsobjekte waren Rucola-Pflanzen. Parallel zu den Experimenten auf der *ISS* beobachteten Schülerinnen und Schüler auf der Erde das Rucola-Wachstum. Auf der *ISS* und auf der Erde wurden die Pflanzen jeweils mit und ohne Licht gezüchtet. Das Ergebnis: Ob in Schwerelosigkeit oder auf der Erde – wenn es eine Lichtquelle gab, wuchsen die Pflanzen immer in diese Richtung. Das Licht ist also der dominierende Faktor. Wenn das Licht entfällt, hat auch die Gravitation Auswirkungen: Der irdische Rucola wuchs im Dunkeln (wenn auch nicht sonderlich gut) in die Höhe. Der Rucola, der auf der Raumstation im Dunkeln gehalten wurde, wuchs wahllos in alle Richtungen.

Experimente und Übungen

Aufgabe 34: Was brauchen Pflanzen zum Wachsen?

Im Mitmach-Experiment werden Kresse-Samen verwendet, da die Keimzeit von Kresse sehr kurz ist. Bereits nach ca. 24 Stunden kann man erste Pflänzchen erkennen. Beobachten Sie mit den Kindern das Wachstum über vier Tage.

Achtung: Die bei diesem Experiment gezüchtete Kresse ist nicht zum Verzehr geeignet, da in den dunklen Kartons Schimmel entstehen kann! Werfen Sie die Pflanzen samt der Erde nach dem Versuch weg! Die Tontöpfe (siehe unten) können wiederverwendet werden.

Die Kinder werden im Verlauf des Experiments erkennen, dass Pflanzen, die im vollen Licht stehen, am besten wachsen. Kresse-Pflänzchen aus der Dunkelheit und aus dem Halbdunkel werden statt der kräftigen grünen Farbe eher gelbliche Blättchen aufweisen, weil im Dunkeln kein grüner Blattfarbstoff gebildet wird. Toller Effekt: Stellt man die Pflänzchen aus der Dunkelheit ins Helle, so ist bereits nach wenigen Stunden eine grüne Verfärbung der Blättchen sichtbar (durch das Licht wird die Bildung von Chlorophyll angeregt).

Alle Angaben zu Materialien und zur Durchführung sind auf dem Schüler-Arbeitsblatt zu finden.



Schülerinnen bereiten das Kresse-Experiment vor.
Bild: DLR/Timm Bourry

Zur Didaktik

- Die Kinder lernen, wie Samen gesät und Pflanzen gezüchtet und gepflegt werden (z. B. regelmäßiges Bewässern).
- Die Kinder üben genaues Beobachten über eine längere Versuchsdauer als wissenschaftliches Verfahren ein.
- Die Kinder lernen, dass Pflanzen für ein gutes Gedeihen unbedingt Licht benötigen.

Was brauchen Pflanzen zum Wachsen?

Wenn ihr vergesst eine Pflanze zu gießen, vertrocknet sie. Pflanzen benötigen also unbedingt Wasser. Was braucht eine Pflanze noch, um gut zu wachsen? Und woher „weiß“ eine Pflanze, in welche Richtung sie wachsen muss? Das wird auch auf der Raumstation untersucht, denn Astronauten sollen sich dort frische Nahrung wie zum Beispiel Salat selbst züchten können. Im folgenden Mitmach-Experiment könnt ihr selbst einige Dinge über das Wachstum von Pflanzen herausfinden!

Ihr braucht dafür:

- 3 Pappkartons mit Deckel
- 1 Schere
- 1 Geodreieck/Lineal
- 3 kleine Blumentöpfe (etwa 6 cm hoch) mit Untersetzern
- Kresse-Samen
- Gartenerde
- 1 Esslöffel
- 1 Teelöffel
- 1 Gießkanne mit Wasser



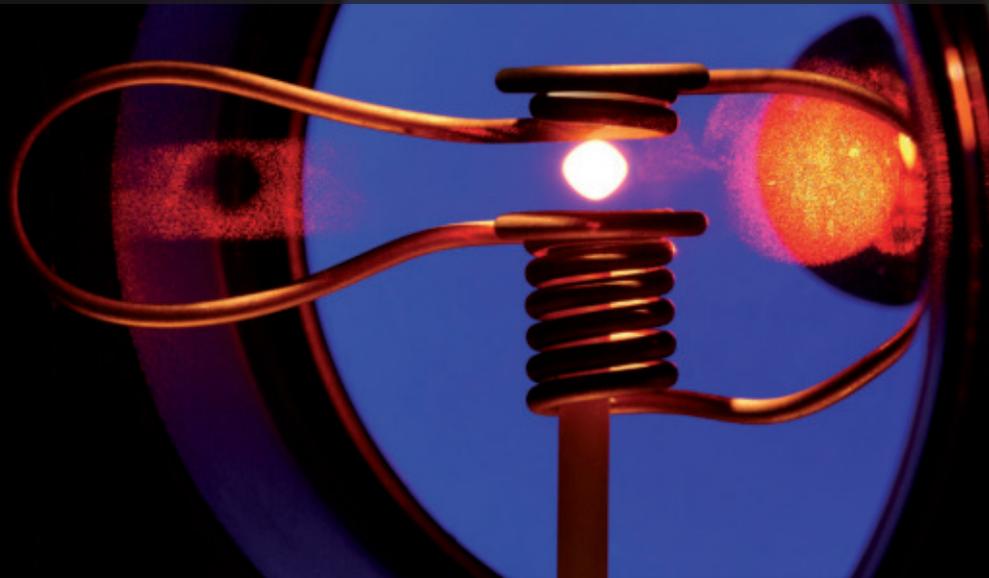
In diesem Experiment geht es um Kresspflanzen. Bild: DLR/Timm Bourry

So wird's gemacht:

- 1 Füllt jeden der Blumentöpfe mit 3 Esslöffeln Gartenerde.
Presst die Erde ein wenig fest.
- 2 Streut etwa einen halben Teelöffel Kresse-Samen auf die Erde und drückt die Samen vorsichtig an.
- 3 Bewässert die Erde, sodass nur wenig Wasser in die Untersetzer fließt.
Gießt überschüssiges Wasser in den Ausguss!
- 4 Schneidet in einen Kartondeckel zwei Löcher (nicht in die Mitte, sondern eher in Richtung der Ränder) mit den Maßen 14 cm x 7 cm hinein.
Die anderen Kartondeckel bleiben ganz.
- 5 Setzt die Töpfchen in die Mitte der Schachteln und stellt sie auf eine Fensterbank. Verschließt zwei Kartons mit den Deckeln (einer der Deckel hat die beiden Löcher). Der dritte Karton bleibt offen.
- 6 Gießt die Töpfe regelmäßig, denn die Erde muss immer etwas feucht gehalten werden.
- 7 Beobachtet über 4 Tage das Wachstum der Kresse in den Kartons.



5.4 Materialforschung



Eine schwebende Metallprobe wird von einer Magnetspule gehalten und erhitzt. Solche Experimente lassen sich zwar auch auf dem Boden durchführen, in Schwerelosigkeit aber gelingen sie besser. Bild: DLR

Werkstoffe werden ständig weiterentwickelt, um den unterschiedlichen Anforderungen je nach Anwendungsgebiet zu entsprechen. Dabei muss man etwa bei der Herstellung von Metall-Legierungen viele Faktoren berücksichtigen: beispielsweise die Oberflächenspannung der Schmelze, thermisch bedingte Strömungen im Inneren der flüssigen Metalle und vieles mehr. All das beeinflusst die Materialqualität.

