



## Forschung in Schwerelosigkeit

Die Raumfahrt stellt eine enorme technische Herausforderung dar: Leistungsstarke Raketen sind nötig, um überhaupt ins All zu gelangen. Und auch der Aufenthalt im Weltraum selbst ist nur durch anspruchsvolle Technik möglich, denn dort herrschen lebensfeindliche Bedingungen: keine Luft zum Atmen, gefährliche Strahlung, extreme Temperaturen. Trotzdem fliegen Menschen ins All. Erst dauerten die Flüge rund um die Erde nur kurze Zeit, dann landeten Astronauten sogar auf dem Mond. Heute ist die Internationale Raumstation ISS (International Space Station) das Ziel: Regelmäßig fliegen Raumfahrer dorthin und bleiben mehrere Monate an Bord.

Doch warum tun wir Menschen das? Was treibt uns an? Auf diese Fragen gibt es unterschiedliche Antworten. Für manche ist der Flug ins All eines der letzten großen Abenteuer. Andere weisen auf die Bedeutung der Forschung in Schwerelosigkeit hin, die mit ihren Ergebnissen auch dem Leben auf der Erde dient. Oft hört man auch das Argument, dass bei einem Projekt wie der ISS viele Länder friedlich zusammenarbeiten, was der internationalen Verständigung dient. All das spielt sicher eine Rolle. Doch der entscheidende Grund ist vielleicht etwas, das den Menschen schon immer angetrieben hat: die Erkundung des Unbekannten und die Erweiterung unseres Horizonts. Ob man den Weltraum und die Schwerelosigkeit nutzt, um dort zu experimentieren, oder ob man zu anderen Himmelskörpern wie früher zum Mond oder eines Tages zum Mars aufbricht: Immer geht es darum, Neues zu entdecken.

# 1. Die Internationale Raumstation


## Inhalt

1. Die Internationale Raumstation .....	2
2. Alltag im All .....	8
3. Manchmal werden Träume wahr! .....	20
4. Technik – an Bord und am Boden .....	30
5. Forschung auf der ISS .....	40
6. Spannende Mitmach-Experimente .....	48
7. Wohin geht die Reise? .....	54
8. Berufe in der Raumfahrt .....	58



In diesem Heft lernst du die Internationale Raumstation näher kennen – die Technik an Bord und die spannenden Fragen der Forschung, die man mit Hilfe der Experimente in Schwerelosigkeit beantworten will. Und du kannst in Gedanken die Astronauten wie Alexander Gerst (Bild) auf ihrem Flug zur ISS begleiten. Du erfährst, wie sie ins All starten, was sie auf der Station arbeiten und erleben. Bist du bereit zum Abheben?

Die ISS ist zweifellos eine technische Meisterleistung. Hoch über der Erde schafft sie einen sicheren und relativ komfortablen Ort, damit mehrere Menschen gleichzeitig eine große Zahl wissenschaftlicher Experimente durchführen können. Mit ihren Solarpanelen hat die ISS ungefähr die Dimensionen eines Fußballfelds. Sie ist die größte Raumstation, die jemals gebaut wurde – so groß und schwer, dass man sie nicht als Ganzes in eine Umlaufbahn um die Erde bringen konnte. Daher mussten die Planer die ISS so konzipieren, dass sich die einzelnen Module nach und nach im Weltraum zusammensetzen ließen. Das erste ISS-Modul, genannt „Sarja“, startete im November 1998 mit einer russischen Rakete. Bis zur Fertigstellung der Raumstation vergingen dann 13 Jahre: Erst im Jahr 2011 war sie komplett, wenn man von einigen kleineren Erweiterungen absieht. Insgesamt waren weit über 100 Flüge zum Aufbau der ISS nötig: rund zwei Drittel mit russischen Raketen, etwa ein Drittel mit amerikanischen Space Shuttles, die bis zu 16 Tonnen Fracht transportieren konnten.



Menschen betraten die ISS erstmals zwei Jahre nach dem Start des ersten Moduls. Erst dann war die Raumstation so weit aufgebaut, dass man dort arbeiten konnte. Die ersten drei Raumfahrer blieben dort von November 2000 bis März 2001. In dieser frühen Phase musste die Crew vor allem die Raumstation weiter ausbauen – wie beim Bau eines Hauses auf der Erde. Trotz Automatisierung und Robotik waren viele Handgriffe nötig, um zum Beispiel Geräte und Computer in Betrieb zu nehmen. Das gilt auch für die Außenbordarbeiten: Mehr als 1.000 Stunden verbrachten Astronauten und Kosmonauten insgesamt während dieser „Spacewalks“ im All: Sie schlossen Kabel und Leitungen an und montierten zusätzliche Komponenten wie etwa Antennen. Inzwischen sind in der Regel sechs Crew-Mitglieder an Bord der ISS, von denen dann immer drei gemeinsam zur Erde zurückkehren, damit drei neue folgen können. So gibt es immer drei Raumfahrer, die bereits mit der aktuellen Arbeit auf der ISS vertraut sind.

### ► Schon gewusst?

#### Viele Länder machen mit

An der ISS sind viele Länder beteiligt – ein weltweites Technologie-Projekt! Dazu gehören die USA, Russland, Kanada, Japan und auch viele europäische Staaten, wobei sich Deutschland hier innerhalb der ESA besonders engagiert. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) ist in vielfältiger Weise an der ISS beteiligt: Als Raumfahrtagentur koordiniert es die Beiträge aus unserem Land und vertritt Deutschland auch innerhalb der ESA; darüber hinaus steuern DLR-Institute auch wissenschaftliche Experimente bei, die auf der ISS ausgeführt werden.

Der Blick aus der Internationalen Raumstation ISS auf die Erde. Hier sorgt die lange Belichtungszeit dafür, dass die Lichter der Städte zu Linien in die Länge gezogen werden. Man erkennt auch Gewitter und die Leuchtspuren von Sternen. Außerdem strahlen auf diesem Foto grüne Polarlichter. Bild: NASA, Don Pettit

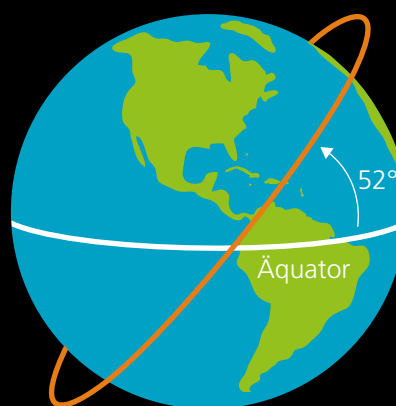
Auch Europa ist an der ISS beteiligt. Wichtige Beiträge der Europäischen Weltraumorganisation ESA sind vor allem das Modul Columbus und der Weltraumfrachter ATV (Automated Transfer Vehicle). Columbus ist ein Hightech-Labor für wissenschaftliche Experimente. Hier forschen die Astronauten auf den Gebieten Materialwissenschaften, Physik, Medizin

und Biologie. Mehrfach brachten ATV-Frachtschiffe Nachschub zur ISS, bis das Programm wie geplant beendet wurde. Auf diese Art leistete Europa seinen vertraglich vereinbarten Beitrag zum Betrieb der Raumstation. Jetzt wird das Know-how, das man dabei gewonnen hat, für die Entwicklung künftiger Raumtransporter genutzt.

## ► Finde es heraus!

### Wie die ISS um die Erde fliegt

Die Bahn der ISS um die Erde kannst du dir wie einen Ring um unseren Planeten vorstellen. Dieser gedachte Ring liegt aber nicht genau über dem Äquator, sondern leicht schräg „gekippt“ – nämlich um rund 52 Grad zum Äquator geneigt.



Überleg mal: Welche Gebiete werden dadurch von der ISS überflogen und welche nicht? Und warum sieht es auf der Weltkarte, die auch in den Kontrollzentren zu sehen ist, so aus, als ob die Bahn der ISS in großen Kurven um die Erde führt? Die Grafik zeigt auch: Die Bahn der ISS um die Erde verschiebt sich von Orbit zu Orbit. Kannst du den Grund dafür herausfinden?



Eine sensationelle Aufnahme der ISS direkt vor der Sonne! Aber Achtung: Solche Bilder darf man nur mit Spezialfiltern machen! Sonst ist schnell der Fotoapparat kaputt! Und beim Thema Sonne gilt natürlich auch: Nie mit Kameras oder Ferngläsern in die Sonne blicken! Das kann die Augen schädigen! Bild: DLR, Rolf Hempel

**Tipp:** Die ISS könnt ihr manchmal sogar von hier unten aus sehen! Mit bloßem Auge – also ohne Fernglas oder Teleskop! Das klappt allerdings nur, wenn die ISS hoch über der Erde von der Sonne angestrahlt wird und der Himmel dahinter dunkel ist – also früh morgens oder in den Abendstunden. Dann leuchtet die ISS wie ein sehr heller Stern und zieht innerhalb weniger Minuten über den Himmel. Sie kommt dabei immer aus westlichen Richtungen. Fliegt die ISS dagegen am hellen Tag oder tief in der Nacht über eine Region der Erde, sieht man sie von dort aus nicht. Wann man die ISS sehen kann, zeigt eine kostenlose App von DLR\_next an. Ihr könnt die ISS auch fotografieren. Besonders schön sehen dabei Langzeitbelichtungen aus: Wenn man die Kamera auf einem Stativ so einstellt, dass sie eine Minute oder auch länger belichtet, hinterlässt die ISS einen hellen Strich auf dem Bild. Das wirkt vor allem dann toll, wenn im Bild auch noch etwas anderes zu sehen ist – Bäume, Häuser oder etwa ein Kirchturm. Führt doch mal in eurer Schule einen ganz außergewöhnlichen Fotowettbewerb durch: Wer macht das schönste Foto von der ISS?



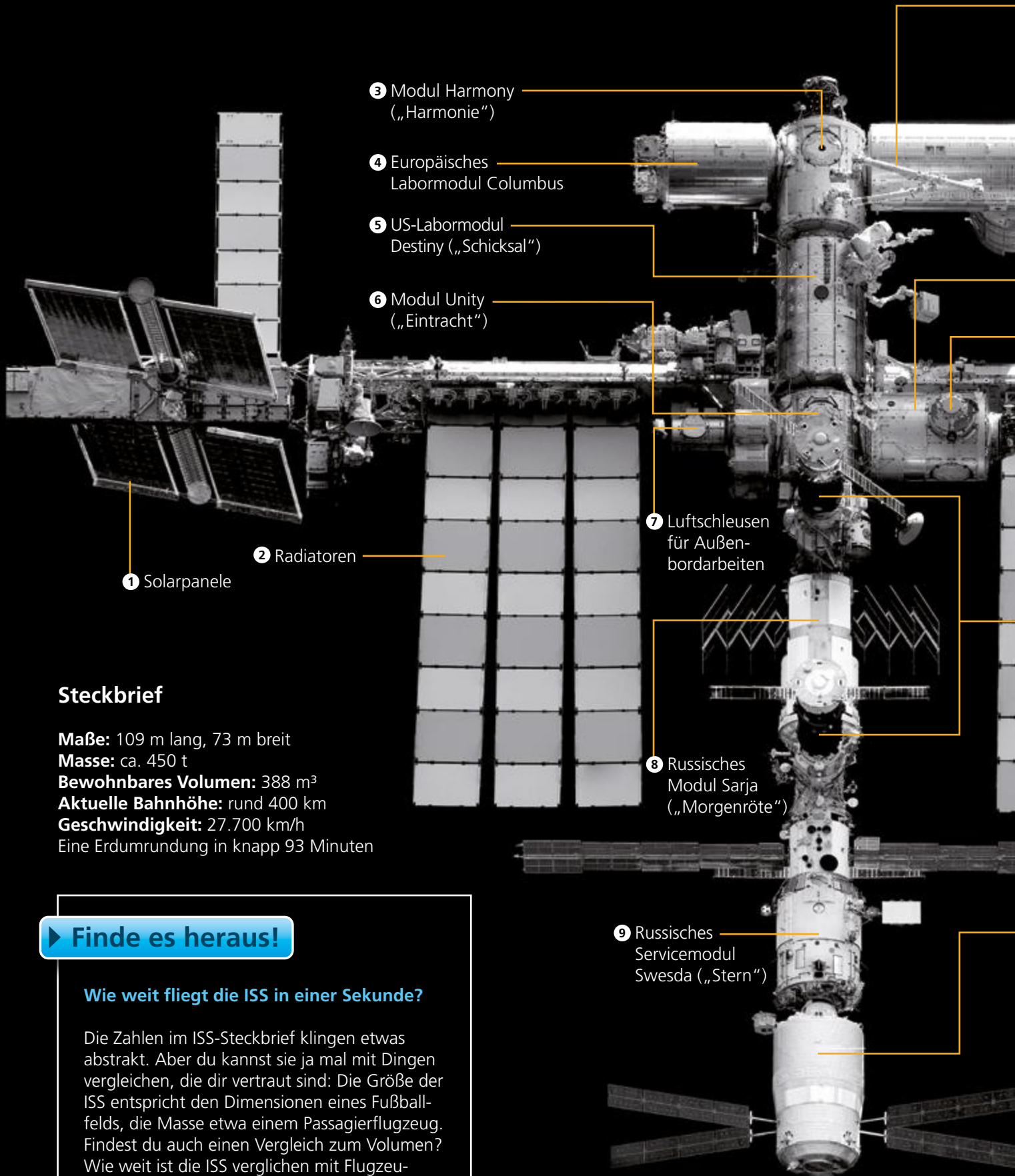
Bei einer Minute Belichtungszeit zeichnet sich die ISS als Streifen am Himmel ab. Bild: DLR, K.-A.

## ► Schon gewusst?

### „Luftwiderstand“ im Orbit

Die Bahnhöhe der ISS sinkt kontinuierlich ab, während die Station die Erde umrundet. Schuld daran ist die Erdatmosphäre: Sie ist zwar dort oben extrem dünn, aber selbst dieser minimale „Luftwiderstand“ bremst die ISS ab. Pro Woche macht das immerhin einen Kilometer aus! Daher muss die Raumstation regelmäßig mit dem rest-

lichen Treibstoff angehoben werden, den Versorgungsfrachter wie das europäische ATV oder der russische „Progress“ nach dem Andocken noch an Bord haben. Die Raumstation besitzt auch eigene Treibstoffvorräte, um außerplanmäßige Ausweichmanöver fliegen zu können: Droht zum Beispiel ein Stück Weltraumschrott der ISS gefährlich nahezukommen, ändert sie vorsorglich ihre Bahnhöhe.



3 Modul Harmony („Harmonie“)

4 Europäisches Labormodul Columbus

5 US-Labormodul Destiny („Schicksal“)

6 Modul Unity („Eintracht“)

1 Solarpanele

2 Radiatoren

7 Luftschleusen für Außenbordarbeiten

8 Russisches Modul Sarja („Morgenröte“)

9 Russisches Servicemodul Swesda („Stern“)

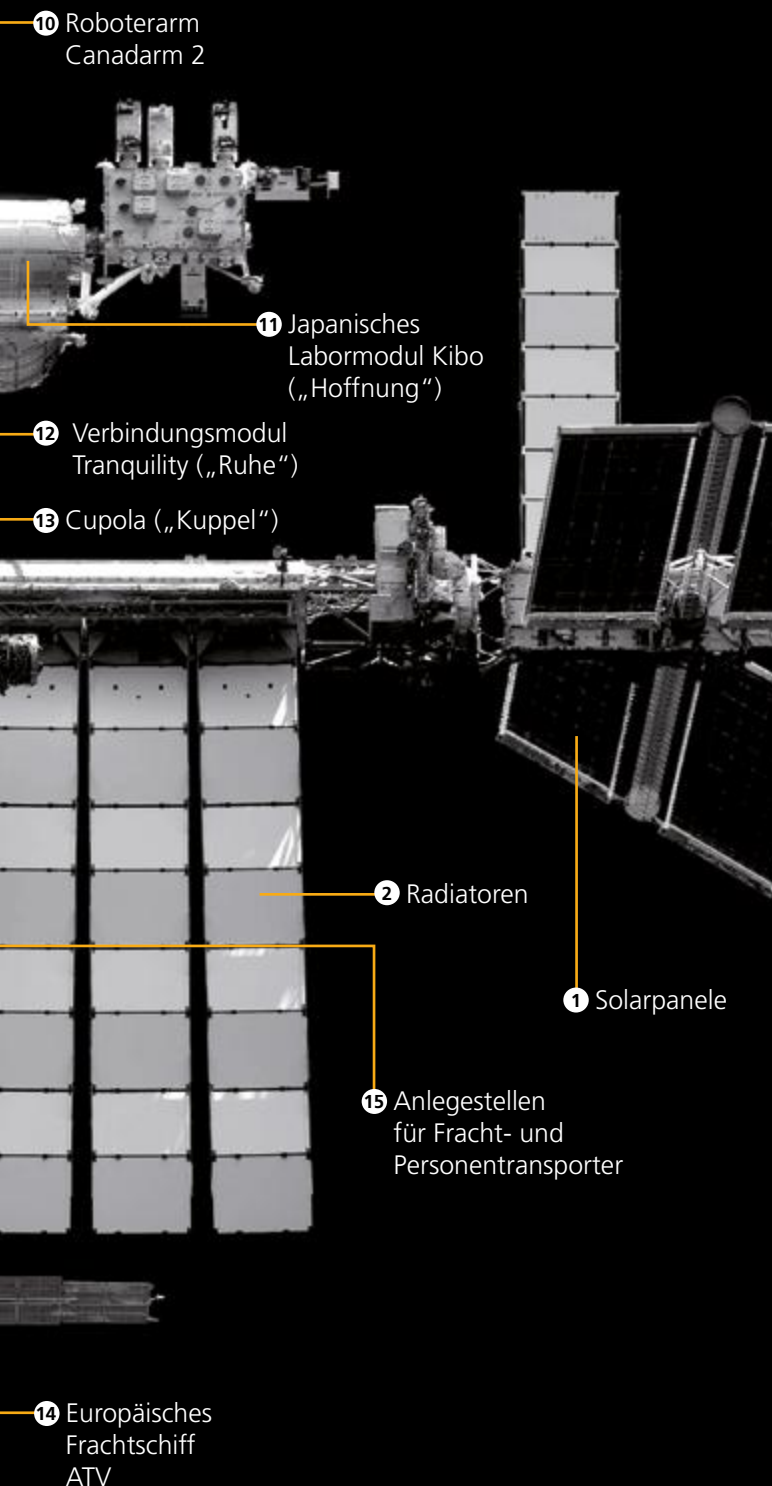
### Steckbrief

- Maße:** 109 m lang, 73 m breit
- Masse:** ca. 450 t
- Bewohnbares Volumen:** 388 m<sup>3</sup>
- Aktuelle Bahnhöhe:** rund 400 km
- Geschwindigkeit:** 27.700 km/h
- Eine Erdumrundung in knapp 93 Minuten

### ► Finde es heraus!

#### Wie weit fliegt die ISS in einer Sekunde?

Die Zahlen im ISS-Steckbrief klingen etwas abstrakt. Aber du kannst sie ja mal mit Dingen vergleichen, die dir vertraut sind: Die Größe der ISS entspricht den Dimensionen eines Fußballfelds, die Masse etwa einem Passagierflugzeug. Findest du auch einen Vergleich zum Volumen? Wie weit ist die ISS verglichen mit Flugzeugen, Satelliten oder dem Mond von der Erde entfernt? Welche Strecke legt sie pro Sekunde zurück? Und wie lange braucht die ISS über den Atlantik?



- 1 **Acht Solarpaneele**, die jeweils aus zwei Elementen mit Solarzellen aufgebaut sind, versorgen die ISS mit elektrischer Energie. Jedes der acht Elemente lässt sich individuell ausrichten und ist je 35 m lang und 12 m breit.
- 2 **Radiatoren**, die die überschüssige Wärme der Raumstation ins All abstrahlen.
- 3 **Das Modul Harmony („Harmonie“)** verbindet die drei Module Columbus, Kibo und Destiny miteinander. Über Harmony werden die drei angeschlossenen Wissenschaftsmodule mit Strom, Wasser und Luft versorgt.
- 4 **Europäisches Labormodul Columbus**
- 5 **US-amerikanisches Labormodul Destiny („Schicksal“)**
- 6 **Das Modul Unity („Eintracht“)** verbindet den amerikanischen mit dem russischen Teil der Station.
- 7 **Luftschleusen für Außenbordarbeiten:** Eine befindet sich am Modul Unity („der amerikanische Ausgang“), die andere am Modul Swesda („der russische Ausgang“). Dort sind auch jeweils die Raumanzüge für die Astronauten untergebracht.
- 8 **Russisches Lager- und Funktionsmodul Sarja („Morgenröte“):** Anfangs steuerte es die Energieversorgung, Lageregelung und Klimaanlage der Station. Inzwischen dient es als Treibstoffspeicher und Lagerraum.
- 9 **Russisches Servicemodul Swesda („Stern“):** Hier sind die Küche, Wohnkabinen, Toilette und Trainingsgeräte untergebracht. Außerdem befinden sich hier Steuereinrichtungen und die lebenserhaltenden Systeme für die Station.
- 10 **Roboterarm Canadarm 2**
- 11 **Japanisches Labormodul Kibo („Hoffnung“)**
- 12 **Verbindungsmodul Tranquility („Ruhe“):** Hier sind die Lebenserhaltungssysteme untergebracht, unter anderem zur Sauerstoffproduktion und zur Abwasseraufbereitung.
- 13 **Cupola („Kuppel“):** Dieser kleine Raum mit vielen Fenstern ist auf der erd zugewandten Seite der ISS angebracht. Die Crew hat von hier aus einen Rundumblick auf die Erde. Von der Cupola lässt sich der kanadische Roboterarm steuern.
- 14 **Europäisches Frachtschiff ATV**
- 15 **Anlegestellen für Raumschiffe:** Insgesamt gibt es davon neun an verschiedenen Stellen.

## 2. Alltag im All

Auf der ISS herrscht Schwerelosigkeit – eine verrückte Welt, in der es kein „Leicht“ und „Schwer“ und kein „Oben“ und „Unten“ gibt. Lässt man zum Beispiel einen Stift los, fällt er nicht zu Boden, sondern schwebt durch den Raum. Und wenn man sich dreht und die Beine Richtung Decke zeigen, ist es reine Ansichtssache, ob man selbst oder der Kollege nebenan auf dem Kopf steht ... Wegen der Schwerelosigkeit läuft vieles auf der ISS ganz anders ab als auf der Erde. Das beginnt beim morgendlichen „Gang“ ins Bad, geht weiter beim Frühstück und bei den täglichen Arbeiten an Bord bis hin zum Sport und Schlafen.



### ► Finde es heraus!

#### Wer dreht sich?

Stell dir vor, du schwebst in der ISS. In der Hand hältst du einen Schraubenzieher, weil du eine Schraube lösen musst, die sich da an einem Gerät an der Wand verklemmt hat. Was passiert, wenn du nun die Schraube drehst, ohne dich irgendwo festzuhalten? Und warum?





Wer steht hier auf dem Kopf? Claude Nicollier aus der Schweiz (links) und Jean-François Clervoy aus Frankreich – zwei ESA-Astronauten, die zusammen im All waren.  
Bild: NASA



Getrunken wird mit Strohalm – wie es hier die französische ESA-Astronautin Claudie Haigneré zeigt. Sonst würden sich unzählige Tropfen sofort selbständig machen.  
Bild: ESA

Eine Dusche oder einen Wasserhahn wird man auf der ISS vergeblich suchen. Denn jede frei bewegliche Flüssigkeit würde in der Schwerelosigkeit in einzelne Tropfen zerfallen, die dann durch die Raumstation schweben und angesichts vieler elektrischer Geräte sogar gefährlich werden könnten. Daher waschen sich Astronauten mit feuchten Handtüchern – und beim Zähneputzen wird nichts einfach ausgespuckt, sondern in ein Tuch entsorgt.

Das Essen befindet sich in Konservendosen, Aluverpackungen oder Kunststoffbeutel. Die Nahrungsmittel sind so länger haltbar gemacht, also zum Beispiel gefriergetrocknet. Jeder Astronaut darf sich übrigens vor seinem Start zur ISS das Essen aus über 100 Standardgerichten individuell zusammenstellen. Frisches Obst kommt allerdings nur auf den Tisch, wenn ein Versorgungsschiff angelegt hat. Apropos Tisch: Der ist so konstruiert, dass man sich mit den Füßen darunter am Boden einhaken kann – und für Besteck und Teller sind auf der Tischplatte Halterungen angebracht.

## ► Probier's mal aus!

### Der freie Fall des Wassertropfens

Beobachtet mal einen Wassertropfen, wenn er zu Hause vom Wasserhahn ins Waschbecken fällt. Da das recht schnell passiert, filmt ihr das besser – etwa mit der Videokamera eines Smartphones. Haltet den kleinen Film dann beim Betrachten immer wieder mal an. Welche Form hat der Tropfen, wenn er noch am Wasserhahn hängt? Und wie sieht er in der Flugphase aus? Diskutiert die Beobachtungen mit eurer Lehrkraft.

Betten gibt es auf der Raumstation keine. Stattdessen Schlafsäcke, die an der Wand befestigt sind, damit die Astronauten nachts nicht durch die ISS treiben. Schlafen in der Schwerelosigkeit sieht kurios aus: Entspannt sich der Körper, sind die Arme wie bei einem Schlafwandler ausgestreckt. Offenbar ist das für die Muskulatur besonders entlastend.

Da die ISS die Erde in ca. 90 Minuten umrundet, geht für die Astronauten während eines irdischen 24-Stunden-Tages 16 Mal die Sonne auf und wieder unter. Die verbindliche Uhrzeit an Bord ist die Greenwich Mean Time (Weltzeit) – also die Zeit, die auf der geografischen Länge von London gilt. Unsere MEZ in Deutschland ist daher der ISS-Uhr eine Stunde voraus. Wenn du also morgens zur Schule gehst, macht sich die ISS-Crew gerade für den Tag im All fertig.



Der belgische ESA-Astronaut Frank De Winne arbeitet an einem Experiment. Bild: ESA

Für die Crew-Mitglieder ist die Zeit während des Aufenthalts auf der ISS weitgehend verplant – sieben Tage in der Woche. Detaillierte Zeitpläne regeln, wann jemand welche Arbeiten auszuführen hat, wann Sport getrieben wird und wann man isst. Selbst die Zeit zum Ausruhen ist genau vorgeschrieben: So wird



vermieden, dass da oben eine überarbeitete Crew im Stress Fehler macht. Alles ist genau durchgetaktet, damit sich die sechs Besatzungsmitglieder nicht gegenseitig behindern oder etwa wissenschaftliche Experimente stören. Zwischen 21.30 Uhr und 6.00 Uhr herrscht Nachtruhe – und zwar für alle. Es gibt keinen Schichtdienst auf der ISS und niemanden, der nachts „Wache“ halten würde. Der Tag beginnt mit einigen kurzen Routineaufgaben, der Morgentoilette und einem gemeinsamen Frühstück. Dann findet eine Planungskonferenz statt, zu der auch die Kontrollzentren zugeschaltet sind. Dabei wird nochmals der Zeitplan für den Tag besprochen. Anschließend erledigen die Astronauten die anstehenden Arbeiten. Das betrifft vor allem die Betreuung von wissenschaftlichen Experimenten und Instandhaltungsarbeiten an der Raumstation selbst, manchmal aber auch Aufräumen und Putzen. Allein oder in Teams sind die Crew-Mitglieder dann in der ISS unterwegs. Zum Mittagessen trifft man sich wieder. Über den Tag verteilt ist den Astronauten auch Sport an Trainingsgeräten verordnet, zum Beispiel auf dem Laufband oder dem Ergometer. Das ist wichtig, weil die Muskeln in der Schwerelosigkeit weniger gefordert werden als auf der Erde. Ohne Krafttraining würden sie schnell abgebaut. Nach

einem zwölfstündigen Arbeitstag haben die Astronauten dann ab etwa 19.30 Uhr Feierabend: Abendessen, etwas Freizeit und dann Schlafen stehen da auf dem Bordstundenplan, der sogenannten Timeline.

Die Zeitpläne der Raumstation sehen auch regelmäßige private Videoschaltungen zu Angehörigen vor sowie persönliche Sprechstunden mit einem Psychologen im Kontrollzentrum. Du musst dir vor Augen halten, dass hier bis zu sechs Menschen für ein halbes Jahr auf engem Raum miteinander leben und auskommen müssen – ohne Urlaub und ohne freie Tage, in denen man mal ganz für sich sein könnte. Niemand kann kurz raus vor die Tür, um frische Luft zu schnappen, jeder muss die anderen mit ihren Stärken und Schwächen akzeptieren. Dass die täglichen Mahlzeiten gemeinsam eingenommen werden, soll daher auch den Teamgeist stärken: So wie in deiner Familie gemeinsames Essen dem Austausch untereinander dient, fördern die gemeinsamen Mahlzeiten an Bord den Zusammenhalt und ermöglichen Gespräche jenseits der Arbeit.

Jeder Astronaut darf übrigens ein paar persönliche Gegenstände mit an Bord bringen. Beliebte sind natürlich



Als noch Space Shuttles an der ISS anlegten, waren manchmal so viele Astronauten an Bord, dass es beim Abendessen eng wurde. Dann schwebte auch schon mal ein Crewmitglied überm Tisch, weil kein anderer Platz mehr frei war. Bild: NASA

MP3-Player, aber auch Musikinstrumente kamen auf diesem Weg schon ins All: von Gitarren und Querflöten bis zu einem elektrischen Klavier. Einer der Höhepunkte für viele Astronauten während ihrer freien Zeit ist jedoch der atemberaubende Blick auf die Erde.

## Was die Schwerelosigkeit mit dem menschlichen Körper macht

Unser Körper ist es nicht gewohnt schwerelos zu sein. Das bekommen auch die Astronauten zu spüren. Besonders in den ersten Tagen im All können sie unter der Raumkrankheit leiden. Die Ursache: Das Gehirn erhält widersprüchliche Informationen – einerseits von den Augen und andererseits vom Gleichgewichtsorgan im Innenohr. Wenn man beispielsweise den Kopf zur Seite neigt, sieht man, wie sich der Raum zu drehen scheint. Aber anders als auf der Erde spürt man das nicht, weil das Gleichgewichtsorgan keine Änderung der eigenen Position ans Gehirn melden kann. Erst nach einigen Tagen gewöhnt man sich daran. Dabei hilft es etwas, dass das Innere der Raumstation so gestaltet wurde, dass sich die Decke „oben“ und der Boden „unten“ befinden. In einer Welt, in der es eigentlich gar kein „Oben“ und „Unten“ gibt, ist man so nicht völlig orientierungslos.

Übrigens ist es kein Zufall, dass die ISS-Astronauten auf vielen Bildern kurzärmelig sind: Die zahlreichen elektrischen Geräte an Bord erzeugen sehr viel Wärme. Laut ist es auch auf der ISS. Ventilatoren und Pumpen sorgen dafür, dass die Atemluft in jede Ecke der Raumstation gelangt – und das macht eben Krach.

Auch der Geschmackssinn verändert sich in der Schwerelosigkeit. Was beim Probe-Essen vor dem Start noch ganz lecker war, schmeckt im All nicht mehr so gut – und manchmal umgekehrt. Schuld daran ist offenbar die Verteilung von Blut und Gewebeflüssigkeit im Körper: Auf der Erde ist das ja alles schön gleichmäßig im Körper verteilt. Fehlt nun aber plötzlich die Schwerkraft, gerät dieser „Flüssigkeitshaushalt“ aus der Balance: Im Oberkörper ist dann etwas zu viel Flüssigkeit vorhanden, im unteren Körperbereich zu wenig.

Deshalb haben Astronauten im All oft etwas aufgeschwemmte Gesichter und dünne „Storchenbeine“, wie sie es selbst nennen. Was das mit dem Geschmack zu tun hat? Die Umverteilung der Körperflüssigkeiten bewirkt, dass die Schleimhäute in Mund und Nase stärker durchblutet werden und dadurch angeschwollen sind, ähnlich wie bei einem Schnupfen. Und bei einer Erkältung schmeckt bekanntlich vieles anders oder weniger intensiv als gewöhnlich. Das erklärt, warum viele Astronauten im All würziges Essen bevorzugen.

Infolge der Schwerelosigkeit wird die Muskulatur der Astronauten kaum beansprucht. Wer schon einmal längere Zeit krank im Bett gelegen hat oder einen Gipsverband hatte, weiß, wie schnell die Muskulatur sich zurückbildet, wenn sie nicht ständig gefordert wird. In Schwerelosigkeit kommt es außerdem zu einem Knochenabbau vor allem in den Beinen. Aus diesem Grund müssen die Astronauten täglich etwas für ihre Fitness tun – auch um sich nach der Rückkehr zur Erde rasch wieder unter den normalen Schwerkraftverhältnissen bewegen zu können. So radelt man dann auf dem Fahrrad-Ergometer gewissermaßen in 90 Minuten einmal um die Welt – immer gut angeschnallt, damit man nicht davonschwebt.

Der dauernde Wechsel zwischen Tag und Nacht sorgt bei manchen Raumfahrern dafür, dass sie schlecht schlafen. Schuld sind wohl Probleme mit der „inneren Uhr“, die jeder von uns hat. Wenn du schon mal einen Langstreckenflug gemacht hast, konntest du das vielleicht so ähnlich auch bei dir selbst beobachten: In einer anderen Zeitzone schläft man zunächst nicht so tief und wacht auch öfter auf. Das gilt erst recht, wenn die Sonne 16 Mal am Tag auf- und untergeht. Der geregelte Tagesablauf auf der ISS soll dem etwas entgegenwirken. Noch etwas anderes passiert, wenn man im Weltraum die Augen schließt: Man sieht manchmal Blitze! Das ist keine Einbildung, sondern diese Blitze entstehen in den Augen wirklich. Und zwar wenn elektrisch geladene Teilchen, die von der Sonne stammen, auf die Netzhaut treffen. Übrigens: Die allerersten Raumfahrer hatten das zunächst einmal verschwiegen, weil sie befürchteten, die Ärzte könnten es für ein Anzeichen von Stress halten und die Astronauten für fluguntauglich erklären.

## ► Probier's mal aus!

### Der „Marmelade-Test“

Wenn Astronauten mit angeschwollenen Schleimhäuten weniger schmecken, ist das wie bei einer verschluckten Nase. Aber was hat die Nase mit dem Geschmack zu tun? Du kannst ja mit Freunden mal den Geschmackstest machen: Wie gut erkennt ihr verschiedene Marmeladesorten, wenn ihr euch dabei die Nase zuhältet? Klar, die Augen sollten dabei auch geschlossen sein ...



Der Amerikaner Stephen K. Robinson bei Außenbordarbeiten. Er ist an dem kanadischen Roboterarm der ISS befestigt. Bild: NASA

## Alles andere als ein „Spaziergang“

Manchmal müssen Astronauten aus der ISS aussteigen, um etwas zu reparieren oder neue Geräte zu montieren. In der Regel verlassen dann immer zwei Raumfahrer die Raumstation, um die anstehenden Arbeiten gemeinsam zu erledigen. Ähnlich wie bei Tauchern versorgt der Raumanzug die Astronauten mit Atemluft, die es ja im Weltraum nicht gibt. Zudem reguliert eine in den Anzug eingebaute Klimaanlage die Temperatur, denn im All herrschen extreme Temperaturunterschiede: Auf der Sonnenseite der Erde kann das Thermometer auf +150 °C klettern, im Schatten dagegen auf -150 °C sinken. Es kann sogar passieren, dass zum Beispiel vorne am Raumanzug hohe Temperaturen und hinten tiefe Temperaturen herrschen. Das Gewicht des Raumanzugs ist zwar dank der Schwerelosigkeit nicht zu spüren, aber die Bewegungsfreiheit ist deutlich eingeschränkt. Und mit den dicken Handschuhen ist es nicht einfach, eine klemmende Schraube zu lösen oder andere diffizile Arbeiten zu erledigen. Das fühlt sich ungefähr so an, als ob du mit Fausthandschuhen an den Händen und einem Motorradhelm auf dem Kopf ein Puzzle zusammensetzen würdest – und das viele Stunden lang. Übrigens: Ein



Der deutsche ESA-Astronaut Thomas Reiter bei einem Ausstieg ins All. Bild: NASA



Außenbordeinsätze werden unter Wasser einstudiert, wo dank des Auftriebs ein der Schwerelosigkeit ähnliches Gefühl entsteht.  
Bild: ESA

amerikanischer Weltraumanzug hat eine Masse von 120 Kilogramm, ein russischer bringt es auf 90 Kilogramm. An Bord der ISS gibt es beide Modelle.

Außenbordeinsätze heißen auch etwas verniedlichend „Weltraum-Spaziergänge“ – von Spaziergang kann aber keine Rede sein: Das ist stundenlange harte Arbeit, bei der die Raumfahrer an ihre körperlichen Grenzen gehen. Die Außenbordarbeiten zählen zu den gefährlichsten Aufgaben, die im All zu erledigen sind. Daher werden sie sehr gründlich vorbereitet.

## ► Finde es heraus!

### Gewicht und Masse

In der Umlaufbahn herrscht ja Schwerelosigkeit. Warum kann ein Astronaut trotzdem nicht einfach ein großes Objekt – etwa ein Gerät, das auf der Erde mehrere Tonnen auf die Waage bringen würde – an die richtige Stelle befördern? Es wiegt doch nichts – und trotzdem ist in solchen Fällen der Roboterarm nötig ...



Dieses Foto zeigt Alexander Gerst beim Training im Simulator des ISS-Moduls Cupola. Von dort aus wird der Roboterarm bedient, der außen an der Station angebracht ist. Auch das gehörte während seiner beiden ISS-Missionen zu den Aufgaben von Alexander Gerst. Bild: ESA

## ► Schon gewusst?

### Wie in der Fahrschule – nur ganz anders ...

Jede Mission zur ISS beginnt lange vor dem Start. Das gilt vor allem für das Training der Astronauten. Das ist ein bisschen wie in der Fahrschule – und doch wieder ganz anders. Denn erstens dauert die Ausbildung mehrere Jahre (während das beim Führerschein hoffentlich schneller geht). Und zweitens gibt es nicht wie in der Fahrschule die Möglichkeit, den Job gewissermaßen „live“ zu erlernen, während der Fahrlehrer nebenan zur Sicherheit mitfährt. Stattdessen werden in der Astronauten-Ausbildung immer nur einzelne Aspekte trainiert – und erst beim wirklichen Flug ins All ist man dann erstmals „auf der Straße“.

Zunächst müssen die Astronauten jede Menge Theorie pauken – über die Steuerung der Raumfahrzeuge und den Betrieb der ISS. Ist man später an Bord für Experimente zuständig, muss man sich zusätzlich die nötigen naturwissenschaftlichen Kenntnisse aneignen, weshalb dafür meistens Crew-Mitglieder zuständig sind, die Physik oder eine andere wissenschaftliche Disziplin studiert haben. Außenbordeinsätze werden in Tauchbecken trainiert. Hinzu kommen Flüge in Düsenjets, um sich an hohe Geschwindigkeiten und auch an den Stress zu gewöhnen, schnell und präzise entscheiden zu müssen. Außerdem nehmen Astronauten an Parabelflügen teil. Dort machen sie sich mit

dem Gefühl der Schwerelosigkeit vertraut und üben verschiedene Handgriffe etwa zur Bedienung der Experimente ein. Praktisch vertieft wird die Ausbildung in Simulatoren – dann jedoch wieder unter Schwerkraft und nicht schwerelos. Dabei trainiert die Mannschaft vor allem, wie man auf Notfälle reagiert – etwa ein Feuer an Bord, ein Leck durch Mikro-Meteoriten oder eine andere „Anomalie“. Immer lernt man so wichtige Dinge kennen – aber erst beim echten Einsatz im All fügen sich dann alles zusammen. Die „Kunst“ des Astronauten-Trainings besteht darin, die Raumfahrer so gut vorzubereiten, dass sie dann beim ersten Flug in den Weltraum so sicher handeln, als hätten sie schon viel Erfahrung und Routine.