Auf der Erde lassen sich diese Effekte aber nur eingeschränkt messen, weil die allgegenwärtige Schwerkraft sie überlagert und zu störenden Begleiterscheinungen wie Sedimentation und Konvektion führt. In Schwerelosigkeit dagegen treten die Effekte „lupenrein“ zutage und können besser studiert werden. Anhand der Ergebnisse werden dann auf der Erde die industriellen Prozesse verbessert.

Experimente und Übungen

Aufgabe 35: Hart oder weich, rau oder glatt?

Und so geht's:

Um die Kinder überhaupt an das Thema heranzuführen, untersuchen sie in dieser Übung Materialeigenschaften. Dazu sind fünf „Stationen“ vorgesehen, die von ebenso vielen Kleingruppen eigenständig durchlaufen werden. Jede Gruppe nimmt dabei ihre Untersuchungsobjekte von Station zu Station mit. An jeder Station liegen „Werkzeuge“ aus, die dort für die nächste Gruppe verbleiben.

Die erste dieser Stationen entspricht einem Gerät, das es auf der Raumstation tatsächlich gibt: nämlich der „Glovebox“ (übersetzt „Handschuh-Kasten“). Darin lassen sich Proben untersuchen, ohne dass die Astronauten mit ihnen Hautkontakt haben. Diese Station einer selbst gebauten Glovebox sollte von allen Kindern zuerst bearbeitet werden. Hier werden die Materialien ertastet, anschließend der Glovebox entnommen und in den weiteren Stationen in beliebiger Reihenfolge untersucht.

Die „Glovebox“ wird vorab aus einem Karton gefertigt. Dazu schneiden Sie in die breite Seite des Kartons zwei runde Löcher hinein (Durchmesser ca. 10 cm). Befestigen Sie außen an den Öffnungen mit breitem Klebeband ein Paar Haushalts- oder Einweg-Handschuhe (oder zwei kleine Plastiktüten), sodass man damit ins Innere des Kartons greifen kann.

Tipp: Am besten bastelt jede Gruppe zum Auftakt unter Anleitung und Assistenz der Lehrkraft ihre eigene Box.

Wenn alle Gruppen ihre Glovebox gebaut haben, statten Sie jede Gruppe mit einem Set der Untersuchungsobjekte und einem Ausdruck des Schüler-Arbeitsblattes aus. Legen Sie außerdem an den einzelnen Tischen die nötigen „Werkzeuge“ bereit und markieren Sie die Stationen.



Die „Glovebox“ im Simulator des Columbus-Moduls (im ESA-Astronautenzentrum in Köln). Bild: DLR

Folgende Stationen sollen durchlaufen werden:

Station 1: Die Oberfläche von Materialien

Station 2: Das Aussehen von Materialien

Station 3: Der Klang von Materialien

Station 4: Magnetische Eigenschaften von Materialien

Station 5: Der Härtegrad von Materialien

Zur Didaktik

- Die Kinder entwickeln ein Verständnis für die Kriterien von Stoffeigenschaften (Oberflächenbeschaffenheit, Form, Klang, Magnetismus, Härte).
- Die Kinder erkennen, dass sie mithilfe ihrer Sinne (hier: Sehsinn, Tastsinn und Hörsinn) und mit „Werkzeugen“ verschiedene Stoffe voneinander unterscheiden können.
- Die Kinder üben die Zusammenarbeit im Team.

Die Charakteristik der Untersuchungsobjekte kann wie folgt aussehen:

Gegenstand	Oberfläche	Aussehen	Klang	Magnetische Eigenschaften	Härte
Keramik	Oberseite: glatt Unterseite: rau	Oberseite: weiß, glänzend Unterseite: beige, körnig	klirrend	nicht magnetisch	sehr hart und starr
Plastiklöffel	glatt	matt	rasselnd	nicht magnetisch	etwas biegsam
Metalllöffel	glatt	metallisch, glänzend	scheppernd	magnetisch	sehr hart und starr
Korken	stumpf	körnig, beige	dumpf, gedämpft	nicht magnetisch	weich und elastisch
Styropor	stumpf	körnig, weiß	dumpf, gedämpft	nicht magnetisch	sehr weich

Am Ende der ganzen Übung werden die Ergebnisse besprochen und die Eigenschaften aller Gegenstände in einer Tabelle an der Tafel zusammengetragen. Führen Sie zur Vertiefung noch ein „Material-Quiz“ durch. Stellen Sie dabei Rätselfragen wie „Welches Objekt ist glatt und etwas biegsam?“ (z. B. Plastiklöffel) oder „Welcher Stoff ist hart und magnetisch?“ (z. B. Löffel aus Metall). Fragen Sie zunächst nach den

in dieser Übung verwendeten Materialien, bauen Sie danach andere Alltagsgegenstände (Holz, Radiergummi, Schwamm usw.) ein. Diskutieren Sie am Ende mit den Kindern, wofür welche Materialien im Alltag am besten zu gebrauchen sind. Beispiel: „Wenn ihr euch Materialien für den Bau eines Flugzeugs aussuchen könntet, welche Eigenschaften müssten sie haben?“

Materialien

Untersuchungsobjekte (pro Gruppe je 1 Exemplar):

- 1 kleine Keramikfliese
- 1 Eierlöffel aus Plastik
- 1 Teelöffel aus Metall (Hinweis: Testen Sie vorab, dass der Löffel magnetisch ist!)
- 1 Korken
- 1 Objekt aus Styropor

Für die einzelnen Stationen benötigen Sie folgende „Werkzeuge“:

Station 1: Die Oberfläche von Materialien (Glovebox)

- 1 Karton (z. B. Schuhkarton)
- 1 Paar Handschuhe (Haushalts- oder Einweg-Handschuhe) oder 2 kleine Plastiktüten
- 1 Paketklebeband
- 1 Schere

Station 2: Das Aussehen von Materialien

- 1 Lupe

Station 3: Der Klang von Materialien

- 1 Rohr als Fallrohr, ca. 1 m lang, z. B. aus dem Baumarkt (Hinweis: Das Rohr muss einen ausreichend großen Durchmesser haben, damit alle Untersuchungsobjekte einschließlich der kleinen Keramikfliese hineinpassen.)
- 1 Holzbrett zum Unterlegen

Station 4: Magnetische Eigenschaften von Materialien

- 1 Magnet

Station 5: Der Härtegrad von Materialien

- 1 Nagel

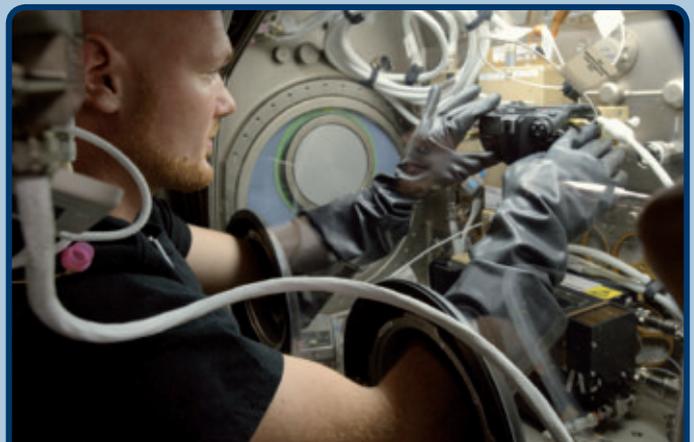
Ihr seid Material-Detektive!

Die Dinge, die wir jeden Tag benutzen, bestehen aus ganz verschiedenen Materialien. Diese Materialien haben unterschiedliche Eigenschaften: Manche sind hart, andere weich und biegsam, manche rau, andere glatt. Forscher entwickeln solche Materialien und versuchen immer wieder sie zu verbessern. Dabei denken sie vor allem daran, wofür die Materialien eingesetzt werden sollen. Auch auf der Internationalen Raumstation wird ständig an neuen Materialien geforscht, weil das in Schwerelosigkeit oft einfacher geht als auf der Erde.

Jetzt seid ihr dran: Wie Detektive untersucht ihr Dinge, die aus verschiedenen Materialien bestehen. Findet heraus, welche Eigenschaften sie haben! Die Sachen, die ihr untersuchen sollt, hält eure Lehrerin bzw. euer Lehrer schon für euch bereit!

Station 1: Die Oberfläche von Materialien

Auf der Internationalen Raumstation gibt es eine sogenannte „Glovebox“ (das ist Englisch und bedeutet übersetzt „Handschuh-Kasten“). Es handelt sich um einen „Kasten“, in dem Materialien untersucht werden. Der Kasten hat zwei Löcher, durch die man hineingreifen kann. Doch man steckt nicht einfach die Hände durch die Löcher, sondern zieht dazu Handschuhe über, die an der Box befestigt sind. So kann man auch Dinge ertasten, die man besser nicht berühren sollte. Aber keine Sorge: In eurer „Glovebox“ ist nichts Gefährliches. Tastet die Materialien ab und versucht, so viel wie möglich darüber herauszufinden. Wie fühlen sich die Dinge an? Sind sie rau oder glatt? Tragt eure Ergebnisse in die Tabelle ein. Wenn ihr fertig seid, nehmt die Gegenstände aus der „Glovebox“ und testet ihre Materialeigenschaften in den folgenden Stationen.



So sieht der Handschuh-Kasten auf der Raumstation aus. Darin werden zum Beispiel Versuche durchgeführt, bei denen es um Stoffe geht, die man nicht berühren oder einatmen sollte. Bild: NASA/ESA

Station 2: Das Aussehen von Materialien

Erforscht jetzt das Aussehen der Dinge! Achtet vor allem auf Farbe und Form. Seht ganz genau hin und verwendet dazu auch die Lupe. Schreibt eure Beobachtungen in die Tabelle!

Station 3: Der Klang von Materialien

Legt ein Brett als Unterlage auf den Tisch und stellt das Fallrohr darauf. Haltet das Rohr fest und werft nacheinander die verschiedenen Dinge hinein. Wie klingt das? Klirren sie beim Aufprall? Oder hört es sich anders an? Versucht die Töne zu beschreiben und tragt eure Ergebnisse in die Tabelle ein.

Station 4: Magnetische Eigenschaften von Materialien

Jetzt kommt ein Magnet ins Spiel! Damit kann man herausfinden, ob ein Material magnetisch ist oder nicht. Wird es vom Magneten angezogen? Macht den Magnet-Test und schreibt das Ergebnis wieder in die Tabelle!

Station 5: Der Härtegrad von Materialien

Hart oder weich? Ritzt mit dem Nagel vorsichtig die verschiedenen Gegenstände an. Sind eure Materialien hart oder weich? Hinterlässt der Nagel eine Spur? Lässt er sich in das Material hineindrücken? Kann man das Material biegen oder ist es starr? Tragt die Beobachtungen in die Tabelle ein!

Tabelle für eure Ergebnisse:

Gegenstand	Oberfläche	Aussehen	Klang	Magnetische Eigenschaften	Härte
Keramik					
Plastiklöffel					
Metalllöffel					
Korken					
Styropor					

6. Der Spacewalk



Ein Astronaut beim Spacewalk. Bild: NASA

Wenn Astronauten die Raumstation für Außenbordarbeiten verlassen müssen, wird oft von „Weltraum-Spaziergängen“ gesprochen. Doch ein solcher bis zu sechs Stunden dauernder Spacewalk (im Fachjargon Extra Vehicular Activity oder kurz *EVA* genannt) ist alles andere als ein „Spaziergang“. Die Arbeit im sperrigen Raumanzug, der samt Helm und Handschuhen vor dem Vakuum und den extremen Temperaturen des Alls schützt, ist trotz eingebauter Klimaanlage enorm anstrengend. Vom Kontrollzentrum aus überwachen daher die Ärzte die Körpertemperatur und andere Vitaldaten der Astronauten, wobei die Werte mithilfe der sogenannten Telemedizin live zum Boden übertragen werden. Außerdem sind die Ausstiege ins All nicht ungefährlich: Damit Raumfahrer nicht hilflos von der Station fortschweben, müssen sie sich immer an einer Sicherheitsleine einhaken. Für den Notfall hat der „Rucksack“, der sich hinten am Raumanzug befindet, kleine Steurdüsen, mit denen ein Astronaut zur *ISS* zurückfinden könnte – was allerdings noch nie nötig war.

Spacewalks dienen oft der Installation neuer Geräte oder dem Auswechseln defekter Komponenten. Da müssen Solarzellen repariert, Stromleitungen verlegt oder Lecks im Kühlsystem geschlossen werden. Neue Antennen oder Kameras werden angebracht, Andock-Mechanismen für künftige Raumtransporter montiert und vieles mehr. Das alles erfordert eine präzise Planung und wird daher beim Training in großen Tauchtanks – wo der Auftrieb unter Wasser ein Gefühl für die Schwerelosigkeit gibt – bis ins kleinste Detail eingeübt. Dennoch ist immer wieder Improvisationstalent gefragt: etwa wenn eine Schraube verkantet ist oder ein anderes Teil klemmt.

Experimente und Übungen

Wir nehmen das Thema Spacewalk zum Anlass, um einige Charakteristika des Weltraums zu behandeln – vor allem die extremen Temperaturen, das Vakuum und die Strahlung. Zum Einstieg aber erst einmal eine für jüngere Kinder geeignete Übung zum Thema Unterwasser-Training.

Zur Didaktik

- Die Kinder entwickeln ein Grundverständnis für elementare Parameter des Weltraums: Temperaturen, Vakuum und Strahlung.
- Die Kinder lernen intuitiv und spielerisch Phänomene wie statischen Auftrieb, Verdrängung und spezifische Dichte kennen.
- Die Kinder schulen analytisches Denken.

Aufgabe 36: Unterwasser-Training



Astronauten üben Außenbordeinsätze unter Wasser ein.
Bild: ESA

Und so geht's:

Warum üben Astronauten einen Spacewalk unter Wasser? Lösen Sie nach einer kurzen Diskussion auf: Der Auftrieb des Wassers sorgt für eine der Schwerelosigkeit ähnliche „Schwebesituation“. Beim Unterwasser-Training werden die Astronauten so mit Bleigewichten austariert, dass sie nicht zur Oberfläche driften und umgekehrt nicht nach unten sinken. Mit jüngeren Kindern können Sie das anhand verschiedener Objekte in einer mit Wasser gefüllten Wanne durchspielen. Beispiel: Eine leere Plastikflasche schwimmt auf dem Wasser, eine komplett mit Sand gefüllte Flasche sinkt zu Boden. Wieviel Sand muss die Flasche enthalten, damit sie genau in der Schwebelage bleibt? Und wenn etwas zu viel Sand in der Flasche ist: Warum bekommt man sie mithilfe eines Luftballons, der an der Flasche befestigt wird, wieder in den ausbalancierten „Schwebestadium“? Intuitiv entwickeln die Kinder so ein Verständnis für Phänomene wie statischen Auftrieb, Verdrängung und spezifische Dichte.

Materialien

- 1 Wanne, Eimer oder anderer größerer Behälter
- Wasser
- verschiedene Objekte wie leere Plastikflaschen (0,5 Liter), Sand, Luftballon etc.
- Faden oder Klebeband

Aufgabe 37: Warum sind Raumanzüge weiß?