Russisch und Englisch stehen ebenfalls auf dem Stundenplan, weil das die „Amtssprachen“ an Bord der ISS sind. Während ihrer Vorbereitung werden die Astronauten auch medizinisch überwacht, bekommen ein Fitnessprogramm verordnet und eine Ernährungsberatung. Auch ein mehrtägiges Überlebenstraining unter extremen Bedingungen (auf dem Meer und in der russischen Steppe) gehört zur Ausbildung: So lernen die Astronauten, einige Tage auszuharren, falls die Sojus-Kapsel bei der Rückkehr zur Erde das vorgesehene Landegebiet verfehlt und sich die Bergung verzögert.



Die italienische ESA-Astronautin Samantha Cristoforetti beim Tauchtraining. Bild: ESA

Schon lange vor dem Start übt man auf der Erde jeden Handgriff an wirklichkeitsnahen Modellen in Originalgröße, die auf dem Grund eines riesigen Wasserbeckens liegen. Wenn man dann unter Wasser mit Hilfe von Gewichten so ausbalanciert ist, dass man nicht aufsteigt und nicht sinkt, kommt das dem Gefühl der Schwerelosigkeit im All schon relativ nahe. Während eines Außenbordeinsatzes überwacht das Kontrollzentrum permanent die sogenannten Vitalwerte der Astronauten, also zum Beispiel Puls oder Atemfrequenz. Entsprechende Sensoren am Körper übermitteln die Daten in Echtzeit. „Weltraum-Spaziergänge“ finden auch immer an der Leine statt: Die Astronauten sind über Stahlseile mit der ISS verbunden, damit sie nicht aufgrund einer unbedachten Bewegung ins All weg-schweben. Für den Ernstfall haben die „Rucksäcke“ der Anzüge aber kleine Düsen, mit denen man zurück zur Luke käme. Die Roboterarme an der ISS sind für Außenbordeinsätze ebenfalls wichtig: Einerseits können die Astronauten mit ihnen schwere Geräte an die richtige Stelle bugsieren, andererseits dienen die Roboterarme als Hebebühnen für die Astronauten selbst.

Für viele Astronauten bergen Ausstiege in den Welt- raum nicht nur körperliche Anstrengungen, sondern auch sehr emotionale Momente. Denn sie erleben den Aufenthalt im All dabei sehr direkt: „Du steigst aus der Luke und siehst 400 Kilometer unter dir die Erde – unglaublich!“, sagte mal der französische Astronaut Jean-Pierre Haigneré. „Und du siehst all die Sterne um dich herum und hast wirklich das Gefühl, im Univer- sum zu sein!“

## ► Schon gewusst?

### Unglaublich, aber wahr!

An Bord eines schnell fliegenden Raumschiffs vergeht die Zeit langsamer. Astronauten werden dadurch nicht jünger, aber sie altern während des Flugs langsamer – wenn auch nur um Bruchteile einer Sekunde. Das alles klingt absurd, ist aber sogar 1985 bei der deutschen Raumfahrtmission D-1 gemessen und bewiesen worden. Und zwar mit zwei identischen Atom- uhren, von denen eine auf dem Boden blieb und eine ins All mitgenommen wurde.

Erklären lässt sich der seltsame Effekt mit der Relativitätstheorie von Albert Einstein – und das ist ziemlich kompliziert. Vereinfacht gesagt dehnt sich die Zeit immer stärker, je schneller man sich bewegt. Ein ganz extremes Beispiel – eher schon Science-Fiction und nur zur Ver- deutlichung: Angenommen ein Astronaut fliegt mehrere Jahre lang mit sehr hoher Geschwin- digkeit durchs All, während sein Zwillingbruder auf der Erde zurückbleibt. Dann wäre der Astro- naut bei seiner Rückkehr deutlich jünger als sein Zwillingbruder: Je nach Dauer und Tempo der Reise durchs All könnte das Tage, Wochen, Monate oder Jahre ausmachen! Der Unterschied wird eben umso deutlicher, je länger und schneller man unterwegs ist. Die Astronauten der D-1-Mission waren nur sieben Tage fort und bewegten sich mit vergleichsweise moderatem Tempo von knapp 28.000 Kilometer pro Stun- de. Deshalb waren sie anschließend nur Bruch- teile einer Tausendstelsekunde jünger, als wenn sie auf der Erde geblieben wären.

So sehen Astronauten den Mond aufgehen. Man erkennt auch sehr gut die Atmosphäre der Erde – gemessen an der Größe unseres Planeten eine hauchdünne Schicht. Großes Bild nächste Doppelseite: der Atlantik. Bilder: NASA, ESA



Besonders schön wirken Nachtaufnahmen der Erde. Hier die Ostküste der USA. Bild: NASA



Der Fluss Betsiboka in Madagaskar. Er ist manchmal so rot gefärbt, weil starke Regenfälle viel Erde und Sand in den Fluss schwemmen. Das hängt auch mit der Abholzung des Waldes zusammen: Ohne Bäume mit ihrem Wurzelwerk wird der Boden einfach weggeschwemmt. Bild: NASA



# Blauer Planet Erde

In 90 Minuten umrundet die ISS einmal die Erde. Und wenn die Astronauten nach der Arbeit etwas Zeit haben, genießen sie den großartigen Blick auf unseren Blauen Planeten.



# Was Astronauten erleben

Hier einige Zitate von Astronauten, die einen guten Eindruck von ihren Erlebnissen während eines Raumflugs vermitteln.

**Klaus-Dietrich Flade:** „Im Pilotentraining lernst du, auch in kritischen Situationen richtig zu reagieren: kurz durchatmen, konzentriert das Problem analysieren und dann eine Lösung finden. Das schult auch deine mentale Stärke und hilft, mit der Angst umzugehen – die im Idealfall dann ganz verschwindet. Das steigert dein Selbstbewusstsein und hilft auch im übrigen Leben.“

**Frank De Winne:** „Das Überlebenstraining im Winter war sehr hart. Aber der Flug selbst und der unglaubliche Blick auf unsere wunderschöne und zugleich so verletzlich wirkende Erde entschädigt für alles.“

**Jean-François Clervoy:** „In den letzten Minuten vor dem Start steigt die Nervosität natürlich an. Da hat jeder seine Art, damit klarzukommen. Ich habe mir dann einfach vorgestellt, dass ich nur im Simulator sitzen würde. Das beruhigt den Puls.“

**Michel Tognini:** „Das Training besteht zu 80 Prozent aus Notfallübungen. Denn eine gute Vorbereitung darauf, wie man mit Problemen umgeht, ist für uns Astronauten so etwas wie eine Lebensversicherung.“

**Ulrich Walter:** „Wir spürten das Vibrieren. Noch drei Sekunden, zwei, eins ... nichts! Wir wussten: Da stimmt etwas nicht. Eines der Triebwerke war defekt, und der Start wurde abgebrochen. Einen Monat später war alles repariert, und wir gingen wieder an den Start. Diesmal verlief alles nach Plan. Es war ein fantastischer Flug!“

**Ulf Merbold:** „Etwa acht Minuten nach dem Start werden die Triebwerke ausgeschaltet. Es ist ganz still. Kein Lärm mehr. Und sofort spürst du die Schwerelosigkeit. Alles schwebt. Du ziehst die Handschuhe aus – und bevor du den Helm abnehmen kannst, musst du schon aufpassen, dass sie dir nicht wegfliegen.“

**Thomas Reiter:** „Ich war gerade auf der Station angekommen und schwebte durch den Verbindungsknoten, von dem die einzelnen Module in alle Richtungen abzweigen. Ich sah unter mir in eine dieser langen Röhren und bekam einen Schreck: ‚Pass bloß auf, dass du da nicht reinfällst‘, dachte ich spontan – noch nicht daran gewöhnt, dass man in Schwerelosigkeit ja gar nicht fallen kann.“

**Claudie Haigneré:** „Als ich zum ersten Mal aus dem Fenster auf die Erde heruntersehen wollte, war sie nicht da! Zumindest nicht dort, wo ich sie erwartet hatte: Sie war nicht unter, sondern über uns. Erst war ich verwirrt. Doch ich musste mich ja nur drehen und ‚auf den Kopf stellen‘ – schon war die Erde da, wo sie sein sollte, und ich konnte sie in Ruhe betrachten.“

**Pedro Duque:** „An die Schwerelosigkeit musst du dich erst gewöhnen. Du willst eine Schublade aufziehen. Aber weil sie etwas klemmt, ziehst du nicht die Schublade auf, sondern dich nur näher an sie heran. Bald merkst du, wie das geht und dass du dich in einem solchen Fall erst irgendwo festhalten musst.“

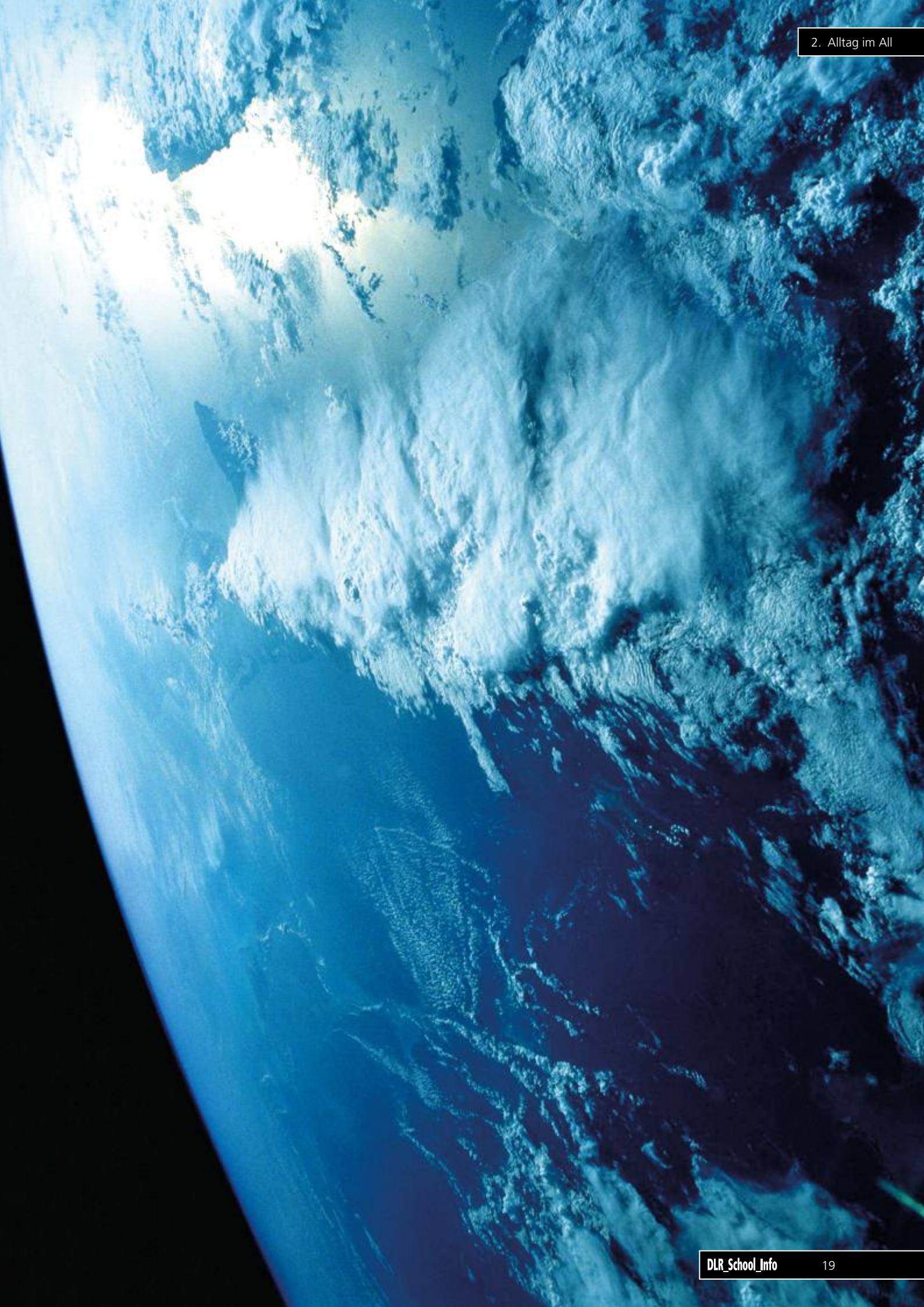
**André Kuipers:** „Beim Essen sollte man gut aufpassen, dass nichts wegschwebt. Das passiert natürlich trotzdem manchmal – und dann siehst du, wie dein Kollege plötzlich zur Decke fliegt, um ein Stück Lasagne einzufangen. Die Schwerelosigkeit herrscht übrigens auch in deinem Mund: Das Essen schwebt gewissermaßen über der Zunge.“

**Léopold Eyharts:** „In einer Raumstation muss man besonders gründlich auf Sauberkeit achten. Die Atemluft darf nicht verunreinigt werden, denn sie zirkuliert wieder und wieder durch die Station. Schließlich kannst du nicht wie zu Hause einfach mal das Fenster aufmachen und durchlüften. Auch Ordnung ist wichtig, damit man alles schnell findet.“

**Ernst Messerschmid:** „Als wir alle Experimente erledigt hatten, war ich begeistert: Bei vielen Versuchen war ich der erste Mensch, der sie in Schwerelosigkeit durchgeführt und beobachtet hatte. Für einen Wissenschaftler ist das großartig!“

**Gerhard Thiele:** „Besonders wenn du von der Tagseite der Erde in die Nacht fliegst, ist das faszinierend. Anfangs sind wir sogar direkt durch Polarlichter hindurchgeflogen. Ich sah, wie wir auf diese seltsamen, bunt schillernden Strukturen zusteuerten. Es war wie ein Vorhang aus Licht.“

**Sigmund Jähn:** „Beim Wiedereintritt in die Atmosphäre vibriert die Kapsel teilweise sehr stark. Angst hatte ich aber nicht. Im Gegenteil: Mir hat die ungewöhnliche letzte Etappe des Flugs eigentlich Spaß gemacht. Ändern kann man in dem Moment ohnehin nichts mehr.“



### 3. Manchmal werden Träume wahr!

Er zeltete schon auf Vulkankratern und forschte in der Antarktis. Dass er einmal als Astronaut ins All fliegen würde, ahnte Alexander Gerst damals aber noch nicht. Schon als Kind entdeckte er sein Interesse an Naturwissenschaften. Nach dem Abitur und einer einjährigen Reise als Rucksacktourist durch verschiedene Länder studierte Alexander Gerst in Karlsruhe und Neuseeland Geophysik – in dieser Forschungsdisziplin geht es um die physikalischen Eigenschaften und Vorgänge des Erdinnern. Seine Doktorarbeit schrieb er dann an der Universität Hamburg. Alexander Gerst haben es besonders die Vulkane angetan. ▶



Die wissenschaftlichen Fragestellungen führten ihn in die entlegensten Winkel der Erde. Dann bewarb er sich bei der Europäischen Weltraumorganisation ESA als Astronaut – auch weil ihm eine erfahrene Raumfahrerinnen Mut gemacht hatte, das trotz der großen Konkurrenz zu versuchen. Als er die SMS der ESA erhielt, dass er den ersten Teil des Auswahlverfahrens bestanden hatte, war er gerade in der Südsee. Und schließlich wurde er nach weiteren Tests mit fünf anderen Kandidaten ausge-

wählt – bei insgesamt über 8.400 Bewerbern! 2009 trat Alexander Gerst in das europäische Astronauten-Team ein und begann mit seiner Grundausbildung, nach der er offiziell zum Astronauten ernannt wurde. Knapp zwei Jahre später, im September 2011, fiel die Entscheidung, dass Alexander Gerst im Mai 2014 für sechs Monate zur ISS fliegen wird. Inzwischen war er sogar ein zweites Mal im All: Im Jahr 2018 verbrachte er erneut ein halbes Jahr auf der ISS. Manchmal werden Träume wahr.

## Nachgefragt bei Alexander Gerst\*

**Wann und warum haben Sie eigentlich beschlossen, Astronaut zu werden? Als Geowissenschaftler und Vulkanforscher hatten Sie sich doch ursprünglich eher mit „Unterirdischem“ statt „Außerirdischem“ beschäftigt.**

Astronaut zu werden war für mich ein riesiger Kindertraum. Aber ich kann es nicht mehr an einem bestimmten Ereignis festmachen. Ich war schon immer sehr neugierig und habe alles, was mir in die Hände kam, auseinandergelutet. Das konnte ein Kugelschreiber, eine Schreibmaschine oder ein Radio sein. Ich wollte einfach wissen, wie die Dinge funktionieren. Als die ESA dann die Astronauten-Auswahl durchführte, wollte ich dem Traum eine Chance geben. Aber ich habe absolut nicht damit gerechnet, dass ich das schaffen würde. Das alles ist ein Glücksfall für mich. Meine Neugier und meine Entscheidung, Wissenschaftler zu werden, haben viel mit der Leidenschaft zu tun, „Licht in das Dunkel“ zu bringen. Als Astronaut kann ich dem in einer ungeahnten Dimension Rechnung tragen.

**Was war bisher das spannendste Erlebnis in der Astronauten-Ausbildung?**

Ich werde mit einem russischen Raumschiff zur ISS fliegen. Zur obligatorischen Ausbildung bei der russischen Raumfahrtbehörde gehört ein Winter-Überlebens-Training gemeinsam mit den Mannschaftskameraden. Es ist nicht nur eine körperliche Herausforderung, sondern fördert auch den Teamgeist. Während meiner Arbeit als Wissenschaftler war ich auf vier verschiedenen Antarktis-Expeditionen, wo ich mehrmals über einen Monat lang auf der Spitze eines aktiven Vulkans bei eisiger Kälte im Zelt geschlafen habe. Die wissenschaftliche Arbeit stand für mich bei solchen Unternehmungen im Vordergrund, aber ich habe mich vor einer

Expedition natürlich immer auch gefragt: Kann ich das? Am Ende war es immer viel einfacher als gedacht. Man hält sehr viel mehr aus, als man denkt.

**Worauf freuen Sie sich mit Blick auf Ihren Flug ins All am meisten?**

Mein Flug wird mir die einzigartige Gelegenheit geben, die Erde von außen zu sehen. Ich kann sozusagen einen Schritt weiter nach draußen gehen und eine neue Übersicht über unseren Heimatplaneten gewinnen. Man sagt ja: „Reisen erweitert den Horizont.“ Ich hoffe, so wie viele meiner Kollegen zuvor, mit einer neuen Sicht wieder zurückzukommen.