Und so geht's:

Fragen Sie die Kinder, warum Raumanzüge hell sind. Die Antwort: So wird das Licht der Sonne reflektiert, während sich ein schwarzer Raumanzug, der die Wärme absorbiert, enorm aufheizen würde. Es handelt sich um denselben Effekt, wie man ihn an sonnigen Tagen von dunklen Kleidungsstücken oder dunklen Autos kennt. Dazu gibt es ein einfaches Mitmach-Experiment. Zunächst werden zwei Flaschen mit blickdichter Farbe angemalt: eine weiß, die andere schwarz. Dann wird Wasser hineingefüllt, das in beiden Flaschen dieselbe Ausgangstemperatur haben muss. Anschließend werden beide Flaschen eine halbe Stunde auf der Fensterbank (innen) in die Sonne gestellt. Danach wird wieder die Temperatur gemessen, und siehe da: Das Wasser in der dunklen Flasche ist wärmer als das Wasser in der weißen Flasche.

Hinweis: Unter der Fensterbank darf sich natürlich keine Heizung befinden, da es hier nur um die Sonne als „Wärmequelle“ geht.

Materialien

- 2 Flaschen
- schwarze und weiße Farbe
- Pinsel
- Wasser
- 1 Thermometer (z. B. ein langes Flüssigkeitsthermometer aus der Chemiesammlung, das in die Flaschenöffnung passt)

Und hier eine kleine Variante: Wenn Sie ältere Schülerinnen und Schüler (nicht jüngere Kinder, die dadurch verwirrt würden) auf die Probe stellen und ins Grübeln bringen wollen, führen Sie den Versuch später nochmals durch – und wenden Sie einen Trick an: Füllen Sie unbemerkt deutlich wärmeres Wasser (aus einer Thermoskanne) in die helle Flasche! Die Messung fällt nun natürlich ganz anders aus. Wer findet heraus, was hier nicht stimmt? So lernen die Schülerinnen und Schüler, die Ausgangsbedingungen eines Experiments analytisch zu hinterfragen. Eine derartige kritische Fehlersuche kommt in der Wissenschaft häufig vor!

Aufgabe 38: Marshmallows in der Vakuumlöcke

Materialien

- 1 Vakuumlöcke oder 1 größere Spritze (ohne Nadel)
- Marshmallows, Schokokuss (Schaumkuss)

Und so geht's:

Vereinfacht kann man sagen: Im Weltraum herrscht ein Vakuum. Wenn man sehr genau formulieren will, müsste hier zwischen verschiedenen Regionen im All und verschiedenen Qualitäten von Vakuum unterschieden werden. Im erdnahen Raum befinden sich noch deutlich mehr Moleküle pro Kubikmeter als im Raum zwischen den Planeten oder zwischen Sonnensystemen oder gar Galaxien. Aber diese Differenzierungen sind etwas für deutlich ältere Schülerinnen und Schüler, sodass hier die vereinfachte Version genügt.

Zur Veranschaulichung können Sie verschiedene Demo-Experimente in einer Vakuumlöcke durchführen, wobei sich beispielsweise Marshmallows oder Schokoküsse bei Unterdruck „aufblähen“. Schnell wird klar: Damit das Astronauten nicht auch passiert, tragen sie Raumanzüge, die von Kopf bis Fuß luftdicht gegen das Vakuum des Alls isolieren.

Hinweis: Steht Ihnen keine Vakuumlöcke zur Verfügung, können Sie den Effekt auch mit einer großen Spritze (natürlich ohne Nadel) zeigen. Ziehen Sie den Kolben erst ganz ab, sodass Sie ein Stück von einem Marshmallow in die Spritze geben können. Dann kommt der Kolben wieder in die Spritze. Drücken Sie ihn ganz nah ans Marshmallow-Stück, bis kaum noch Luft in der Spritze ist. Erzeugt man nun durch Ziehen des Kolbens (die kleinere Öffnung der Spritze mit dem Finger verschließen) einen Unterdruck, dehnt sich das Stückchen sichtbar aus.

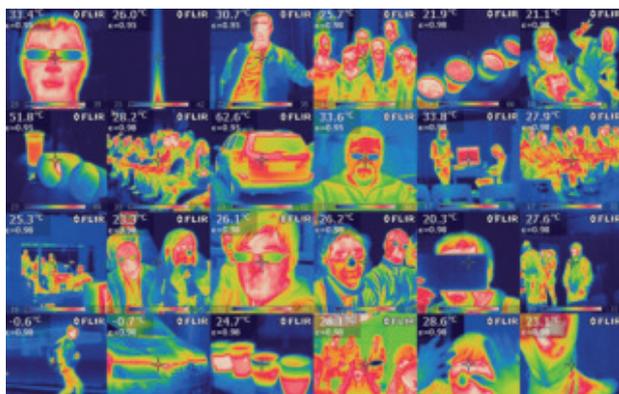
Aufgabe 39: Unsichtbares sichtbar machen

Astronauten dürfen die schützende Raumstation nicht verlassen, wenn ein verstärkter Sonnenwind in Richtung Erde unterwegs ist. Normalerweise ist dieser Strom aus geladenen Partikeln eher harmlos. Auf der Erde schützen uns ohnehin das Magnetfeld und die Atmosphäre davor. Doch nach Sonneneruptionen kann sich der Sonnenwind zum „Sturm“ steigern und das macht diese Strahlung für Astronauten gefährlich. Nebenbei bemerkt: Auch Schäden an Satelliten und sogar Blackouts in Kraftwerken sind dadurch möglich.

Und so geht's:

Dass es ganz allgemein Strahlungsarten gibt, die mit menschlichen Augen nicht gesehen werden können, zeigen folgende Versuche:

Wenn Sie eine Infrarot-Kamera besitzen oder ausleihen (z. B. Feuerwehr, Energieberater oder Versorgungsunternehmen wie Stadtwerke fragen), lassen sich damit spektakuläre Wärmebilder anfertigen: In Falschfarben verrät sich die kalte Nasenspitze im ansonsten warmen Gesicht. Auch der Abdruck einer Hand, die eine kurze Weile auf eine Tischplatte gedrückt wurde, lässt sich nachweisen. Hier wird Unsichtbares sichtbar gemacht.



Diese Aufnahmen haben Schülerinnen und Schüler mit einer Wärmebildkamera angefertigt. Bild: DLR

Materialien

- 1 Infrarot-Kamera (Wärmebildkamera)
- 1 TV-Fernbedienung
- 1 Smartphone mit Kamera

Ohne kompliziertes Zubehör kann man die Infrarot-Strahlung einer TV-Fernbedienung sichtbar machen. Zielen Sie einfach mit der Fernbedienung auf die aktivierte Kamera eines Smartphones (vorher testen, da neuere Smartphone-Kameras einen IR-Filter haben und der Effekt dann nicht sichtbar ist). Wird nun eine beliebige Programmtaste gedrückt, leuchten die sonst unsichtbaren Strahlen der Fernbedienung im Display der Kamera auf.

Hinweis: Die Versuche mit Infrarot-Strahlung haben zunächst nichts mit dem Sonnenwind und der kosmischen Strahlung zu tun; sie zeigen lediglich, dass es für uns unsichtbare Strahlung gibt. Wenn Sie das Thema im engeren Sinne behandeln wollen, können Sie in einer selbstgebauten Nebelkammer verfolgen, wie geladene Teilchen aus dem Weltall ihre Spuren hinterlassen. Das sieht dann im Kleinformat so aus wie Kondensstreifen von Flugzeugen am Himmel. Eine solche Nebelkammer ist ein wirklich faszinierendes Experiment, das allerdings sehr viel Aufwand erfordert. Bauanleitungen für Schulen sind im Internet zu finden.