**Es wird ja immer wieder gefragt, welche irdischen Anwendungen die Forschung in Schwerelosigkeit hat. Können Sie ein paar Beispiele aus Ihrem Experiment-Programm mit Bezug zum Leben auf der Erde nennen?**

Ein Großteil der Experimente auf der ISS unterstützt die medizinische Forschung. Wir wollen Krankheiten besser verstehen und heilen lernen. Auf der Erde sind alle Prozesse des Lebens durch die Schwerkraft dominiert. Durch die Schwerelosigkeit und somit den Wegfall der Gravitation ist es möglich, zum Beispiel Abläufe bei der Zellteilung oder dem Wachstum von Eiweißkristallen deutlicher zu erkennen. Ich werde auch ein Experiment durchführen, das den Alterungsprozess der menschlichen Haut untersucht. Beim Aufenthalt auf der Raumstation altert die Haut wie im Zeitraffer. Dadurch können wir innerhalb von sechs Monaten Abläufe beobachten, die man auf der Erde über mehrere Jahre verfolgen müsste. Und noch interessanter ist: Viele Phänomene wie Muskelschwund und Knochenabbau, die unter Schwerelosigkeit auftreten, bilden sich nach dem Flug zurück, sind also umkehrbar. Wenn wir diese Mechanismen verstehen würden, dann könnte das Millionen älteren Menschen auf der Erde helfen. ▶

\* Dieses Interview haben wir mit Alexander Gerst vor seinem ersten Start geführt.

## **Was sollte nach der Raumstation kommen? Ein Flug zum Mond oder Mars? Und wenn ja: Was würden Astronauten dort können, was Rover nicht können?**

Ein Flug zum Mond oder Mars? Absolut! Ja! Da kommt wieder meine Neugier zum Zug: Wie ist es dort? Wie kommt einem die Erde mit Blick vom Mars aus vor? Natürlich ist der Mars auch aus wissenschaftlicher Sicht großartig. Können wir dort Spuren von Leben finden? Bis heute wissen wir nicht, wie Leben scheinbar aus dem Nichts entstanden ist.

Ich denke, die Raumfahrt ist die konsequente Fortsetzung unserer Bemühungen hier auf der Erde. Roboter geben uns die technischen Grundlagen, um Raumfahrt zu betreiben. Aber wir Menschen werden den Robotern noch auf lange Zeit einiges an Intuition und Anpassungsfähigkeit voraushaben. Ein Experte für die verschiedenen Mars-Rover wurde kürzlich gefragt, wie lange wohl ein Mensch für all das gebraucht hätte, was die Rover innerhalb mehrerer Jahre auf der Mars-Oberfläche untersucht haben. Seine Antwort: „Ungefähr zwei bis drei Tage.“

## **Was sagt Ihre Familie dazu, dass Sie das „Abenteuer“ einer Raumfahrt-Mission wagen?**

Meine Familie kennt mich und meine Neugier bestens. Sie hat mich von Anfang an unterstützt. Das war mir sehr wichtig, denn meine Familie ist ein wichtiger Teil von mir, sie ist eine Energiequelle für mich. Zum Glück hatte ich verständnisvolle Eltern und Großeltern, die mich bei meiner Suche nach Wissen unterstützen haben. Mein Großvater zum Beispiel war Amateurfunker, und in seinem Amateurfunk-Laboratorium konnte ich auf unendliche Entdeckungsreisen gehen. Er hat mir viel erklärt und mich ermutigt, den Dingen auf den Grund zu gehen. Davon zehre ich bis heute.

## **Haben Sie eine persönliche Botschaft für die junge Generation?**

Ich bin mir bewusst, dass wir in einer Zeit leben, in der ein wissbegieriger junger Mensch schnell als „Streber“ abgestempelt wird. Aber gerade Wissen und Bildung sind Dinge, die einem ein Leben lang erhalten bleiben und den Zugang zu faszinierenden Welten ermöglichen. In keiner Phase im Leben eines Menschen ist die Entscheidungsvielfalt so groß wie in jungen Jahren. Darum möchte ich jungen Menschen gern aus Erfahrung sagen: Macht das Beste daraus, und gebt eurem Traum eine Chance! Keiner kann euch einmal erworbenes Wissen und Lebenserfahrung wieder wegnehmen!

## **Die Mission**

Der deutsche ESA-Astronaut Alexander Gerst war zwei Mal im All: und zwar in den Jahren 2014 und 2018 jeweils für rund 6 Monate. Hier behandeln wir seine erste ISS-Mission Blue Dot. Zusammen mit ihm waren der Russe Maxim Surajew und der Amerikaner Reid Wiseman an Bord. Im Gegenzug kehrten kurz vorher drei Raumfahrer von der ISS zur Erde zurück. Als Gerst und seine beiden Kollegen auf der Station eintrafen, befanden sich dort noch drei weitere Raumfahrer. Durch diesen „Schichtbetrieb“ wird sichergestellt, dass immer mindestens drei, meistens sogar sechs Personen auf der ISS sind. Auf den deutschen ESA-Astronauten Gerst wartete an Bord ein anspruchsvolles Wissenschaftsprogramm. Die Hardware – also Geräte, Proben usw. – befanden sich teilweise bereits auf der Station, anderes wurde mit Frachtschiffen wie Progress und ATV zur ISS gebracht. Daneben musste Alexander Gerst natürlich auch viele andere Aufgaben ausführen, um die Raumstation instand zu halten.

Rund 30 Experimente gehörten zu dem Wissenschaftsprogramm, das Alexander Gerst auf der ISS durchführte (daneben war er an vielen weiteren Versuchen beteiligt). Die thematische Spanne reicht von der Biologie und Medizin über die Physik und Astrophysik bis zu den Materialwissenschaften und Technologietests. Folgende drei Beispiele geben einen Einblick in die behandelten Fragestellungen:

### **Was hält eine Emulsion stabil?**

Wasser und Ethanol mischen sich, Wasser und Öl nicht. Zwei Flüssigkeiten, die sich nicht mischen, lassen sich übereinanderschichten. Wenn aber die eine Flüssigkeit in Form von feinen Tröpfchen vorliegt, dann können diese Tröpfchen in der anderen Flüssigkeit gleichmäßig verteilt „schwimmen“ – man bezeichnet das als Emulsion. Bekannte Beispiele für Emulsionen sind Milch und Mayonnaise. Emulsionen spielen in vielen Produkten und Industrien eine Rolle, zum Beispiel in Kosmetika, Medikamenten, Lebensmitteln oder auch bei der Erdölförderung. Solche Emulsionen müssen lange Zeit sehr stabil bleiben, sonst verändern sich ihre Eigenschaften auf unerwünschte Weise. Wie sich Stabilität erreichen lässt, hängt von den physikalisch-chemischen Eigenschaften der Tröpfchenoberflächen des einen Stoffes ab, während er sich in der flüssigen Phase des anderen Stoffes befindet. In der Schwerelosigkeit lässt sich das gut untersuchen, weil die Tröpfchen weder absinken noch einen Auftrieb erfahren.

In einem der Experimente (FASES) der Mission wurden mehr als 40 Probencontainer untersucht, deren Emulsionen jeweils ein genau definiertes Mischungsverhältnis zwischen den beiden Flüssigkeiten hatten. Die Messdaten helfen den Wissenschaftlern dann, die theoretische Beschreibung der Vorgänge in einer Emulsion zu verbessern und so wertvolle Erkenntnisse für maßgeschneiderte Produkte zu liefern. Die Ergebnisse der ersten Gerst-Mission führten bereits zu verbesserten theoretischen Modellen, für die sich besonders Mineralöl-Konzerne und große Nahrungsmittelhersteller interessieren.

### Was passiert im Kniegelenk?

Mechanische Belastung durch Schwerkraft und körperliche Aktivität sind für uns Menschen auf der Erde notwendig für den Erhalt und die Funktion des Muskel- und Knochensystems. Dabei passt sich nicht nur der aktive Bewegungsapparat (Muskeln), sondern auch der passive Stützapparat (Knochen, Knorpel, Sehnen und Bänder) an die mechanischen Beanspruchungen an. Allerdings ist diese Anpassungsfähigkeit beim Gelenkknorpel im Vergleich zu Knochen und erst recht zu Muskeln stark reduziert. Dies zeigt sich zum Beispiel darin, dass sich degenerierter Gelenkknorpel – nach derzeitigem Kenntnisstand – nicht regenerieren kann. Die Untersuchungen der Deutschen Sporthochschule Köln fanden zwar in Schwerelosigkeit statt, dienen aber zusammen mit Experimenten zum Muskel- und Knochenabbau auch der grundsätzlichen Klärung dieser Abläufe im Körper.

### Wie verhalten sich Metallschmelzen?

Wenn heutzutage etwas aus Metallen oder Legierungen hergestellt wird, dann muss das Material zu Beginn oft geschmolzen werden, um nach der Kristallisation, also dem Erstarren der Schmelze, die gewünschte Qualität und Form zu erreichen. Metallische Schmelzen haben allerdings einen großen Nachteil: Sie sind chemisch aggressiv, greifen also auch die Wände des Behälters an, in denen sie aufgeschmolzen werden. In der Fertigung gibt es verschiedene technische Kniffe, wie sich das Problem beseitigen oder mildern lässt. Aber dafür muss man die Vorgänge bei der Kristallisation erst einmal genau verstehen. Bislang ist das nur zum Teil der Fall.

Kühlt eine Schmelze ab, bilden sich zunächst sogenannte Keime: winzige Kristalle, die in die Flüssigkeit hineinwachsen. Im Schwerfeld der Erde hat man oft unkontrollierte Strömungen in der Schmelze, die z.B. durch Dichteunterschiede verursacht werden und die das Wachstum dieser Keime beeinflussen. Ohne diese Strömungen – wie es die Schwerelosigkeit ermöglicht – kann das Kristallwachstum viel detaillierter untersucht werden. Zudem können die Wissenschaftler in der Schwerelosigkeit wichtige Materialeigenschaften der Schmelze bestimmen, die sich während des Abkühlens kontinuierlich verändern. Mit diesen Messergebnissen ist es wiederum möglich, die Theorie der Kristallisation weiterzuentwickeln – was letztlich zu verbesserten Herstellungsprozessen in der industriellen Fertigung führt. Alexander Gerst hat während seiner ersten Mission auf der ISS einen elektromagnetischen Levitator (EML) installiert, mit dem verschiedene Metalllegierungen untersucht werden. Dabei wird eine schwebende Metallprobe mit Hilfe von elektromagnetischen Feldern innerhalb einer Spule, die von hochfrequenten Wechselströmen durchflossen wird, aufgeschmolzen und anschließend der Erstarrungsvorgang des Schmelztropfens mit schnellen Videokameras aufgezeichnet. Durch eine solche „Zeitlupenaufnahme“ konnten beispielsweise die Abläufe bei der Erstarrung einer Schmelze aus Eisen, Chrom und Nickel detailliert beobachtet werden – wichtige Erkenntnisse für die Herstellung von Edelstählen.

### ► Finde es heraus!

#### Astronauten-Auswahl

Derzeit beschäftigt die ESA 14 Astronauten. Stell dir vor, dass du die nächsten auswählen musst. Welche Eigenschaften sollten die Bewerber mitbringen? Und wie kann man herausfinden, ob sie diese Eigenschaften tatsächlich besitzen?

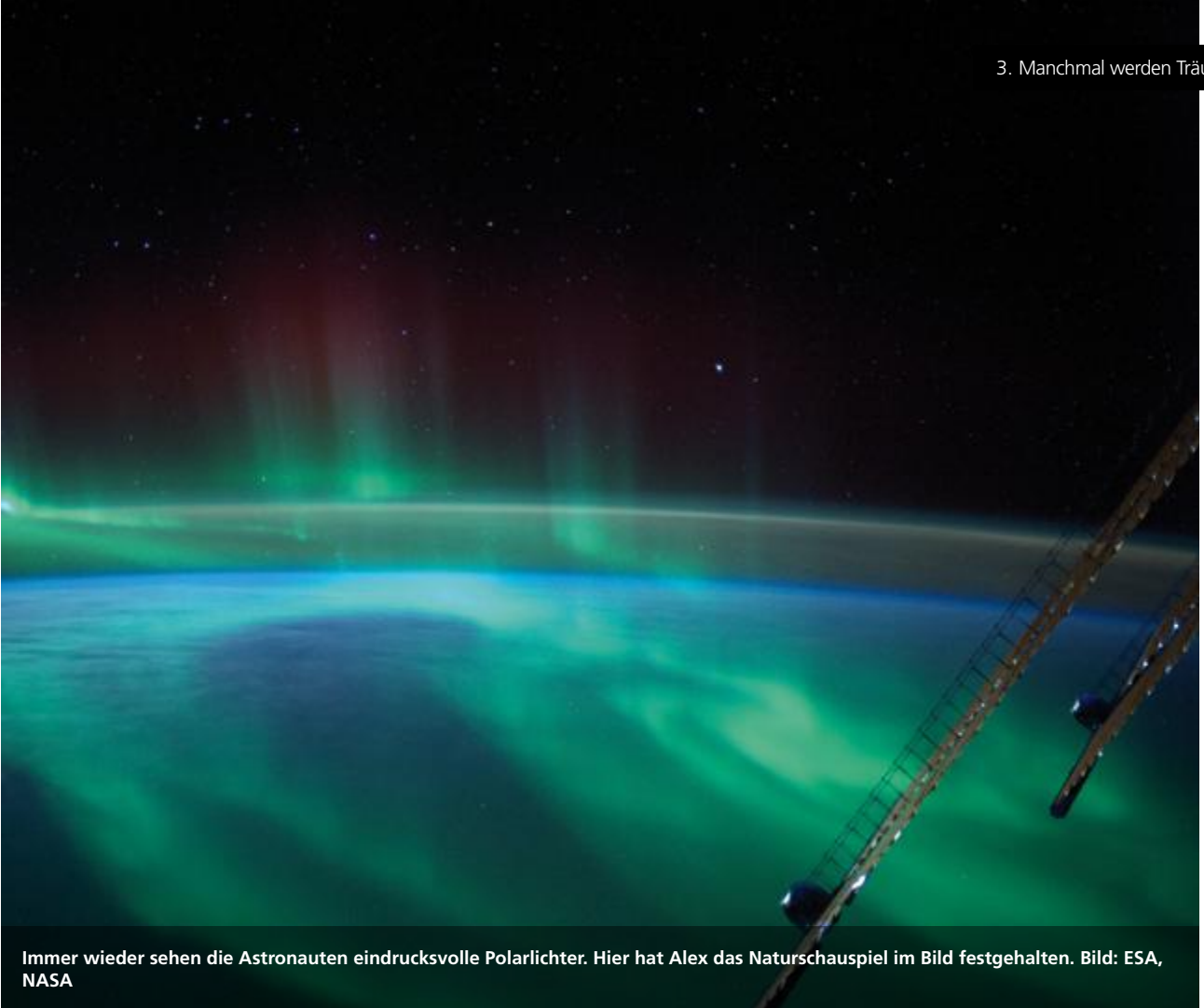


Kurz vor seinem ersten Start ins All: Alex mit seinen Crewmitgliedern am Fuß der Rakete. Bild: ESA

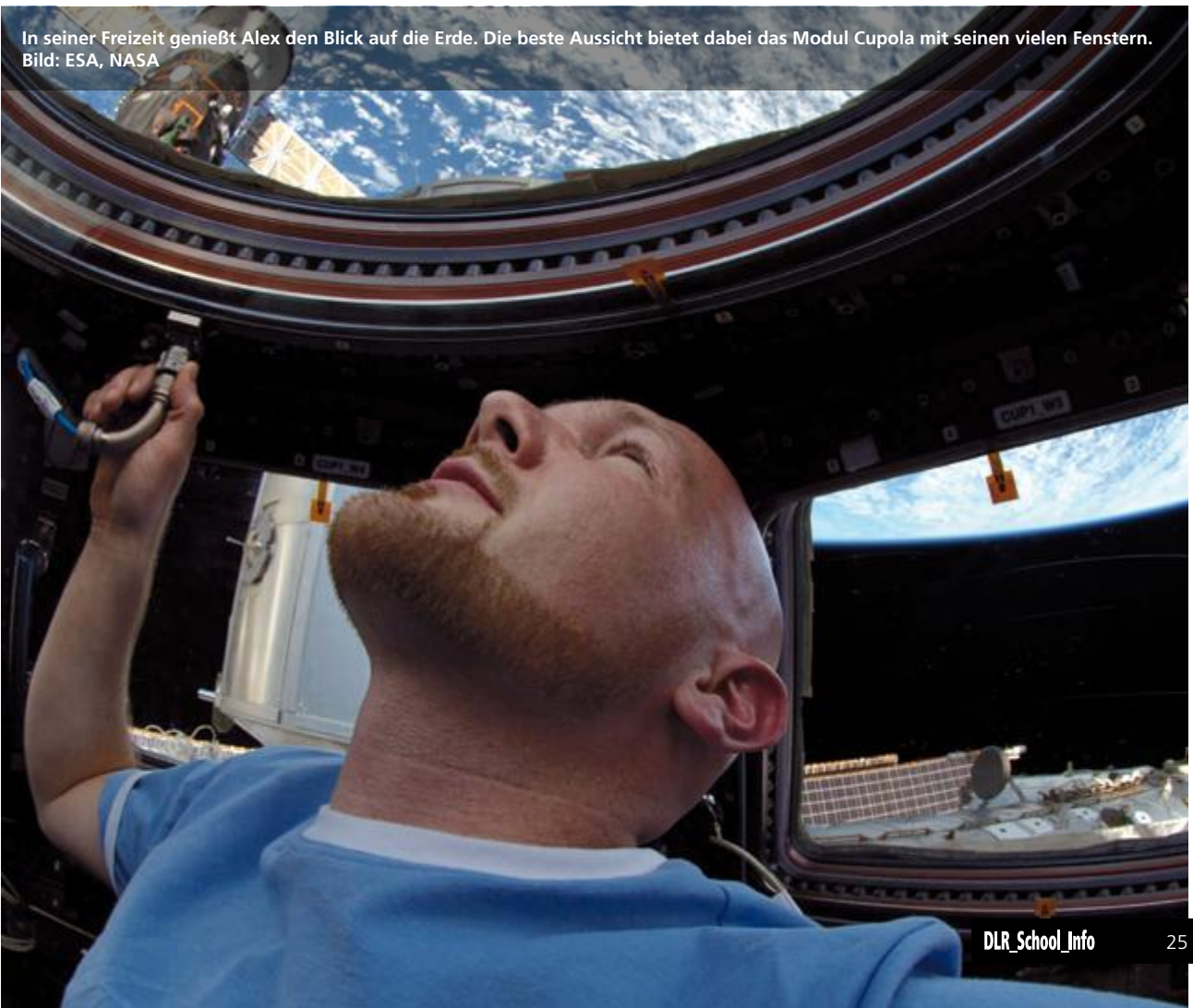


Alex bereitet ein Experiment zur Flammenforschung vor, das in der Handschuhbox durchgeführt werden soll. Gleichzeitig trägt er für die medizinische Forschung einen Sensor, der seine Körpertemperatur misst. Bild: ESA, NASA



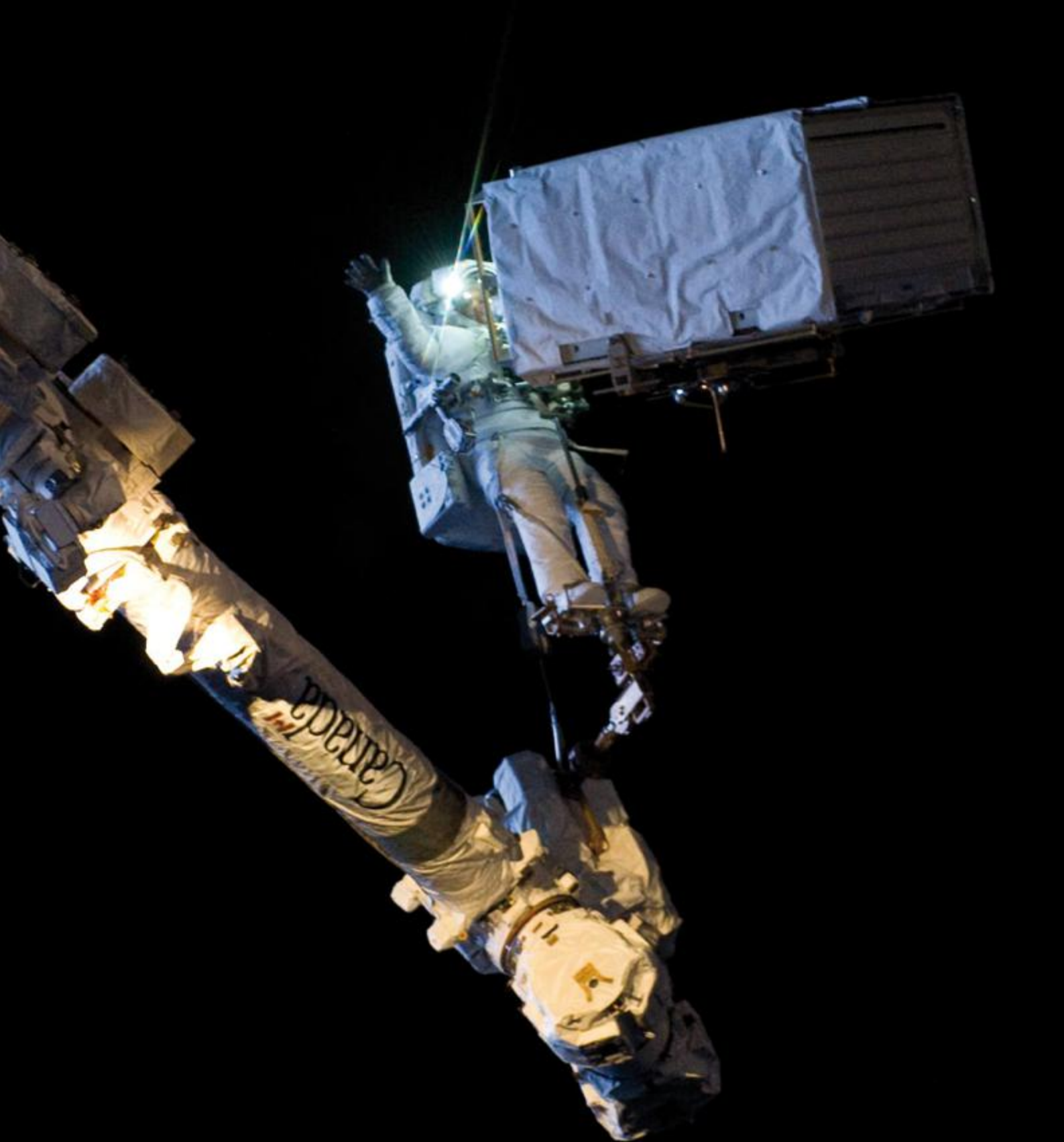


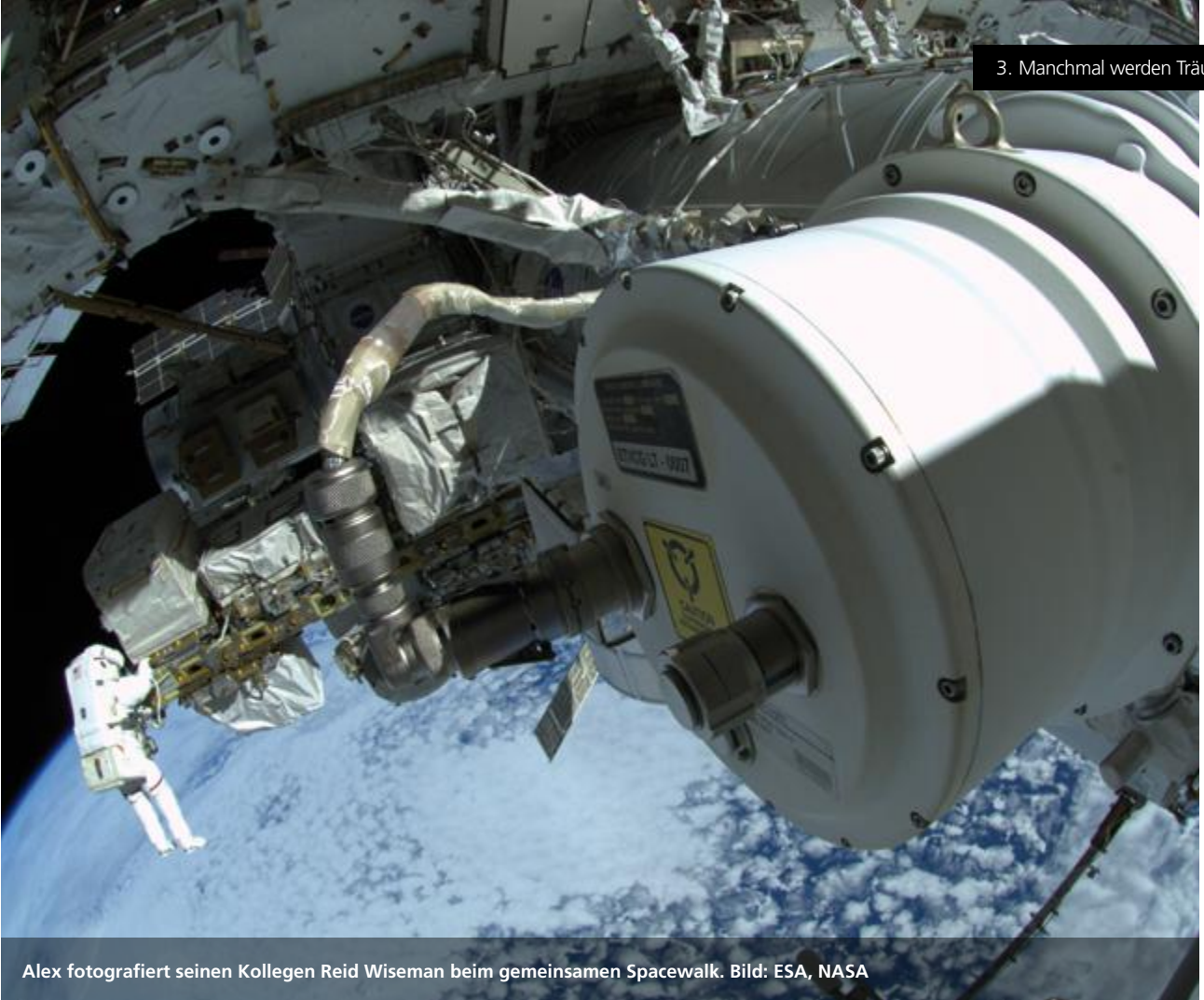
Immer wieder sehen die Astronauten eindrucksvolle Polarlichter. Hier hat Alex das Naturschauspiel im Bild festgehalten. Bild: ESA, NASA



In seiner Freizeit genießt Alex den Blick auf die Erde. Die beste Aussicht bietet dabei das Modul Cupola mit seinen vielen Fenstern. Bild: ESA, NASA

„Das war das eindrucksvollste Erlebnis meines Lebens“, sagte Alex später über seinen Außenbordeinsatz. Hier ist er an der Spitze des langen Roboterarms zu sehen, wie er eine 400 Kilogramm schwere Apparatur hält. Bild: ESA, NASA





Alex fotografiert seinen Kollegen Reid Wiseman beim gemeinsamen Spacewalk. Bild: ESA, NASA

Letzter Tag im All für Alex, Maxim und Reid (rechte Bildhälfte). Barry, Sascha und Jelena blieben noch einige Monate an Bord, bis auch sie von einer neuen Crew abgelöst wurden. Bild: ESA, NASA



## ► Schon gewusst?

### Deutsche im Weltraum

Insgesamt flogen seit Beginn der Raumfahrt mehr als 500 Menschen ins All, über 200 davon zur ISS. Die meisten Raumfahrer stammen aus den USA und Russland. Aber auch über 30 Astronauten aus Westeuropa waren schon im Weltraum, manche von ihnen mehr als ein Mal. Vor Alexander Gerst waren diese zehn Deutschen im All:



**Sigmund Jähn** flog am 26. August 1978 als Kosmonaut der damaligen DDR zur sowjetischen Raumstation Saljut 6, wo er eine Woche lang blieb. Jähn war damit der erste Deutsche überhaupt im Weltraum.



**Reinhard Furrer** und **Ernst Messerschmid** gehörten zur Crew der Wissenschaftsmision D-1, die an Bord eines Space Shuttles vom 30. Oktober bis zum 6. November 1985 flog. Furrer starb 1995 bei einem Flugzeugabsturz.



**Ulf Merbold** war der erste westdeutsche Astronaut im All. Vom 28. November bis 8. Dezember 1983 gehörte er zur ersten Crew, die im Welt-raumlabor Spacelab an Bord eines Space Shuttles wissenschaftliche Versuche durchführte. Später flog Merbold noch zwei weitere Male ins All: 1992 wieder mit einem Space Shuttle und 1994 mit einem russischen Sojus-Raumschiff zur damaligen Raumstation Mir.



**Klaus-Dietrich Flade** war der erste Deutsche, der die damalige Raumstation Mir besuchte. Start war am 17. März 1992, die Rückkehr erfolgte am 25. März 1992. Nach der Mission wurde Flade Testpilot bei der Firma Airbus. Er war bereits vor seinem Raumflug einer der erfahrensten Testpiloten in Europa.



**Ulrich Walter** war zusammen mit **Hans Schlegel** vom 26. April bis 6. Mai 1993 im Rahmen der D-2-Mission im Weltraum. Schlegel war später nochmals im All: beim Andocken des europäischen Labormoduls Columbus an die ISS.



**Gerhard Thiele** nahm an einer Shuttle-Mission teil, bei der die Erde aus der Umlaufbahn vermessen und so ein exaktes Höhenprofil der Oberfläche erstellt wurde. Die Mission dauerte vom 11. bis 22. Februar 2000.



**Reinhold Ewald** war vom 10. Februar bis 2. März 1997 auf der Raumstation Mir. Zusammen mit fünf Kollegen meisterte er einen ernsten Zwischenfall: Ein Sauerstoffbehälter war in Flammen aufgegangen. Mehrere Stunden kämpfte die Crew gegen das Feuer und den Rauch in der Station, die dank dieses mutigen Einsatzes nicht aufgegeben werden musste.



**Thomas Reiter** war zwei Mal zu Langzeitmissionen im Weltraum. Beide Flüge dauerten jeweils rund sechs Monate. Er hat damit also fast ein Jahr im All verbracht. Mehrmals führte Reiter dabei Außenbordarbeiten durch. Der erste Flug vom 3. September 1995 bis 28. Februar 1996 ging zur russischen Mir-Station, der zweite Flug vom 4. Juli bis 22. Dezember 2006 zur ISS.

## 4. Technik – an Bord und am Boden

Überleg dir mal, was du jeden Tag unbedingt zum Leben brauchst. Atemluft und Wasser fallen dir vielleicht nicht als Erstes ein, weil sie für uns selbstverständlich sind. Zweifellos sind sie aber überlebenswichtig – also auf die Liste damit! Denn ein Mensch kommt nur wenige Sekunden oder Minuten ohne Sauerstoff aus. Und während man auf Essen notfalls wochenlang verzichten kann, gilt das für Flüssigkeit nur wenige Tage. Es ist nicht einfach, das alles auf einer Raumstation zu organisieren. Hier muss man Nahrungsmittel, Wasser und Sauerstoff entweder mitbringen oder vor Ort selbst erzeugen bzw. wiederaufbereiten. Die ISS ist daher mit ihren ganzen Geräten und Anlagen ein komplexes, ressourcenschonendes System, das möglichst nachhaltig betrieben wird – einschließlich Recycling. Schließlich kostet der Transport von Nachschub ins All viel Geld – abgesehen davon, dass man beispielsweise so viel Wasser, wie die Crew benötigt, kaum als Frischwasser ins All befördern kann.

Wasser wird daher an Bord so weit wie möglich recycelt. Es wird übrigens sogar aus dem Urin wieder zurückgewonnen und aufbereitet. Mit Hilfe von Filtern und Ionenaustauschern lässt sich Abwasser wieder zu Brauchwasser aufbereiten und Teile des Brauchwassers zu Trinkwasser. Dieser Recycling-Kreislauf an Bord ist nicht vollständig geschlossen: Mit Versorgungsschiffen muss immer wieder für Nachschub an Wasser gesorgt werden – aber eben nicht so viel, wie ohne Recycling nötig wäre. Dabei dient dieses Wasser nicht nur zum Trinken, sondern auch als Ausgangsbasis für die Herstellung des Sauerstoffs, den die Astronauten zum Atmen brauchen: Mittels Elektrolyse lässt sich Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufspalten, wobei der Wasserstoff auf der ISS nicht weiter genutzt wird.

Die Klimaanlage an Bord entzieht der Luft überschüssige Feuchtigkeit; dieses Wasser wird ebenfalls wiederaufbereitet. Bei sechs Astronauten in der ISS können auf diese Weise pro Tag bis zu zwölf Liter Wasser zusammenkommen. Auch das ausgeatmete Kohlendioxid muss aus der Luft entfernt werden. Das geschieht über chemische und physikalische Prozesse in entsprechenden Filtern. Die Klimaanlage regelt auch die Temperatur in der Raumstation. Besonders in den Modulen, wo viele technische Geräte laufen, entsteht sehr viel Abwärme. Sie wird ins All abgegeben. Gut





Dieses Bild zeigt den „Arbeitsplatz“ auf der ISS aus der Perspektive eines Astronauten – mit vielen technischen Geräten und auch jeder Menge Kabeln und Leitungen. Bei diesem extremen Weitwinkelfoto schwebt in der Mitte eine Metallkugel, in der sich der Astronaut (Don Pettit) mit seiner Kamera spiegelt. Bild: NASA

zu erkennen ist das an den riesigen Radiatoren der ISS (siehe Seiten 6/7).

Strom wird auf der Station ausschließlich mit Solarzellen erzeugt. Die großen Solarpaneele sind auf beiden Seiten mit Solarzellen bestückt, sodass sie sowohl das direkte Sonnenlicht als auch das von der Erde reflektierte Sonnenlicht auffangen und in Strom umwandeln können. Die überschüssige elektrische Energie, die nicht sofort benötigt wird, lässt sich in Akkumulatoren (Nickel-Wasserstoff- oder Nickel-Cadmium-Zellen) speichern.

Bei der Kleidung dagegen müssen die Astronauten einen radikalen Weg gehen – hiermit ausdrücklich nicht zur Nachahmung empfohlen: Für jedes Kleidungsstück ist eine durchschnittliche Tragedauer vorgesehen, z.B. für Socken eine Woche, für langärmelige Hemden ein Monat. Es gibt keine Waschmaschine an Bord, vielmehr stecken die Astronauten die gebrauchte Kleidung zusammen mit Abfällen in die ausgedienten Versorgungsschiffe, die nach dem Ablegen in der Erdatmosphäre verglühen. Täglich fallen auf der ISS etwa drei Kilogramm Müll pro Astronaut an.

## ► Finde es heraus!

### Die ISS und das „Raumschiff Erde“

Insgesamt ist die ISS ein faszinierendes Stück „Ingenieurskunst“. Sie ist zwar kein geschlossenes Lebenserhaltungssystem, kann aber viele Denkanstöße zur Einsparung von Ressourcen geben. Auf der Erde gab und gibt es ähnliche Ansätze. So wurde beispielsweise einmal ein aufsehenerregendes Experiment namens „Biosphere 2“ durchgeführt, das fast etwas von Science-Fiction hatte. Der Langzeitversuch mit riesigen Treibhäusern, in denen Menschen isoliert von der Außenwelt lebten, verlief allerdings nicht ganz glatt und war auch ziemlich umstritten. Trotzdem: eine spannende Geschichte! Recherchiere mal dazu im Internet. Gar nicht Science-Fiction, sondern längst Realität sind sogenannte Passivhäuser – auch dazu lohnt eine Web-Recherche! Vielleicht kennst du ja sogar jemanden, der in solch einem energiesparenden Haus lebt und dessen Funktionsweise erklären kann.

## Nur die Spitze des Eisbergs

Die ISS ist gewissermaßen nur die Spitze des Eisbergs. Damit an Bord alles reibungslos funktionieren kann, ist eine umfangreiche Infrastruktur auf der Erde erforderlich: Trägerraketen, bemannte und unbemannte Raumfahrzeuge, Weltraumbahnhöfe und Kontrollzentren.



**Trägerraketen:** Seit dem Ende des amerikanischen Space-Shuttle-Programms nutzten alle Raumfahrer einschließlich der ESA-Astronauten wie Alexander Gerst viele Jahre lang ausschließlich russische Sojus-Raketen, um ins All zu gelangen. Erst seit dem Jahr 2020 bringen auch amerikanische Dragon-Raumschiffe Crewmitglieder zur ISS. Faszinierend: Es dauert nur knapp neun Minuten, bis man im Weltraum ist! Dann hat die Rakete das Raumschiff auf rund 28.000 Kilometer pro Stunde beschleunigt, die Triebwerke werden abgeschaltet – und im selben Moment setzt schlagartig Schwerelosigkeit ein. Für den Start sind natürlich enorme Kräfte nötig. In den Triebwerken einer Rakete läuft während der Aufstiegsphase eine kontrollierte Explosion ab. Der verbrennende Treibstoff erzeugt in der Brennkammer einen gewaltigen Druck, der durch die Düsen nach unten entweicht. Gemäß dem physikalischen Prinzip „actio gleich reactio“ entsteht ein Rückstoß, durch den die Rakete abhebt. Um mit möglichst wenig Energieaufwand in den Weltraum zu gelangen, sind Trägerraketen mehrstufig aufgebaut. Die Sojus-Raketen bestehen aus drei Stufen: Die erste





Ein Sojus-Raumschiff mit drei Crew-Mitgliedern nähert sich der ISS. Bild: NASA

Stufe bilden vier Hilfsraketen („Booster“), die symmetrisch an der Außenseite der zweiten Stufe angebracht sind. Also nicht verwirren lassen: Die zweite Stufe ist die Hauptstufe, die sich ganz unten an der Rakete befindet. Über der zweiten Stufe befindet sich die dritte Stufe, und erst über ihr – in rund 50 Meter Höhe – ist das Sojus-Raumschiff mit den Astronauten. Alle Stufen verbrennen Kerosin und flüssigen Sauerstoff. Die Rakete verfügt auch über ein Rettungssystem für den Notfall: Treten in den besonders kritischen ersten 100 Sekunden nach dem Abheben ernste Probleme auf, katapultiert eine Hilfsrakete das Raumschiff mit der Crew aus der Gefahrenzone. Das ist bislang einmal (1983) passiert, als die Rakete praktisch noch auf der Startrampe explodierte – und die Crew hat überlebt.

**Sojus-Raumschiffe:** Das Bauprinzip des bemannten russischen Raumschiffs geht auf die 1960er-Jahre zurück. Im Laufe der Zeit wurde die Technik natürlich weiterentwickelt. Das Sojus-Raumschiff kann drei Crew-Mitglieder befördern – im Unterschied zu den amerikanischen Space Shuttles, die bis zu sieben Personen Platz boten. Es besteht aus drei Modulen: dem Orbitalmodul (das ist quasi die Wohneinheit), dem Abstiegsmodul und dem Instrumenten-/Antriebsmodul. Beim Start sitzt die Crew im Abstiegsmodul (auch wenn es so heißt, befinden sich die Raumfahrer dort eben auch beim Start). Das Raumschiff dockt mit allen drei Modulen an der ISS an. In dieser Konfiguration legt es dann später auch wieder ab. Dann werden vor dem Wiedereintritt in die Atmosphäre Orbitalmodul und Instrumenten-/Antriebsmodul abgetrennt, und die Astronauten kehren nur mit dem Abstiegsmodul zur Erde zurück. Es ist mit einem Hitzeschutzschild ausgestattet, der gegen die enormen Temperaturen von über tausend Grad Celsius schützt, die beim „Feuerritt“ durch die dichteren Luftschichten unseres Planeten auftreten. „Feuerritt“ ist dabei wirklich nicht übertrieben: Durch die kleinen Luken sehen die Astronauten die Luft glühen – es entsteht nämlich um die Kapsel herum ein Plasma (ionisierte Luftmoleküle und freie Elektronen), das die Luft rot leuchten lässt. Das amerikanische Dragon-Raumschiff funktioniert nach denselben Prinzipien, ist aber mit hochmoderner Technik ausgerüstet.