7. Die Rückkehr zur Erde



Einige Kilometer über der Erde öffnet sich der Hauptfallschirm, an dem die *Sojus*-Kapsel zu Boden segelt.
Bild: NASA/Bill Ingalls

In der Regel bleiben Astronauten ein halbes Jahr auf der Raumstation. Dann kehren sie zu dritt zur Erde zurück, während drei andere Crewmitglieder auf der Station bleiben und erst Monate später den Heimweg antreten. Das *Sojus*-Raumschiff dockt von der Station ab und zündet wenig später die Triebwerke entgegen der Flugrichtung, wodurch es langsamer wird und zu sinken beginnt. Anschließend trennt es sich in mehrere Elemente, von denen nur die Landekapsel den Weg durch die Atmosphäre zum Erdboden zurücklegt, während der Rest in der Atmosphäre verglüht. Je näher die Kapsel mit den drei Raumfahrern der Erde kommt, umso mehr bremsen die immer dichteren Luftschichten sie ab. Dabei erhitzt sich die Luft derart, dass sie zu glühen beginnt. Anders als oft angenommen liegt das nicht so sehr an der Reibung der Kapsel an den Luftpartikeln, sondern vor allem an dem erhöhten Luftdruck: Die Kapsel staucht die Luft zusammen – und wenn Luft komprimiert wird, wird sie wärmer. Schließlich öffnet sich der Fallschirm und die Kapsel segelt weiter nach unten. Kurz vor dem Bodenkontakt zündet eine kleine Bremsrakete, um den Aufprall abzumildern.

Die ungewohnte Schwerkraft macht Raumfahrern nach längeren Weltraumaufenthalten zu schaffen. Trotz allen Trainings an Bord der Station müssen sich die Muskulatur und das Herz-Kreislaufsystem erst wieder an die Erdanziehung gewöhnen. Auch der Gleichgewichtssinn ist beeinträchtigt. Nach ein paar Tagen normalisiert sich das alles aber wieder.



Eine *Sojus*-Kapsel im Moment des Aufsetzens.
Bild: NASA/Bill Ingalls



Spektakuläre Aufnahme einer Kapsel kurz nach der Landung. Im Hintergrund sieht man einen Hubschrauber, mit dem die Crewmitglieder zum nächsten Flughafen gebracht werden. Von da geht es weiter nach Moskau oder – bei NASA- und ESA-Astronauten – in die USA bzw. ins europäische Astronautenzentrum bei Köln. Bild: NASA/Bill Ingalls

Auch für uns ist es jetzt Zeit, nach unserer langen Reise ins All zur Erde zurückzukehren – wie immer in Form einiger spielerischer Mitmach-Übungen!

Experimente und Übungen

Aufgabe 40: Es wird heiß!

Reibung erzeugt Wärme. Beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre ist das zwar nicht der entscheidende Grund für die hohen Temperaturen, die außen an der Kapsel entstehen und vor denen die Crew mit einem Hitzeschutzschild abgeschirmt wird. Dennoch können Sie hier eine kleine „Aufwärm-Übung“ an den Anfang stellen. Die Kinder reiben sich schnell die Hände und spüren: Es wird warm!

Zur Didaktik

- Die Kinder erfassen die Herausforderung, eine Crew sicher und unverletzt zur Erde zurückzubringen.
- Die Kinder lernen, wie Reibung und Druck die Temperatur beeinflussen.
- Die Kinder schulen ihr logisches Denken und setzen Aufgabenstellungen mit technischem Geschick um.

Materialien

- 1 Luftpumpe

Der wichtigere Grund für die Hitze beim Wiedereintritt lässt sich ebenfalls schnell demonstrieren – und zwar mit einer Luftpumpe, die man während des Pumpens am Ventil anfasst. Auch da wird es warm! Wir lernen: Wird Luft zusammengepresst, steigt ihre Temperatur.

Aufgabe 41: Ei-Astronaut – bereit machen zur Landung!



Der „Eier-Lander“ wird gebaut. Bilder: DLR

Materialien

Jedes Team erhält

- 2 Pappbecher
- ca. 10 Strohhalme
- 5 Luftballons
- Pappe
- 1 größeres Stück Plastikfolie (Müllbeutel, am besten schon aufgeschnitten)
- ca. 5 Meter Schnur
- Bastelmaterialien (Schere, Klebeband, Lineal, Stift)
- 1 rohes Ei
- 1 kleine Plastiktüte (z. B. Frühstücksbeutel)

Hinweise: Wenn Sie grundsätzlich keine Lebensmittel für solche Versuche verwenden wollen, kann das rohe Ei z. B. durch eine Weihnachtsbaumkugel ersetzt werden. Ob Ei oder Kugel: Halten Sie sicherheitshalber einige dieser „Testobjekte“ in Reserve bereit, falls schon beim Basteln etwas kaputtgeht. Außerdem sollten Sie die zerbrechliche Fracht vor dem Verteilen an die Gruppen in kleine Plastiktüten verpacken (jedes Ei bzw. jede Kugel z. B. in einen kleinen Frühstücksbeutel), falls beim Abwurf doch etwas kaputtgehen sollte.

Die Aufgabenstellung dieses Experiments ist klar: Es muss eine möglichst weiche Landung gelingen! Denn der Astronaut wird in diesem Experiment durch ein rohes Ei symbolisiert, was nicht nur für jüngere Kinder eine echte Herausforderung darstellt. Analog zur echten *Sojus*-Kapsel hilft dabei ein Fallschirm, die Landung im Treppenhaus abzubremsen. Statt der Bremsraketen, die bei einer *Sojus*-Landung in letzter Sekunde den Bodenkontakt zusätzlich abmildern, haben wir bei diesem Experiment allerdings

eine kleine Anleihe aus einem anderen Bereich der Raumfahrt genommen: So, wie gelegentlich bei Landungen unbemannter Raumsonden auf dem Mars „Airbags“ zum Einsatz kommen, verwenden wir hier Luftballons. Außerdem werden nur noch Pappbecher, Strohhalme und ein paar andere Zutaten benötigt – und schon kann die letzte Etappe des Fluges beginnen: Wir kehren zur Erde zurück! Ei-Astronaut: anschnallen und zur Landung bereit machen!

Und so geht's:

Teilen Sie die Materialien an Kleingruppen aus und lassen Sie die Kinder nachdenken: Wie kann nur mit diesen „Zutaten“ eine weiche Landung sichergestellt werden, bei der das rohe Ei als „Passagier“ heil bleibt? Nach einiger Zeit des Überlegens helfen Sie den Kindern und führen Sie sie auf den richtigen Weg zur Lösung, die wie folgt aussieht:

1. Das verpackte Ei in einen Pappbecher stecken.
2. Die Öffnung des Pappbechers per Klebeband mit Pappe (oder einem zweiten Pappbecher) verschließen.
3. An den Seiten und am Boden des Bechers leicht (nicht vollständig) aufgeblasene Luftballons befestigen. Außerdem können noch Strohhalme als „Landebeine“ hinzugefügt werden.
4. Jetzt fehlt nur noch der Fallschirm: Dazu aus einem Müllbeutel einen Kreis (ca. 40 cm Durchmesser) ausschneiden, in die Mitte des Kreises ein Loch schneiden (5-10 cm Durchmesser), das den Sinkflug stabilisiert. Vier gleich lange Schnüre am äußeren Rand des Fallschirms befestigen und mittels Klebeband auch an der „Kapsel“ anbringen.

Danach geht es ins Treppenhaus, wo die Landungen stattfinden.