**Weltraumbahnhöfe:** Trägerrakete und Raumschiff sind sozusagen Lokomotive und Waggon. Und wie bei der Eisenbahn gibt es auch in der Raumfahrt so etwas wie Bahnhöfe. Die „Bahnsteige“ stehen allerdings senkrecht und heißen Startrampe. Der russische Weltraumbahnhof Baikonur liegt in Kasachstan rund 200 Kilometer östlich des Aralsees und erstreckt sich über eine Fläche von 80 mal 90 Kilometer, hat also ungefähr die Dimensionen des Ruhrgebiets. Andere

bekannte Startplätze sind das Kennedy Space Center in Florida – hier starteten unter anderem die Apollo-Missionen und auch die Space Shuttles oder seit dem Jahr 2020 auch die amerikanischen Dragon-Raumschiffe – sowie der europäische Weltraumbahnhof in Kourou (Französisch-Guayana).

Weltraumbahnhöfe müssen – so gut wie möglich – verschiedene Anforderungen erfüllen:

- Sie sollten möglichst nah am Äquator liegen.
- Vor allem in östlicher Richtung muss das Gebiet dünn besiedelt sein, damit es im Fall eines Absturzes keine Opfer am Boden gibt.
- Der Standort sollte stabile und sichere Bedingungen aufweisen, sodass es zu keinen Verzögerungen beim Start kommt – von technischen Problemen, die an der Rakete auftreten können, abgesehen.

## ► Finde es heraus!

### Untersuche die verschiedenen Startplätze!

Warum ist die Nähe zum Äquator von Vorteil? Warum ist die dünne Besiedlung vor allem im Osten eines Startplatzes wichtig? Und was alles kann wohl mit „stabilen und sicheren Bedingungen“ gemeint sein? Wenn du die Antworten gefunden hast: Untersuche mal die großen Startplätze der Welt darauf, wie gut sie diese Anforderungen erfüllen! Welcher Ort hat welche Vor- und Nachteile?

**Bodenkontrollzentren:** Zwischen der ISS und der Erde werden ständig Daten ausgetauscht: zur Flugbahn, zum Zustand der Bordsysteme, zu den Experimenten und zum persönlichen Befinden der Raumfahrer. Für die ISS sind die Aufgaben auf mehrere Kontrollzentren verteilt. Für den Betrieb der Station sind die Zentren in Houston und Moskau wichtig. Das Kontrollzentrum in Oberpfaffenhofen ist für das europäische Wissenschaftsmodul Columbus zuständig. Für die Überwachung der Experimente und zur Unterstützung der Wissenschaftler gibt es außerdem in Europa neun Nutzerunterstützungszentren (USOCs genannt).

**Versorgungsschiffe:** Den Nachschub für die ISS – von Nahrungsmitteln bis zu neuen Geräten für die Experimente – bringen unbemannte Versorgungsschiffe. Dies wird unter anderem von russischen Progress-Frachtschiffen oder auch von Dragon-Raumschiffen übernommen.



Die amerikanischen Space Shuttles brachten viele Elemente der ISS in die Umlaufbahn. Hier ein Shuttle im Kennedy Space Center in Florida. Inzwischen wurde das Shuttle-Programm beendet. Bild: NASA



Der europäische Weltraumbahnhof Kourou liegt direkt neben dem Dschungel. Von den Starttürmen aus hört man das Gebrüll der Affen und anderer Tiere im Urwald. Bild: ESA



Eine Sojus-Kapsel kurz nach der Landung in der Steppe von Kasachstan. Bergungsteams kümmern sich um die Crew. Bild: NASA, Bill Ingalls



Das Kontrollzentrum in Oberpfaffenhofen bei München. Bild: DLR



## ► Schon gewusst?

### Wie aus Science-Fiction Realität wurde

Vieles, was früher einmal Science Fiction war, ist inzwischen Realität. So beschrieb beispielsweise der französische Schriftsteller Jules Verne schon in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts den Flug von Menschen zum Mond: Sie wurden mit einer gigantischen Kanone dorthin geschossen. Bekanntlich ist diese Vision rund 100 Jahre später mit den Apollo-Flügen umgesetzt worden. Allerdings mussten dazu mehrstufige Raketen verwendet werden. Denn eine Kanone kann nicht die erforderliche Geschwindigkeit erzeugen, damit ihr Geschoss die Erde verlässt. Trotzdem war Jules Verne auf der richtigen Spur und seiner Zeit weit voraus ... Hier noch einige andere „Science-Fiction-Erfindungen“, die teilweise Wirklichkeit geworden sind:

Wenn in der Fernsehserie „Star Trek“ ein Erkundungsteam von einem Planeten aus mit dem Raumschiff Kontakt aufnimmt, kommt der „Communicator“ ins Spiel. Als das Drehbuch geschrieben wurde, waren Handys noch Zukunftsmusik. Heute sind sie für uns eine Selbstverständlichkeit. Und noch eine Vision aus „Star Trek“ wurde inzwischen Realität: Auf den Krankenstationen von „Enterprise“ und „Voyager“ stellen die Ärzte ihre Diagnose, nachdem sie die Patienten gescannt haben. Einmal das Gerät über die Person halten – schon weiß man, wie schwer die Verletzung ist. Heute können Ärzte mit Computertomografen ins Innere des Körpers schauen, ohne dass dafür ein chirurgischer Eingriff nötig ist.

In „Per Anhalter durch die Galaxis“ von Douglas Adams gibt ein elektronisches Buch als Reiseführer und Nachschlagewerk über ferne Planeten und Zivilisationen Auskunft. Heute lesen wir E-Books – und mit Hilfe von handlichen Computern können wir auch unterwegs vieles im Inter-

net nachschlagen. Und wie der „Babelfisch“, der bei Douglas Adams dazu diente, dass man Aliens verstehen konnte, übersetzen heute Internetdienste alle möglichen Texte auch aus Sprachen, die man selbst überhaupt nicht beherrscht.

In dem Film „Avatar“ baut die Menschheit auf dem Mond Pandora eine Substanz namens „Unobtanium“ ab und nimmt dafür den Untergang der Einheimischen in Kauf. Im Film ist zu sehen, wie ein Brocken dieses Materials über einer Fläche schwebt. Solche Experimente gibt es auch mit Supraleitern, die über einem Magneten schweben. Durch Supraleiter fließt elektrischer Strom völlig verlustfrei, sodass das Material ideal für Hochspannungsleitungen wäre. Inzwischen gibt es hierzu erste Tests.

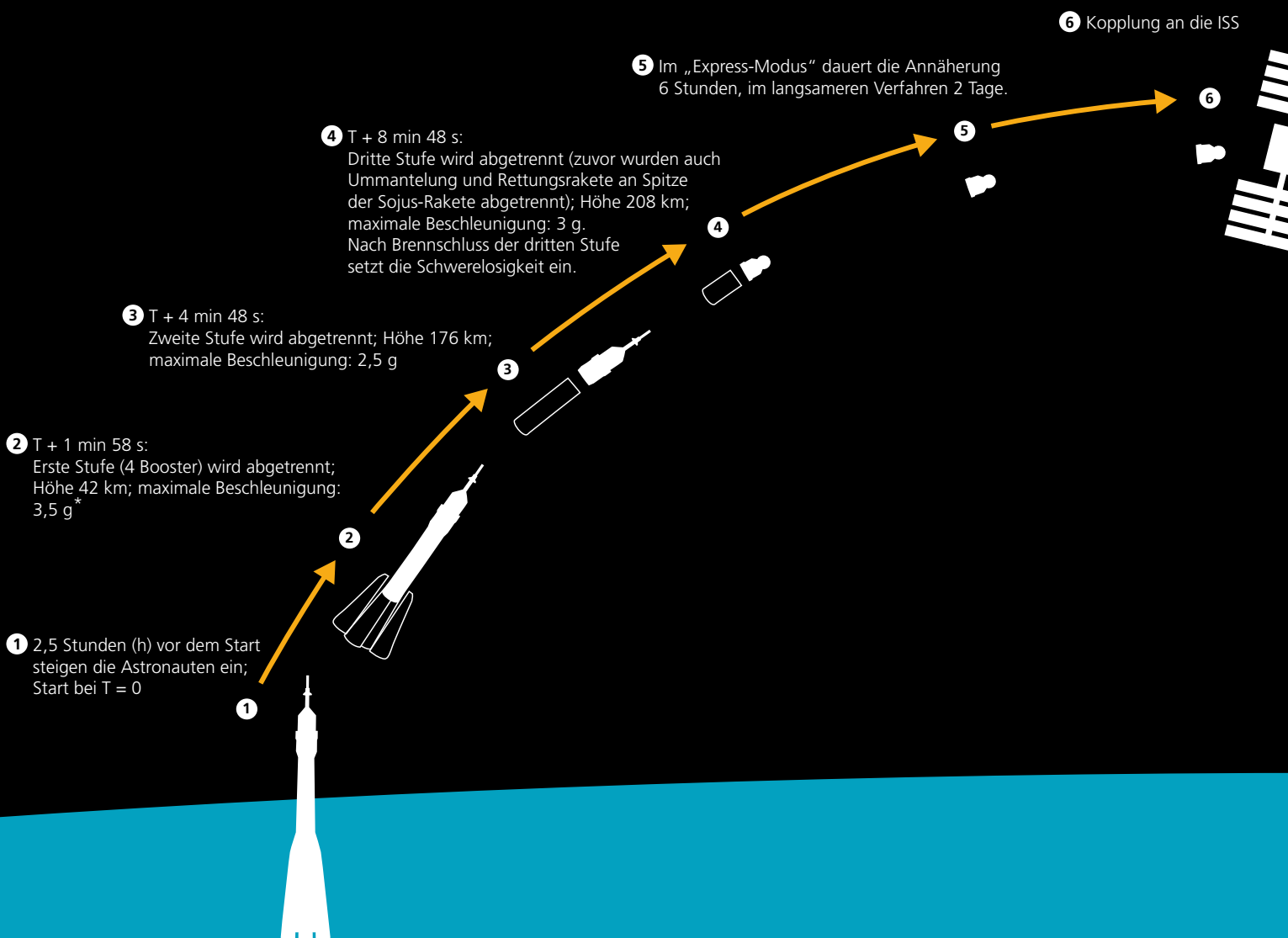
Verschiedene Autoren – etwa Frank Schätzing im Roman „Limit“ – haben einen Weltraumlift beschrieben, mit dem sich Menschen und Material ins All transportieren lassen. Der Lift besteht aus einem langen Seil, das auf der Erdoberfläche und an einem Satelliten in 36.000 Kilometer Höhe befestigt ist. Die ursprüngliche Idee stammt übrigens von dem Raumfahrtponier Konstantin Ziolkowski und wurde auch von NASA-Wissenschaftlern näher untersucht. Der große Vorteil eines Weltraumlifts wären die deutlich niedrigeren Transportkosten im Vergleich zu Raketen. Noch ist das alles Utopie. Aber überlegt mal, welche technischen Probleme man für einen solchen Lift lösen müsste!

Manches aus Science-Fiction-Literatur und -Filmen ist inzwischen also Realität geworden. Elemente wie Warp-Antrieb, Laserschwert oder das Beamen von Menschen werden dagegen wohl für immer Fantasie bleiben, weil sie entweder grundlegenden physikalischen Prinzipien widersprechen oder utopisch viel Energie oder Speicherplatz erfordern.

## Schon gewusst?

### Der Weg nach oben

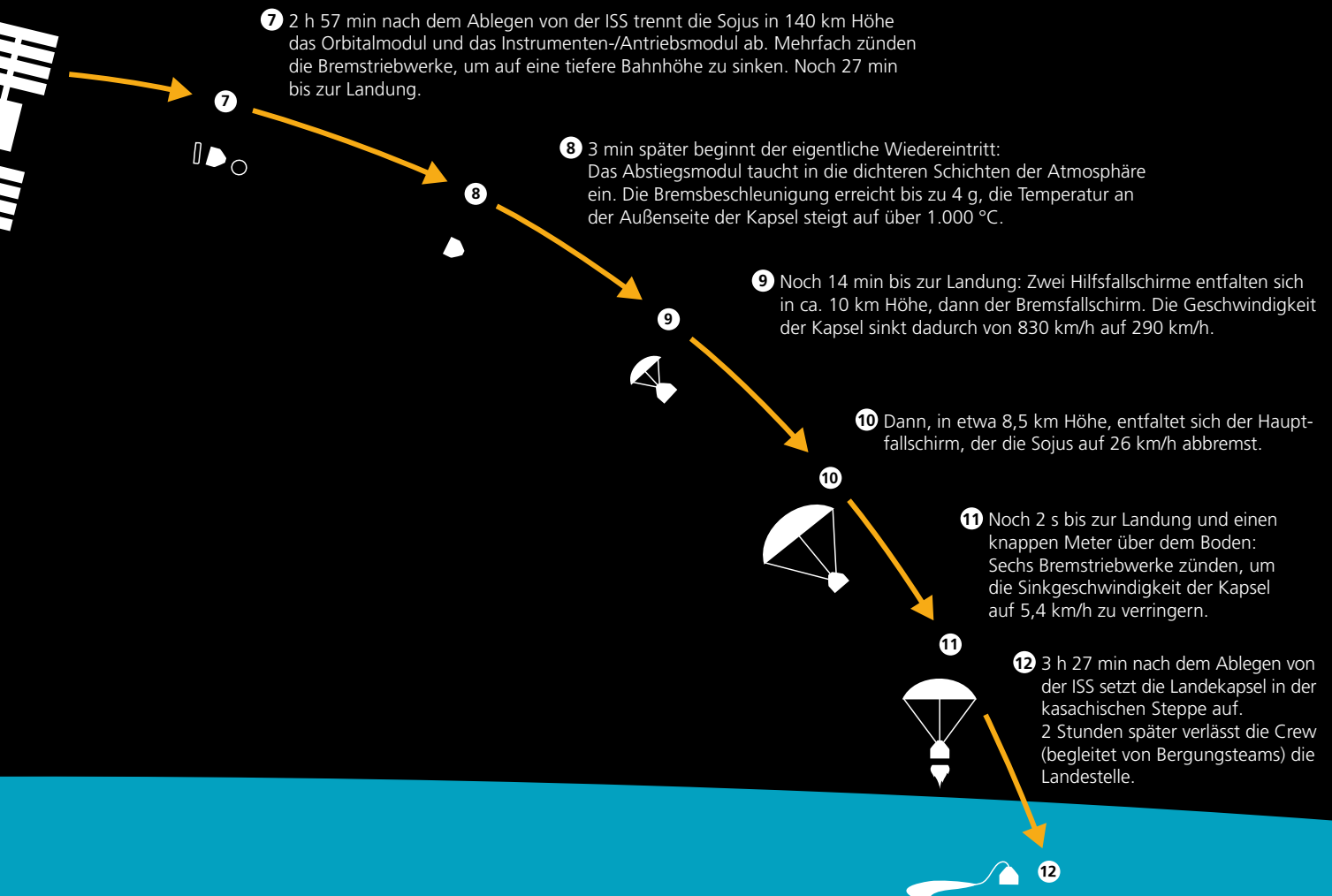
Bis 2012 waren Raumfahrer zwei Tage lang unterwegs, bis sie die ISS erreichten. Dabei schwenkte das Sojus-Raumschiff zwar schon nach neun Minuten in eine Umlaufbahn um die Erde ein, näherte sich dann aber nur ganz allmählich der Station an. Inzwischen wurden die Verfahren zur Berechnung der Bahn und zur Kurskorrektur so verbessert, dass man in nur sechs Stunden zur ISS fliegen kann. Zurück zur Erde geht es dann noch schneller: in rund dreieinhalb Stunden.



## ► Finde es heraus!

### Wie auf einer Achterbahn?

Extreme Beschleunigungen kannst du auf der Erde z.B. in einer Achterbahn erleben. Finde durch eine Recherche im Internet heraus, welche maximalen Beschleunigungen in Achterbahnen auftreten. Was ist bei diesen Beschleunigungskräften anders als beim Start der Astronauten? Und wo treten sonst noch starke Beschleunigungskräfte auf?



\* In den Texten der Grafik ist mit „g“ die Beschleunigung gemeint, die ein Körper auf Meereshöhe erfährt:  $9,81 \text{ m/s}^2$ . Die Angabe „3,5 g“ bedeutet also, dass die 3,5-fache Erdbeschleunigung wirkt. Auf einen Menschen mit 80 kg Masse wirkt dadurch eine Beschleunigungskraft (Masse mal Beschleunigung) von 2.747 N, statt 785 N.

## 5. Forschung auf der ISS

### Warum herrscht auf der ISS Schwerelosigkeit?

Wahrscheinlich fällt dir beim Thema Schwerelosigkeit sofort der Weltraum ein. Schließlich sieht man in jedem Video oder Film über die Raumstation, dass die Astronauten dort schwerelos sind. Die Schwerelosigkeit hat aber zunächst mal gar nichts mit dem Weltraum zu tun – selbst auf der Erde kann man schwerelos sein, wenn auch nur für kurze Zeit. Aber darauf kommen wir später noch einmal zurück. Beginnen wir im Weltraum, genauer auf der ISS: Warum ist man dort überhaupt schwerelos? Zwei Antworten, die man häufig auf diese einfach klingende Frage hört, sind falsch: Es liegt weder am Vakuum noch am Abstand der ISS zur Erde. Zum ersten Irrtum: Wäre das Vakuum des Weltraums – der nebenbei bemerkt nur eine sehr geringe Dichte, aber kein vollständiges Vakuum hat – der Grund, dann müsste das ja auch für ein Vakuum auf der Erde gelten. Doch wenn man aus einem gut isolierten Glaskasten die Luft abpumpt und so ein Vakuum erzeugt, fängt beispielsweise ein Stein darin nicht plötzlich zu schweben an. Und außerdem gibt es ja in den Modulen der ISS, durch die die Astronauten schweben, Luft zum Atmen – also alles andere als ein Vakuum. Und zu der zweiten falschen Erklärung: Die ISS umkreist die Erde in gerade einmal rund 400 Kilometer Höhe – und in dieser Entfernung herrschen noch rund 90 Prozent der Erdanziehung, die wir am Boden spüren.

Es muss also eine andere Erklärung geben. Um es vorwegzunehmen: Schwerelosigkeit herrscht beim freien Fall. Klingt paradox – ist aber recht einfach anhand der folgenden kleinen Gedanken-Experimente zu verstehen:

#### Das Fahrstuhl-Experiment

Du befindest dich in einem Fahrstuhl – ganz weit oben in einem Hochhaus. Jetzt passiert – natürlich nur theoretisch – Folgendes: Plötzlich fällt der Fahrstuhl mit dir im Innern der Kabine in die Tiefe. Nehmen wir mal an, du hättest dich anfangs auf eine Waage gestellt: Was würde die Waage jetzt im freien Fall nach unten anzeigen? Mach dir dazu mal Gedanken und berücksichtige dabei: Die Kabine fällt mit dir und der Waage gleich schnell nach unten – völlig ungebremst!

### ► Probier's mal aus!

#### Mit der Waage in den Lift

Auch wenn sich Fahrstühle ganz normal in Bewegung setzen, kann man mit einer Waage interessante Beobachtungen machen! Fahrt mal nach oben und mal nach unten und beobachtet die Anzeige! Was passiert beim Losfahren? Wer ein Smartphone mit einem Beschleunigungsmesser hat, erhält noch präzisere Daten. Diskutiert die Ergebnisse mit eurer Lehrkraft.