Aufgabe 42: Auf einmal ist alles ganz schwer!

Wie fühlt es sich wohl nach einem halben Jahr im All an, wenn man plötzlich wieder der Schwerkraft ausgesetzt ist? Kommen die Kinder selbst auf die Idee, wie das nachempfunden werden kann? Eine simple Methode, die zumindest ein Gefühl dafür gibt, ist das „Huckepack-Laufen“ mit einem anderen

Kind auf dem Rücken. So können die Schülerinnen und Schüler die ungewohnte Stärke der Schwerkraft simulieren. Und sie merken: Aufstehen kann man so schon mal gar nicht, weshalb den frisch gelandeten Astronauten beim Ausstieg aus der Kapsel geholfen wird.



Ungewohnte Schwerkraft: Eine Crew wird von zahlreichen Helfern empfangen, die sie aus der Kapsel tragen.
Bild: NASA/Bill Ingalls



8. Visionen für die Zukunft

So ähnlich könnte eines Tages eine Mondbasis aussehen.
Künstlerische Darstellung: NASA/Pat Rawlings (SAIC)

Die Internationale Raumstation soll noch einige Jahre lang betrieben werden. Wie geht es danach weiter? Die großen Raumfahrtnationen entwickeln dazu derzeit Pläne. Mögliche Ziele jenseits der Erdumlaufbahn sind der Mond, der Mars oder auch ein Asteroid. Hier fassen wir für Sie als Lehrkraft einige Überlegungen zusammen, die diesen Szenarien zugrunde liegen – wann auch immer sie realisiert werden mögen.

Auf dem Mond könnte man eine Forschungsstation errichten, wie dies von der Europäischen Weltraumorganisation ESA mit dem Stichwort „Moon Village“ ins Gespräch gebracht wurde. Auf der erdabgewandten Seite würden sich ohne irdischen „Funkwellen-Salat“ ideale Bedingungen für die Radioastronomie bieten. Hinzu kämen viele weitere Forschungsarbeiten, die Gewinnung von Rohstoffen und vielleicht sogar der Weltraumtourismus.

Auf dem Mars stünde die Suche nach Leben im Mittelpunkt. Aus unbemannten Missionen wissen wir, dass es dort einmal flüssiges Wasser gegeben haben muss. Teils ist das Wasser ins All entwichen, teils in den Boden gesickert, wo es wohl als Permafrost unter der Oberfläche bis heute existiert. Da Wasser

als Grundvoraussetzung für Leben gilt, lautet die spannende Frage: Gab es oder gibt es dort einfache Lebensformen? Automatische Rover – Fahrzeuge, die von der Erde ferngesteuert werden – untersuchen den Marsboden schon seit Jahren. Aber vielleicht wird erst der Mensch vor Ort in der Lage sein, das Rätsel zu lösen. Neben solchen Forschungsmissionen, die ca. zwei Jahre dauern würden und schon ambitioniert genug wären, gibt es noch viel weitergehende Initiativen bis hin zu einer Mars-Kolonie – teils enthusiastisch kommentiert, teils als völlig unrealistisch abgetan. Befürworter wie der amerikanische Unternehmer Elon Musk führen an, dass wir mittelfristig in der Lage sein müssen, im Fall einer globalen Katastrophe auf einen anderen Planeten auszuweichen (was auch der bekannte Physiker Stephen Hawking so sieht). Kritiker halten das im wörtlichen Sinne für weltfremd und mahnen dazu, die erforderlichen Mittel eher zur Lösung unserer irdischen Probleme einzusetzen. Ohne diesen Streit hier entscheiden zu können, gibt doch eine Äußerung von Buzz Aldrin, dem „zweiten Mann auf dem Mond“, zumindest Anlass zum Nachdenken: Ihm zufolge besteht der Unterschied zwischen Dinosauriern und Menschen darin, dass wir in der Lage sind möglichen Gefahren auszuweichen ...

Asteroiden sind aus mehreren Gründen interessant. Einer davon ist richtig brisant. Denn sie stellen eine ernstzunehmende Bedrohung für die Erde dar: Es gibt Tausende dieser felsigen Himmelskörper, die gelegentlich die Bahn der Erde kreuzen und unserem Planeten recht nahe kommen. Kleinere Exemplare treffen übrigens tagtäglich die Erde, wobei sie jedoch meist in der Atmosphäre verglühen. Falls sich uns aber eines Tages ein größerer Asteroid auf Crashkurs nähert, sollten wir bis dahin „Abwehrstrategien“ parat haben. Dazu gibt es verschiedene Konzepte: etwa indem man den Asteroiden durch unbemannte Sonden vom Kurs ablenkt oder gar zerstört. Dafür aber muss man die Zusammensetzung solcher Himmelskörper sehr genau kennen. Genau das könnte die Aufgabe einer bemannten Mission zu einem Asteroiden sein.

Welches dieser Szenarien wann realisiert wird, steht noch nicht fest. Wir befassen uns hier abschließend ganz spielerisch mit der Vision einer Mondstation – quasi als Ausblick in die ferne Zukunft. Bei solchen Planungen werden auch Astronauten einbezogen; und da sind Ihre Schülerinnen und Schüler ja inzwischen die idealen Fachleute! In einem Kreativspiel stellen die Kinder dazu Überlegungen an und basteln eine Mondbasis. Sie kann beispielsweise aus Lego-Steinen bestehen oder den unten stehenden Anregungen folgend aus Alltagsgegenständen gebaut werden. Zuvor aber zur Einstimmung eine andere Übung, die einige grundlegende Kenntnisse über Mond und Mars vermittelt – vielleicht auch mit einem faszinierenden Blick in den Nachthimmel verbunden.

Experimente und Übungen

Aufgabe 43: Mond und Mars auf dem Sportplatz und am Nachthimmel!

Wenn es um den Mond oder auch Planeten wie den Mars geht, sollten Sie den Schülerinnen und Schülern vorab einige grundlegende Informationen zu diesen Himmelskörpern vermitteln. Das kann mit einer kleinen Mitmach-Übung und eventuell mit dem Erlebnis einer nächtlichen Beobachtungstour kombiniert werden. Auf der rechten Seite farbig unterlegt zunächst die wichtigsten „Basis-Infos“.

Mit den Angaben zu Größen und Entfernungen können Kinder wenig anfangen. Aber mit einfachen Hilfsmitteln lassen sich die Dimensionen gut veranschaulichen: Für den Größenvergleich legen Sie zunächst drei kleine Papierkugeln nebeneinander, die etwa 1,2 cm (Erde), 0,6 cm (Mars) und 0,3 cm (Mond) Durchmesser haben. Erläutern Sie, dass wir in diesem Modell die riesige Erde und auch den Mars und den Mond „geschrumpft“ haben und so tun, als wären diese Himmelskörper so winzig wie diese Papierkugelchen. Wie weit sind diese drei Himmelskörper wohl in diesem verkleinerten Maßstab voneinander entfernt? Das schauen wir uns auf einem Fußballfeld an! Denn wenn man diese Kugeln – obwohl sie schon recht klein sind – in die maßstabsgerechte Entfernung bringen will, ist viel Platz nötig: Die kleine Mondkugel ist zwar nur knapp einen halben Meter (40 cm) von der Erde entfernt, der Mars aber stolze 60 Meter! Damit man die Papierkugeln und ihre Positionen überhaupt erkennen kann, sollten sie natürlich von Kindern hochgehalten werden. Alle staunen: So weit ist der Mars von uns entfernt!

Zur Didaktik

- Die Kinder eignen sich Grundlagenwissen über Mond und Mars an.
- Die Schülerinnen und Schüler entwickeln eigene Ideen und leben so ihre Kreativität und Phantasie aus.
- Die Kinder schulen ihr logisches Denken und entfalten ihr künstlerisches und handwerkliches Geschick.