## Der „Super-Weitwurf“ um die Erde

Das zweite Gedanken-Experiment führt uns noch näher an des Rätsels Lösung und an die Situation auf der ISS: Die Raumstation wird dabei – wieder nur in der Theorie – durch eine Blechdose symbolisiert. Darin befinden sich einige kleine Murmeln: die Astronauten. Jetzt wirfst du die Blechdose in hohem Bogen schräg in die Luft. Die Murmeln fliegen nun genauso schnell wie die Dose um sie herum. Im Prinzip passiert jetzt genau das, was während eines Parabelflugs (Kasten auf S. 42: Fallturm, Parabelflug, Höhenforschungsrakete) mit den Insassen passiert: Sie schweben vorübergehend schwerelos im Innern.



Jetzt wirfst du die Dose bei jedem Mal mit mehr „Schub“ (A, B). Je mehr Geschwindigkeit du ihr mitgibst, desto weiter fliegt sie – denn umso länger kann sie der Anziehungskraft der Erde „etwas entgegensetzen“. Die Flugbahn führt so immer weiter, bis die Dose – „peng“ – irgendwo wieder aufschlägt. Nehmen wir nun aber mal an, dass du die Dose sogar so kräftig werfen kannst, dass du ihr eine Anfangsgeschwindigkeit von 7,9 Kilometern pro Sekunde (km/s) mit auf die Reise gibst – mehr als die 20-fache Schallgeschwindigkeit. Dann wäre sie schnell genug, um überhaupt nicht mehr zu Boden zu fallen. Die Konservendose würde jetzt wie die ISS um die Erde kreisen (C). Und die Murmeln würden dabei schwerelos in der Dose schweben.

Wenn du dich jetzt von diesen vielen anstrengenden Würfeln erholt hast und die Dose durch die ISS ersetzt, hast du das Geheimnis der Schwerelosigkeit gelöst: Da die ISS sich im freien Fall um die Erde bewegt, sind die Astronauten in ihr schwerelos, weil sie gleich schnell wie die Raumstation fallen.

### ► Finde es heraus!

#### Die „Qualität“ der Schwerelosigkeit

Was passiert mit der Schwerelosigkeit, wenn sich die Geschwindigkeit der Raumstation ändert? Stell dir vor, die ISS würde plötzlich beschleunigen oder abbremsen (was ja physikalisch auch nur ein „negatives Beschleunigen“ ist). So etwas passiert gelegentlich – wenn auch nur minimal. Etwa, wenn ein Frachtschiff mit der Masse mehrerer Tonnen an die ISS andockt. Oder wenn die ISS von einem angedockten Raumfrachter angehoben werden muss, weil sie ja allmählich an Bahnhöhe verliert – und zwar wegen der Reibung an der dünnen Rest-Atmosphäre, die auch in 400 Kilometer Höhe noch existiert. Welche Konsequenzen haben diese Manöver wohl für die „Qualität“ der Schwerelosigkeit in der ISS und damit auch für die Planung der sensiblen Experimente, die dort oben durchgeführt werden?

Man kann sich die Schwerelosigkeit auch anders erklären. Die ISS rast um die Erde – und dabei sind aus Sicht der Astronauten zwei Kräfte im Spiel: zum einen die Erdanziehung, die zum Erdmittelpunkt gerichtet ist, und zum anderen die Zentrifugalkraft, die durch die Kreisbewegung nach außen gerichtet ist. Das ist, als ob du einen Eimer an einem Seil im Kreis rotieren lässt: Du selbst spielst dann die Erde, und der Eimer entspricht der ISS. Wenn die beiden Kräfte gleich groß sind, spürt man in der Raumstation unterm Strich gar keine Kraft mehr, und man ist schwerelos. Aber Achtung! Diese Erklärung ist zwar zunächst leicht nachzuvollziehen, aber das Fahrstuhl-Beispiel zeigte ja bereits: Schwerelosigkeit gibt es auch ganz ohne Zentrifugalkraft allein durch den freien Fall. Wir kehren deshalb für die weitere Betrachtung besser zu unserer ersten Erklärung zurück: **Befindet sich ein Körper im freien Fall, ist er schwerelos.** Übrigens: Ab Seite 48 findest du einige Vorschläge für verschiedene Experimente, mit denen du selbst das Phänomen der Schwerelosigkeit auf der Erde untersuchen kannst.



Eine Studentin beim Parabelflug. Hier werden Experimente auf den Einsatz in Schwerelosigkeit vorbereitet – und manchmal darf man auch einfach mal so schweben ... Bild: DLR

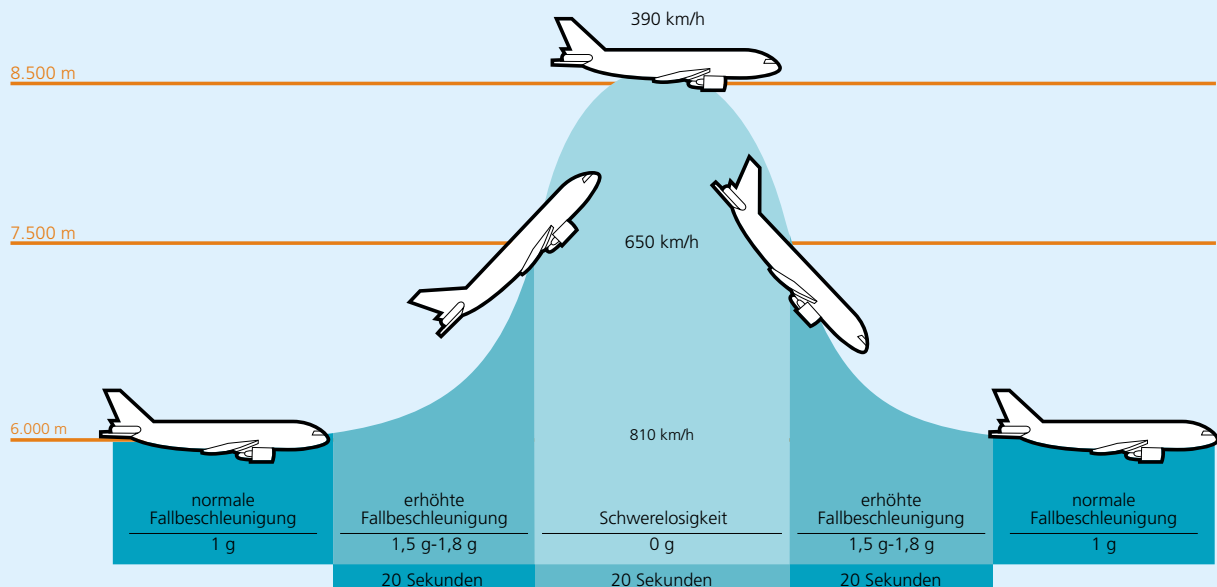
## Fallturm, Parabelflug, Höhenforschungsrakete

Es gibt drei Methoden, mit denen Wissenschaftler auf der Erde Schwerelosigkeit „erzeugen“, um sie für die Forschung zu nutzen: Falltürme, Parabelflüge und Höhenforschungsraketen.

Ein Fallturm ist einfach ein hoher Turm, aus dem die Luft abgepumpt wird, damit kein Luftwiderstand den freien Fall eines Körpers beeinträchtigt. In Bremen

steht so ein Fallturm, der von der dortigen Universität betrieben wird. Seine Fallröhre ist 110 Meter hoch, sodass eine Kapsel, in die man wissenschaftliche Experimente stecken kann, von oben nach unten etwa fünf Sekunden unterwegs und so lange schwerelos ist.

Deutlich längere Phasen der Schwerelosigkeit lassen sich mit Parabelflügen erreichen. Dazu geht ein Flugzeug abwechselnd in einen parabelförmigen Steig- und Sinkflug – quasi eine „Achterbahn am Himmel“. Zunächst steigt das Flugzeug steil nach oben, dann



Schema eines Parabelflugs: Wenn der Pilot gegen Ende des Steigflugs den Antrieb ausschaltet, setzt Schwerelosigkeit ein, bis er im Sinkflug die Maschine wieder abfängt. In den anderen Flugphasen herrscht erhöhte oder normale Schwerkraft.

schaltet der Pilot die Triebwerke aus. Das Flugzeug verhält sich ohne Antrieb wie ein Stein, den man schräg nach oben wirft. Zunächst steigt es noch etwas weiter in die Höhe, bevor der Pilot es nach vorn kippen lässt. Dann fällt das Flugzeug antriebslos nach unten – und alle Passagiere, die sich im Innern der Maschine befinden, fallen mit: Sie schweben. Im Flugzeug gibt es keine Sitze, sondern nur Matten. Denn nach 20 bis 25 Sekunden passiert Folgendes: Der Pilot gibt wieder Schub und zieht die Maschine wieder nach oben. Schlagartig ist es mit der Schwerelosigkeit vorbei! Und wer noch nicht vorher am Boden ist, fällt in dieser Sekunde auf den – weich gepolsterten – Boden. Jetzt wirkt im „Tal“ der Flugbahn die etwa doppelte Erdbeschleunigung auf die Passagiere. Aber nicht lange, denn der Pilot wiederholt das Flugmanöver noch mehrfach.

Du kannst dir vielleicht vorstellen, dass das eine ziemliche Belastung für den Magen und den gesamten Organismus ist. Wissenschaftler haben aber durch Parabelflüge eine gute Möglichkeit, Experimente zu testen, die die Schwerelosigkeit erfordern. Und alle Astronauten trainieren für den späteren Aufenthalt im Weltraum auf Parabelflügen. Schließlich bekommen sie so den besten Vorgeschmack auf die Schwerelosigkeit.

Dasselbe Prinzip wie bei Parabelflügen mit Flugzeugen macht man sich bei unbemannten Höhenforschungsraketen zunutze. Dabei durchfliegt die Rakete nur eine große Parabel, erreicht also keine Umlaufbahn. Der höchste Punkt der Bahn liegt meistens zwischen 100 und 800 Kilometer, sodass in der Rakete für mehrere Minuten Schwerelosigkeit herrscht. Die Nutzlast mit den Experimenten wird nach den Messungen geborgen und ausgewertet – was teilweise aber auch schon „live“ geschieht: Dann werden bereits während des Flugs Videobilder und Daten aus der Rakete per Funk zum Boden übertragen.

## ► Finde es heraus!

### Der „Trick“ im Fallturm

Fünf Sekunden Schwerelosigkeit im Fallturm: Das ist nicht lang. Deshalb wenden die Forscher einen Trick an: Sie lassen die Kapsel nicht einfach von oben herunterfallen, sondern ... Ja, was wohl? Versuche mal herauszufinden, wie man die schwerelose Zeitspanne fast verdoppeln kann!

## Die verschiedenen Forschungsdisziplinen

Die Schwerelosigkeit ist für Astronauten ein fantastisches Gefühl. Für Wissenschaftler bietet sie zugleich die Möglichkeit, Experimente durchzuführen, die im irdischen Labor überhaupt nicht möglich sind. Dadurch wollen sie letztlich auch viele Vorgänge auf der Erde besser verstehen und konkreten Fragestellungen in Physik und Materialwissenschaften sowie Medizin und Biologie nachgehen. Mehr als 2.000 Experimente wurden bisher auf der Raumstation durchgeführt.

### Beispiele aus der Physik und den Materialwissenschaften:



Eine Schmelze wird in einer Magnetspule gehalten. Bild: DLR

Eiswürfel schwimmen in einem Glas voll Wasser, Steine dagegen sinken auf den Boden. Auf der ISS wären Eiswürfel und Steine dagegen gleichmäßig im Wasser verteilt, denn es gibt kein Aufschwimmen und keine Sedimentation. Ähnlich ist es mit Bewegungen in Flüssigkeiten oder Gasen, die erhitzt werden: Auf der Erde steigen die wärmeren und dadurch leichteren Bestandteile auf, während die kühleren und daher schwereren absinken. Man bezeichnet das als Konvektion.

Autos, Unterhaltungselektronik oder Windräder profitieren heute in vielfältiger Weise von Metalllegierungen und Halbleitern. Häufig sind diese Werkstoffe während der Herstellung vorübergehend flüssig. Was in solchen Schmelzen während des Abkühlens auf mikroskopischer Ebene abläuft, ist bislang nur unzureichend verstanden: Denn Sedimentation, Aufschwimmen und Konvektion führen in der Schmelze zu sehr komplexen Wechselwirkungen zwischen den Teilchen. Dabei spielen auch Prozesse und Kräfte eine Rolle, die auf der Erde von der allgegenwärtigen Schwerkraft überlagert werden. Die Qualität eines Werkstoffs hängt aber oft genau von diesen Vorgängen ab. Bei Experimenten auf der ISS kann man viele dieser Abläufe ohne den störenden Einfluss der Schwerkraft beobachten. Mit den Daten können Wissenschaftler dann neue Computersimulationen erstellen, die bessere Fertigungsprozesse ermöglichen.

Und noch von einem weiteren physikalischen Phänomen können Physik und Materialwissenschaften an Bord der ISS profitieren: dem fehlenden hydrostatischen Druck. Während ein Wassertropfen auf der Erde eine Unterlage berührt, wird er flach gedrückt und platzt schließlich. Das passiert, weil der hydrostatische Druck infolge der Schwerkraft größer wird als die Kraft, die den Tropfen aufgrund seiner Oberflächenspannung zusammenhält. Auf der ISS dagegen wirkt nur die Oberflächenspannung, sodass Tropfen erhalten bleiben. Der Anwendungsbezug: Flüssige Metalle sind sehr reaktionsfreudig, was dazu führt, dass sie Behälterwände stark angreifen. Am liebsten hält man sie daher „in der Schwebelage“. Das geht auf der Erde zum Beispiel mit elektromagnetischen Feldern – mit einigen Nachteilen, weil dadurch Messungen verfälscht werden können. Auf der ISS schwebt die Materialprobe dagegen wegen des fehlenden hydrostatischen Drucks von allein – nur ein Wegdriften der schwebenden, heißen Metallkugel muss man noch unterbinden. Die dafür erforderlichen Kräfte sind um ein Vielfaches kleiner als auf der Erde, verfälschen also die Messungen weniger. So lassen sich zum Beispiel Materialeigenschaften wie elektrische Leitfähigkeit, Dichte oder Wärmeleitfähigkeit viel genauer messen.

### Beispiele aus der Medizin:



Astronauten dürfen nur ins All fliegen, wenn sie kerngesund sind. In der Schwerelosigkeit entwickeln sich bei ihnen dann aber Symptome, die an Krankheitsbilder auf der Erde erinnern. Dazu gehören beispielsweise Gleichgewichtsstörungen, Knochenabbau und ein überhöhter Augeninnendruck. Nach der Rückkehr zur Erde bilden sich diese Symptome meist wieder vollständig zurück. Mediziner haben dadurch die einzigartige Chance, das Auftreten und auch das Abklingen all dieser Symptome unter Laborbedingungen zu verfolgen. Die wissenschaftlichen Ergebnisse helfen dann wiederum auf der Erde, Krankheiten besser zu verstehen und, wenn möglich, wirksamer zu behandeln. So hat

man z.B. herausgefunden: Eine zu salzhaltige Ernährung – wie sie heutzutage durch die steigende Zahl von Fertigprodukten begünstigt wird – kann nicht nur zu Bluthochdruck, sondern auch zu Knochenabbau führen. Dass dieser Knochenabbau mit dem Salzhaushalt des Menschen zusammenhängt, konnte erst durch Untersuchungen im Weltraum nachgewiesen werden.

Auch das Immunsystem lässt sich auf der ISS experimentell erforschen. Man weiß zwar, dass Astronauten in Schwerelosigkeit eine geringere Immunabwehr haben. Woran das aber liegt, ist bislang noch nicht geklärt. Mit Hilfe von biochemischen Analysen wollen Wissenschaftler nun die Ursachen herausfinden. Die Ergebnisse vergleichen sie mit Studien, die mit Testpersonen auf der Erde durchgeführt wurden. Weiß man, welche Behandlungsmaßnahmen bei Astronauten wirken, könnten davon auch Patienten in der Intensivmedizin profitieren.

Ein anderer wichtiger Aspekt: Die Veränderungen, die die Astronauten in Schwerelosigkeit erfahren, ähneln dem Alterungsprozess des Menschen auf der Erde. Beim Astronauten laufen sie aber gewissermaßen im Zeitraffer ab und bilden sich – zum Glück – nach der Landung wieder zurück, was dann ebenfalls untersucht werden kann. Gerade für unsere alternde Gesellschaft sind die Erkenntnisse aus solchen Weltraum-Experimenten daher von hohem Nutzen.

### Beispiele aus der Biologie:



Woher weiß ein Pflanzenkeimling im Erdreich, in welche Richtung er wachsen muss? Schließlich ist es nach allen Seiten gleich dunkel. Es ist die Schwerkraft, die der Pflanze dabei Orientierung gibt! Der Zusammenhang ist schon vor vielen Jahren in Weltraum-Experimenten belegt worden. Wie Pflanzen die Schwerkraft „fühlen“, ist inzwischen zwar grob verstanden, aber was dabei im Detail passiert, noch nicht. Um das zu klären, wird die Schwerkraft vorübergehend „ausgeschaltet“ – eben auf der ISS. Experimente an Bord der Raumstation deuten

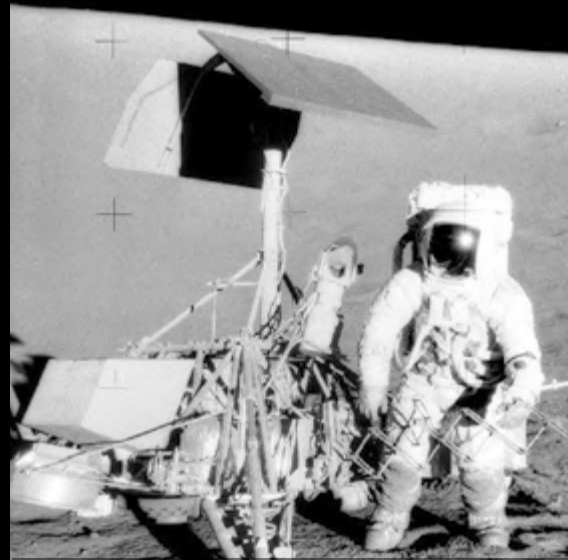
darauf hin, dass in Schwerelosigkeit bestimmte Hormone nicht mehr wie gewohnt transportiert werden können und sich dadurch das Wachstumsverhalten der Pflanze verändert. Durch ein besseres Verständnis der komplexen Zusammenhänge erhoffen sich Wissenschaftler nützliche Erkenntnisse für die Zucht von Pflanzen auf der Erde. Und auch für einen Flug zum Mars wäre das wichtig: Denn die Crew wird einen Teil der Nahrung unterwegs in Treibhäusern züchten müssen.

Wie sehr die Entwicklung eines Organismus von der Schwerkraft abhängt, bewiesen auch Experimente mit Kaulquappen. So konnten Forscher zeigen, dass die Entwicklung des Gleichgewichtsorgans kritische Altersphasen durchläuft. Befanden sich die Kaulquappen während eines frühen Alters in Schwerelosigkeit, hatten sie später Schwierigkeiten beim Schwimmen. Ältere Kaulquappen waren davon nicht betroffen. Mit diesem Experiment wiesen die Wissenschaftler nach, dass das Gleichgewichtsorgan Reize braucht, um sich überhaupt entwickeln zu können. Doch die Forschung geht noch weiter. Vielen Menschen wird es bei unruhigem Seegang oder im Flugzeug schlecht – was letztlich seine Ursache im Gleichgewichtsorgan hat: Das Gehirn interpretiert dessen Signale falsch, wenn ungewohnte Bewegungen auftreten. Das Gleichgewichtsorgan von Kaulquappen und anderen Tieren ähnelt dem des Menschen. Wenn Forscher die Vorgänge in Tieren besser verstehen, lassen sich künftig vielleicht auch Erscheinungen wie die Reisekrankheit beim Menschen besser behandeln.

Auch der Frage nach dem Ursprung des Lebens wird auf der ISS nachgegangen – indirekt zumindest. Experimentell ließ sich beweisen, dass einfache Organismen wie Algen, Bakterien, Flechten oder Pilze sehr robust sind. Sie waren auf der Raumstation – außen in entsprechenden Behältern – monatelang starken Temperaturschwankungen, dem Vakuum und schädigender Strahlung aus dem All ausgesetzt. Viele Organismen überlebten. Als besonders robust erwies sich die Zierliche Gelbflechte, die in Europa u.a. auf Steinen oder Dachziegeln anzutreffen ist. Warum sie die Zeit im Weltraum so gut überstand, ist bislang ungeklärt. Die Ergebnisse stützen jedoch die wissenschaftliche These, dass das Leben vielleicht ganz oder teilweise durch Kometen- oder Meteoriteneinschläge zur Erde gelangt ist. Gut geschützt im Innern könnten Organismen womöglich die Reise zu unserem Planeten überlebt haben. Allerdings gibt es auch viele Wissenschaftler, die das für unwahrscheinlich halten und davon ausgehen, dass sich das Leben auf unserem Planeten auch ohne „Import“ von außen entwickelt hat – ob nun manche Organismen widerstandsfähig sind oder nicht.

## ► Schon gewusst?

### Bakterien als „blinde Passagiere“



Die Apollo-12-Crew landete auf dem Mond ganz in der Nähe einer alten Sonde. Und die sorgte für eine große Überraschung ... Bild: NASA

Bei den Apollo-Flügen zum Mond hatte man anfangs Sorge, die Astronauten könnten Krankheitskeime vom Mond auf die Erde einschleppen. Also mussten die ersten Crews nach ihrer Rückkehr erst noch isoliert von der Außenwelt in einen Quarantäne-Container, bis man nach einigen Tagen sicher war, dass keine Ansteckungsgefahr bestand. Die Vorsichtsmaßnahme stellte sich bald als unnötig heraus.

Allerdings kam es dann zu einer kuriosen Entdeckung: Die zweite Mondlandung fand ganz in der Nähe einer unbemannten Sonde statt, die dort wenige hundert Meter entfernt einige Jahre zuvor aufgesetzt hatte. Die Astronauten von Apollo 12 montierten Teile dieser Landesonde ab und brachten sie zur Erde zurück. Und darauf entdeckte man im Labor tatsächlich Bakterien! Anfangs wurde vermutet, dass die Mikroorganismen die ganze Zeit auf dem Mond überlebt hätten. Inzwischen geht man aber davon aus, dass sie erst nach der Rückkehr zur Erde auf die Teile der Sonde gekommen sind.

## Beispiele aus der Technologie:



Roboterarme an der ISS unterstützen seit Jahren die Astronauten bei Außenbordarbeiten. Doch die Entwicklung geht weiter: Versuche mit robotischen Systemen, die sich von der Erde aus fernsteuern lassen, sind aktuell Gegenstand der Forschung auf der Raumstation. Möglicherweise können Roboter so eines Tages komplett die Wartungs- und Reparaturarbeiten außerhalb der Station übernehmen, die ja bislang immer mit dem recht riskanten Ausstieg von Raumfahrern verbunden sind. Die Fernsteuerung von Robotern – auch Tele-Operations oder Telepräsenz genannt – hat zugleich viele irdische Anwendungen: etwa in der Medizin, wo der Chirurg dann nicht mehr selbst das Skalpell führt, sondern einen kleinen Roboterarm steuert, der auch bei langen Operationen ganz ruhig und ohne jedes Zittern die Instrumente bewegt. Man kann sogar Spezialisten aus der Ferne zuschalten, wenn es eine komplizierte Operation erfordert. Ein anderes Beispiel, in das ebenfalls das Wissen aus der Weltraum-Robotik eingeflossen ist: die Fernsteuerung einer Roboterhand nur durch Gedanken! Das wurde vom DLR im Jahr 2011 demonstriert: Eine querschnittsgelähmte Frau bewegte dabei eine Roboterhand mit ihren Hirnströmen, die von einem Chip übertragen wurden – und sie konnte so erstmals wieder selbständig trinken.

Es gibt darüber hinaus viele andere Anwendungen für solche „intelligenten“ Roboter: von der Fahrzeugtechnik und dem Einsatz in der Industrie bis zur Entschärfung von Bomben oder Bergungsarbeiten an Schiffswracks auf dem Meeresgrund. Die Weltraum-Robotik liefert dazu – neben vielen anderen „Technologie-Treibern“ – wichtige Fortschritte und Impulse. Denn die Technik, mit der man einen Roboter über so große

Distanzen wie von der Erde bis ins All steuern kann, lässt sich erst recht hier unten einsetzen.

## Beispiele aus der Astrophysik:

Gibt es irgendwo im Weltraum Antimaterie? Auf der Erde kann man sie im Labor erzeugen – wenn auch nur ganz kurz. Aber kann es sein, dass sie im Universum auch natürlich vorkommt? Dieser spannenden Frage will man mit dem Experiment AMS (das steht für Alpha-Magnet-Spektrometer) nachgehen. Es wurde von einem internationalen Wissenschaftler-Team unter Leitung des Nobelpreisträgers Samuel Ting (USA) entwickelt.

Zum Hintergrund: Viele Physiker halten es für möglich, dass beim Urknall nicht nur Materie, sondern auch Antimaterie entstanden ist. Antimaterie – das ist vereinfacht gesagt Materie mit umgekehrten Vorzeichen: Wo die elektrische Ladung bei „normaler“ Materie positiv ist, ist sie bei Antimaterie negativ – und umgekehrt. Treffen Materie und Antimaterie zusammen, löschen sie sich gegenseitig aus – bei Freisetzung gewaltiger Energiemengen. Wo aber ist die Antimaterie hin, die damals vor 13,8 Milliarden Jahren entstanden sein soll? Dazu gibt es zwei Theorien: Entweder hat es anfangs einen kleinen Überschuss an Materie gegeben – und alles andere hat sich gegenseitig vernichtet. Dann wäre alle Materie im heutigen Universum quasi jener Rest, also der Materie-Überschuss vom Anfang. Oder aber es gibt noch irgendwo im All isolierte Antimaterie-Inseln – ganze Galaxien. Wenn das so sein sollte, müssten einige von dort ausgestrahlte Teilchen irgendwann auch einmal bei uns ankommen. Auf der Erde würden wir sie jedoch nicht nachweisen können, weil sie einfach mit Luftteilchen in der oberen Atmosphäre kollidieren und sich auslöschen würden. Aber in der ISS-Umlaufbahn könnte man sie erwischen! Dazu dient AMS – eine mehr als acht Tonnen schwere „Teilchenfalle“, die außen auf der Station angebracht ist.

Die bisherigen Messergebnisse des AMS liefern auch einen Hinweis auf die theoretisch vorhergesagte, aber bislang noch unentdeckte Dunkle Materie. Diese Dunkle Materie verrät sich durch ihre Schwerkraft, ist aber ansonsten unsichtbar. Sie kommt im Universum um ein Vielfaches häufiger vor als die sichtbare Materie, aus der Galaxien, Sterne, Planeten und letztlich auch wir bestehen. Der direkte Nachweis Dunkler Materie ist eine der großen ungelösten Aufgaben in der Astronomie, um das Universum als Ganzes stimmig erklären zu können.

## ► Schon gewusst?

### Was haben Akkuschrauber und Kartoffelchips mit Raumfahrt zu tun?

Die Forschung in Schwerelosigkeit dient oft ganz gezielt der Untersuchung von irdischen Problemen. Daneben gibt es aber auch noch sogenannte „Spin-offs“ – also Nebenprodukte, die nichts mit den Experimenten zu tun haben. Sie ergeben sich eher zufällig aus Technologien, die ursprünglich für die Raumfahrt entwickelt oder für den Einsatz im All weiter vorangetrieben wurden. So ganz „zufällig“ ist das jedoch oftmals nicht. Denn in der Raumfahrt gelten ganz besondere Anforderungen. Zum einen, weil beim Flug ins All und dann im Weltraum extreme Bedingungen herrschen, was entsprechende Standards etwa bei den eingesetzten Materialien erfordert. Zum anderen auch, weil es in der Raumfahrt – anders als etwa bei Autos – unterwegs keine Werkstatt gibt: Alles muss auf Anhieb klappen! Und Technologien, die das leisten, lassen sich natürlich erst recht auf der Erde anwenden. Das nennt man dann Technologie-Transfer. Dabei muss man allerdings auch hinzufügen: Die Raumfahrt nutzt umgekehrt auch viele Entwicklungen, die aus ganz irdischen Gebieten stammen. Der Technologie-Transfer ist also keine Einbahnstraße.

Bei den „Spin-offs“ wird oft die Teflonpfanne als Beispiel für ein Nebenprodukt der Raumfahrt genannt. Das ist allerdings falsch: Das Material wurde bereits in den 1930er-Jahren erfunden. Hier einige bessere Beispiele für Technologien, die tatsächlich aus der Raumfahrt hervorgegangen sind:

**Der Akkuschrauber:** Astronauten müssen in ihren Raumanzügen teils diffizile Arbeiten erledigen, zum Beispiel mit ihren dicken Handschuhen Schrauben lösen oder eindrehen. Akkuschrauber erleichtern das. Den ersten Schraubenzieher mit Akkubetrieb hat 1961 die amerikanische Firma Black & Decker auf den Markt gebracht. Black & Decker entwickelte in der Folgezeit für die NASA mehrere akkubetriebene Werkzeuge, u.a. für die Apollo-Mondlandungen. Dabei halfen NASA-Ingenieure, die Technik möglichst kompakt und leicht zu machen und den Energieverbrauch zu senken. Heimwerker freuen sich bis heute über diese Verbesserungen ...

**Die Formel 1:** Während eines Raketenstarts treten starke Vibrationen auf, die für empfindliche Geräte schädlich sein können. Daher sind die Instrumente mit Hightech-Gummis gedämpft. Ähnliche Anforderungen an die Dämpfung gibt es heute bei Rennwagen in der Formel 1, wo ja ebenfalls starke Stöße oder Vibrationen auftreten können. Inzwischen sorgen die raumfahrterprobten Hightech-Gummis auch dort für mehr Sicherheit.

**Die Telemedizin:** Wenn Astronauten einen Ausstieg aus der Raumstation unternehmen, kontrollieren die Ärzte vom Boden aus ihre wichtigen Lebensfunktionen wie etwa die Pulsfrequenz. Diese als Telemedizin bezeichnete Diagnose aus der Ferne kommt auch auf der Erde zum Einsatz. So hat das DLR in einem Projekt getestet, wie man Risiko-Babys, die aufgrund einer Veranlagung vom sogenannten Plötzlichen Kindstod bedroht sind, überwachen kann. Auch die Lebensqualität vieler älterer Menschen kann durch die Telemedizin enorm gesteigert werden: Statt wegen eines Gesundheitsproblems ins Pflegeheim zu müssen, kann man weiter in den eigenen vier Wänden leben – unter ärztlicher Betreuung aus der Ferne. Andere Beispiele aus der Medizin sind Verfahren zur Messung der Lungenfunktion, die u.a. bei der künstlichen Beatmung von Patienten eingesetzt werden, oder Sensoren zur Messung der Körperkerntemperatur, angewendet bei Herztransplantationen und auch in Helmen von Minenarbeitern oder Feuerwehrleuten.

Es gibt viele andere Beispiele – hier noch ein eher „exotischer“ Fall des Technologie-Transfers aus der Raumfahrt: das Abfüllen von Kartoffelchips. Je genauer man die Flugeigenschaften eines Raumfahrzeugs kennt, desto zuverlässiger lässt es sich konstruieren. Damit die Konstrukteure exakte Daten zur Hand haben, finden auch Tests mit Modellen im Windkanal statt. Dadurch konnte ein deutscher Hersteller von Verpackungsmaschinen ein ganz irdisches Problem lösen: wie sich Kartoffelchips möglichst schnell in Tüten abfüllen lassen. Das aerodynamische Verhalten von Raumfahrzeugen und Kartoffelchips ähnelt sich nämlich. Dank der Untersuchungen, die im Auftrag der ESA erfolgt waren, konnte der Verpackungsmaschinenhersteller das Eintüten der Kartoffelchips um 30 bis 50 Prozent schneller machen.

## 6. Spannende Mitmach-Experimente

In diesem Kapitel findet ihr Experimente zur Gravitation und Schwerelosigkeit sowie zu weiteren Fragestellungen, die für die Raumfahrt von Bedeutung sind. Am besten lassen sich die Experimente in Kleingruppen durchführen.

### Schwerelosigkeit auf dem Trampolin

Für kurze Zeit könnt ihr mit ganz einfachen Mitteln schwerelos werden. Hier erfahrt ihr, wie das beim Trampolinspringen geht.



#### Materialien und Hilfsmittel

- 1 Trampolin
- 1 Apfel oder 1 Mandarine (ca. halber Maximalwert der Waage)
- 1 kleine analoge Experimentierwaage
- 1 Smartphone
- 1 Schachtel oder Plastikbox
- 1 Rolle Tesafilm, mehrere Stücke doppelseitiges Klebeband

#### Vorbereitung, Aufbau und Durchführung

##### Step 1:

Ihr fixiert die Waage im Inneren der Schachtel auf dem Unterboden mit dem doppelseitigen Klebeband.

##### Step 2:

Ihr fixiert das Smartphone im Inneren der Schachtel auf der Waage gegenüberliegenden Seite mittels Tesafilm so, dass die Anzeige der Waage gut im Videobild zu erkennen ist. Ihr müsst später ablesen, ob sich an der Anzeige etwas verändert hat. Ihr legt den Apfel (oder einen ähnlich schweren Körper) auf die Waage und fixiert ihn locker mit dem Klebeband auf der Waagschale, damit er nicht zur Seite rollt.

##### Step 3:

Ihr baut in der Turnhalle das Trampolin auf und macht ein paar Probesprünge. Es geht nicht um sportliche Höchstleistungen oder Überschlüge, sondern um gleichmäßiges Hüpfen.

##### Step 4:

Ihr aktiviert die Videofunktion am Smartphone und reicht die Schachtel mit dem darin befindlichen Versuchsaufbau dem Springer. Die Messanordnung muss waagrecht gehalten werden.

##### Step 5:

Euer Springer führt ca. zehn Sprünge mit der Schachtel in der Hand durch. Das Smartphone zeichnet dabei die Anzeige der Waage auf.

#### Auswertung und Ergebnisse

Wenn ihr den Versuch ausgeführt habt, entnehmt das Smartphone. Betrachtet dann das Video und notiert eure Beobachtungen. Findet heraus, in welchen Phasen des Springens die angezeigte Masse der Ruhemasse des Körpers entspricht, wann sie größer als diese und wann sie ungefähr null ist. Wie lässt sich das erklären?



## Fallkapsel

Nicht nur Wissenschaftler können Fallturm-Experimente machen. Hier die Anleitung für einige spannende Mitmach-Experimente. Findet heraus, was mit Wasser und Luft sowie anderen Dingen in Schwerelosigkeit passiert!

### Materialien und Hilfsmittel für die Fallkapsel

- stabile Plastikbox, durchsichtig, mit Deckel
- selbstklebendes Klettband
- Kamera, möglichst mit SD-Kartenfach an der Seite
- Schere, Cuttermesser
- Tesafilm, Kleber
- Pappe, weißes Papier, evtl. Korke
- Kissen



### Materialien für drei Experimente

- 1 Konservendose
- schwarze Farbe
- 2 Teelichter
- 1 sehr kleine durchsichtige Flasche/Marmeladenglas
- 2 Ringmagnete
- 1 Holzstäbchen

### Bau der Fallkapsel

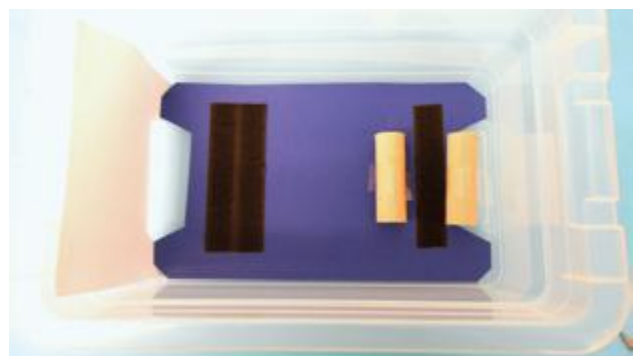
#### Step 1:

Grundlage für eure Kapsel ist die Plastikbox. Es ist wichtig, dass die Plastikbox einen ebenen Boden hat, damit ihr die Kamera und die Experimente gut befestigen könnt. Wenn also Unebenheiten im Boden sind, müsst ihr sie mit Pappe ausgleichen.

#### Step 2:

Nun müsst ihr an die zukünftigen Positionen der Kamera und der Experimente die eine Seite des Klettbandes kleben. Spart nicht mit Klettband, denn alles soll beim Fallen möglichst fest sein. Zusätzlich solltet ihr hinter und vor die Position der Kamera Korke oder Pappe kleben, damit diese einen festen Halt hat und nicht wackelt. Auf die Unterseite eurer Kamera klebt ihr die flauschige Seite des Klettbandes. Zum Schluss klebt ihr an die Wand hinter den Experimenten weißes Papier, damit man alles später besser beobachten kann.

Jetzt sollte eure Box ungefähr so aussehen:



## Bau der Experimente



**Wasser-Luft-System:** Für dieses Experiment füllt ihr das Fläschchen fast ganz mit Wasser, lasst aber ein wenig Luft drin. Anschließend dreht ihr es gut zu und klebt auf den Deckel die flauschige Seite des Klettbands – fertig.



**Magnetisches Gravimeter:** Um Magnete in der Schwerelosigkeit beobachten zu können, nehmt ihr das Holzstäbchen, legt die Magnete mit gleichnamigen Polen aneinander und befestigt etwas Pappe am Ende des Stabs, damit die Magnete nicht wieder abrutschen können.

Um das Holzstäbchen in der Fallkapsel zu befestigen, stecht ihr es in ein umgekehrtes Teelicht. An dieses Teelicht kann nun das Klettband geklebt werden.

**Feuer:** Zuerst solltet ihr die Blechdose an einer Stelle ein wenig platt drücken, damit sie auf dieser Seite stabil liegen kann und nicht rollt. Streicht die Innenseite mit schwarzer Farbe an – dann kann man später die Kerzenflamme besser erkennen.

Auf die etwas ebenere Fläche klebt ihr außen das Klettband. Auf die Innenseite der Konservendose klebt ihr zum Schluss ein Teelicht, das dann vor dem Versuch angezündet wird.

## Durchführung der Experimente

Um nun die Experimente durchzuführen, klettert ihr ein Experiment eurer Wahl und die Kamera in die Kapsel. Macht die Kamera an, startet eine Videoaufzeichnung und schließt den Deckel der Fallkapsel. Jetzt steigt einer von euch auf einen Stuhl oder Tisch und lässt die Fallkapsel auf die Kissen fallen.



## Auswertung und Ergebnisse

Nach den Fallexperimenten nehmt ihr die Kamera wieder heraus und baut die SD-Karte aus. Dann könnt ihr eure Versuche mit einem normalen Media-Player am Computer ansehen.

**Wasser-Luft-System:** Wie haben sich das Wasser und die Luft verhalten? Und warum?

**Magnetisches Gravimeter:** Wie waren die Magnete vor dem Fall angeordnet? Welche Kräfte wirkten? Welche Kräfte wirken während des