Mond:

Der Mond umkreist die Erde in ca. 400 000 Kilometern Entfernung (Zahl stark gerundet). Astronauten benötigen für diese Strecke nur etwa vier Tage.

Der Mond ist mit ca. 3500 Kilometern Durchmesser deutlich kleiner als unser Planet (mehr als 12 000 Kilometer). Er hat auch weniger Masse (etwa 80 Monde würden der Masse der Erde entsprechen) und daher weniger Anziehungskraft: Sie beträgt nur ein Sechstel des irdischen Werts. Außerdem ist noch wichtig zu wissen, dass der Mond keinerlei Atmosphäre besitzt.

Mars:

Mit einem Durchmesser von ca. 6800 Kilometern ist der Mars etwa halb so groß wie die Erde. Er ist ein „Wüstenplanet“ und hat nur eine extrem dünne Atmosphäre, in der Menschen nicht atmen können. Wie die Erde und die anderen Planeten umkreist der Mars die Sonne. Da er weiter von ihr entfernt ist als die Erde, ist seine Bahn deutlich länger. Er braucht daher für eine Umrundung der Sonne etwa doppelt so lange. Wir überholen den Mars also immer wieder auf der „Innenbahn“. Das führt dazu, dass sich Erde und Mars manchmal auf derselben Seite der Sonne befinden (die geringste Distanz zwischen beiden Planeten beträgt dann ca. 60 Millionen Kilometer), manchmal aber auch auf den gegenüberliegenden Seiten der Sonne. Deshalb kann man nicht zu beliebigen Zeiten zum Mars oder von dort zurück zur Erde fliegen, sondern muss für Hin- und Rückflug eine günstige Konstellation beider Planeten abwarten. Insgesamt würde eine Mars-Mission mindestens zwei Jahre dauern.

An diese Übung kann sich das faszinierende Erlebnis einer nächtlichen Beobachtung des Sternenhimmels anschließen, bei der am besten einige Eltern als Betreuer mitwirken. Vielleicht bringen die Erwachsenen auch Ferngläser oder sogar ein Teleskop mit oder Sie fragen bei einer Sternwarte oder einem Astronomie-Verein in der Nähe an. Dort erhalten Sie auch Auskunft, wann Mond und Mars (sowie andere Himmelskörper) am besten zu sehen sind.

Es gibt auch eine Reihe von Apps, die eine Orientierung am Sternenhimmel erleichtern – darunter auch von DLR_next, dem Jugendportal des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt. Und bedenken Sie, dass Sie abseits der Stadtlichter deutlich mehr Sterne sehen: Von Taschenlampen abgesehen, die den Weg ausleuchten, sollte es möglichst wenige Lichtquellen in der Nähe geben.

Aufgabe 44: Wir bauen ein „Dorf“ auf dem Mond

Und so geht's:

Am Beispiel der Internationalen Raumstation haben wir schon viele „Zutaten“ kennengelernt, die man auch für eine Mondbasis benötigt: Die einzelnen „Häuser“ sind ähnlich wie im Falle der ISS einzelne Module, die im Modell aus weiß angemalten Getränkedosen bestehen können und eventuell auf Stelzen (Strohhalmen) stehen. Am besten platziert man sie wie alle anderen Elemente auf einer festen Holz- bzw. Spanplatte, die je nach Aufwand mit Gips zu einer Mondlandschaft gestaltet werden kann.

Materialien

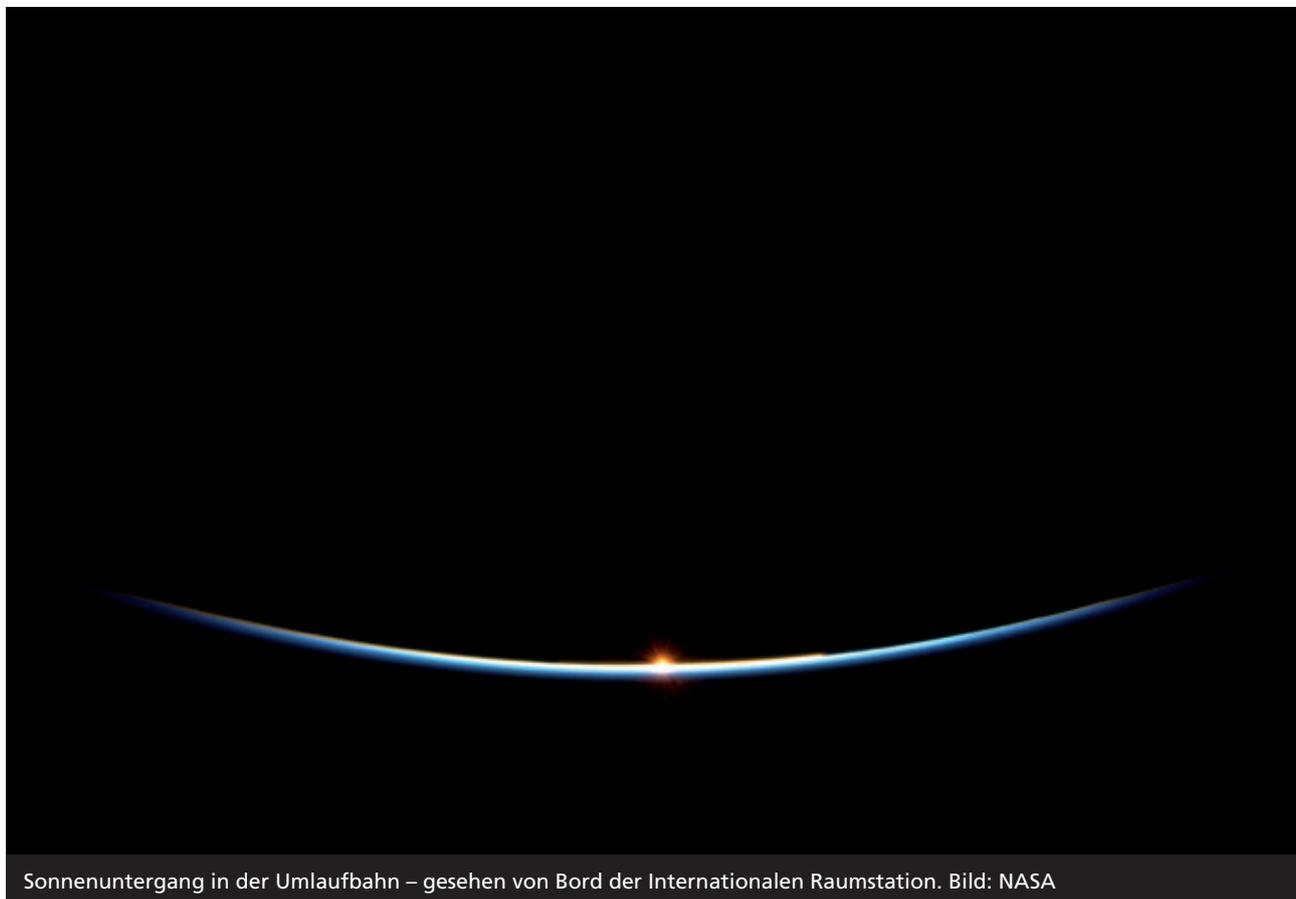
- Getränkedosen
- andere Verpackungsmaterialien aus Supermärkten etc.
- Bastel-Utensilien:
 - Scheren,
 - Kleber,
 - Klebeband,
 - Farbe etc.
- weitere „Zutaten“ nach Wahl:
 - Kabel,
 - Alufolie etc.
- 1 Holzplatte als Unterlage, ggf. mit Gips zu einer Mondlandschaft modelliert

Hier einige weitere Anregungen: Sonnenenergie gibt es auf dem Mond im Überfluss; also müssen Solaranlagen her, die man aus Pappe und Alufolie basteln kann. Für die Nächte werden natürlich Speicher benötigt, um den Strom auch bei Dunkelheit zu nutzen. Das können kleine Schachteln sein, die mit den Solaranlagen durch Kabel verbunden sind.

Gewächshäuser für frische Nahrung und Module mit Aussicht auf die Sterne muss es natürlich auch geben! Die Glasscheiben können im Modell z. B. aus transparenten Lebensmittel-Verpackungen aus dem Supermarkt oder aus Frischhaltefolie hergestellt werden. Natürlich muss eine Mondstation in unmittelbarer Nähe eine Startbasis und auch einen Landeplatz für Raumschiffe haben, mit entsprechenden Transportmitteln für Astronauten und Fracht.

Diese wenigen Anregungen mögen hier genügen. Darüber hinaus können die Kinder ihrer Phantasie freien Lauf lassen. Und wer weiß? Vielleicht erleben Ihre jungen „Astronauten“ ja noch, wie aus der Vision eines fernen Tages Wirklichkeit wird.

Wir sind damit auf unserer Reise ins All in der Zukunft angekommen und hoffen, dass Sie und Ihre Schülerinnen und Schüler unterwegs viele interessante Erlebnisse, Eindrücke und auch viel Wissen „gesammelt“ haben – und bei all dem auch Spaß hatten! Denn damit lernt es sich bekanntlich leichter. So schließen wir mit einem berühmten Zitat des Schriftstellers und Piloten Antoine de Saint-Exupéry: „Wenn Du ein Schiff bauen willst, dann trommle nicht Männer zusammen um Holz zu beschaffen, Aufgaben zu vergeben und die Arbeit einzuteilen, sondern lehre die Männer die Sehnsucht nach dem weiten, endlosen Meer.“ Der Spruch gilt übrigens erstens nicht nur für Männer und zweitens nicht nur für Schiffe, sondern zum Beispiel auch für Raumschiffe ...



An diesem Heft haben folgende Partnereinrichtungen mitgewirkt:

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)



Das DLR ist das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Neben seinen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit ist das DLR im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zudem sind im DLR zwei Projektträger zur Forschungsförderung angesiedelt.

In enger Abstimmung mit der Europäischen Weltraum-Organisation ESA ist das DLR auf mehrfache Weise an der Internationalen Raumstation *ISS* und der Mission des deutschen ESA-Astronauten Alexander Gerst beteiligt – von wissenschaftlichen Experimenten bis zur Projektbetreuung auf deutscher Seite.

Das vorliegende Heft entstand auf Initiative des DLR, das sich auch in der Nachwuchsförderung besonders engagiert. So basieren viele der hier vorgeschlagenen Unterrichts-Experimente auf ähnlichen Mitmach-Versuchen aus den Schülerlaboren des DLR. Über diese sogenannten *DLR_School_Labs* hinaus, die insgesamt jährlich etwa 40 000 Kinder und Jugendliche mit der „Faszination Forschung“ bekannt machen, führt das DLR zahlreiche andere Maßnahmen für Schulen durch. Dazu zählen Ideenwettbewerbe, Informations-Veranstaltungen einschließlich Lehrer-Workshops, ein Webportal für junge Leute namens *DLR_next* – siehe www.DLR.de/next – und Unterrichtsmaterialien aus der Reihe *DLR_School_Info*, in der auch dieses Heft erscheint.

Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG)



Die Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V. (DPG) ist für alle da: ob Studierende, Forschende, Schülerinnen und Schüler, Lehrerinnen und Lehrer, Nobelpreisträger, in der Industrie Tätige oder einfach an Physik Interessierte. Die DPG versteht sich als Bindeglied, Sprachrohr und Kommunikationsplattform von Menschen, die Freude an der Physik haben. Gemeinsam vereinen sich alle zur größten physikalischen Fachgesellschaft weltweit, die als gemeinnütziger Verein keine wirtschaftlichen Interessen verfolgt. Die DPG engagiert sich besonders im Schulbereich und in der Lehrerbildung – und widmet sich auch der Politikberatung. Besonders eng kooperiert die DPG mit der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung. Weitere Informationen unter www.dpg-physik.de.

Stiftung Jugend forscht e. V.



Jugend forscht ist Deutschlands bekanntester Nachwuchswettbewerb. Ziel der gemeinsamen Initiative von Bundesregierung, stern, Wirtschaft, Wissenschaft und Schulen ist es, Jugendliche langfristig für Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT) zu begeistern, Talente zu fördern und über den Wettbewerb hinaus in ihrer beruflichen Orientierung zu unterstützen. Teilnehmen können junge Menschen bis zum Alter von 21 Jahren. Jüngere Schülerinnen und Schüler, die mitmachen wollen, müssen im Anmeldejahr mindestens die 4. Klasse besuchen. Die Wettbewerbsteilnehmer suchen sich selbst eine interessante Fragestellung, die sie mit naturwissenschaftlichen, technischen oder mathematischen Methoden bearbeiten. Den Gewinnern winken hochwertige Geld- und Sachpreise sowie Praktika, Studienaufenthalte und die Teilnahme an internationalen Wettbewerben. Das Jugend forscht Netzwerk wirkt im engen Verbund mit Schule, Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Medien. Schirmherr von Jugend forscht ist der Bundespräsident. Kuratoriumsvorsitzende der Stiftung Jugend forscht e. V. ist die Bundesministerin für Bildung und Forschung. Rund 250 Partner aus Wirtschaft und Wissenschaft richten die Wettbewerbe aus, stiften Preise und fördern weitere Aktivitäten. Weitere Informationen unter www.jugend-forscht.de.

Klett MINT



Klett MINT ist eine der führenden Agenturen für Bildungskommunikation in Deutschland und als Mitglied der Klett Gruppe Teil des größten deutschen Bildungsunternehmens. Ein begeistertes Team aus Pädagogen, Marketing- und Medienexperten entwickelt didaktisch fundierte und praxiserprobte Formate für den Unterricht im Auftrag von Unternehmen, Stiftungen, Verbänden und Behörden. Zum Leistungsspektrum zählen neben der Erstellung von Materialien auch Beratung sowie die Vermarktung in Form von Veranstaltungen und Kampagnen.

Durch die enge Zusammenarbeit mit Ingenieuren, Wissenschaftlern oder Pionieren der digitalen Bildung tragen die Projekte von Klett MINT zu einem modernen, von Faszination getragenen Unterricht bei und sorgen dafür, dass wichtige Zukunftsthemen erfolgreich an Schülerinnen und Schüler vermittelt werden können. Dabei entstehen einzigartige Verbindungen zwischen Schulunterricht und dem „echten Leben“.

Schon seit Längerem unterstützt Klett MINT das DLR bei der Erstellung von Unterrichtsmaterialien. Daneben betreut Klett MINT das Format mikromakromint der Baden-Württemberg Stiftung. Dieses Programm unterstützt Schülergruppen beim freien Forschen an schulischen und außerschulischen Lernorten und ermöglicht Schülerinnen und Schülern alljährlich die Durchführung von Gewässerprojekten auf dem Bodensee an Bord des Forschungsschiffes Aldebaran. Als langjähriger Partner der Initiative Genius sowie als Begründer des Formats #excitingEDU zur digitalen Bildung steht Klett MINT unter anderem für Innovationen im Bereich des anwendungsbezogenen Unterrichts.



DLR

Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages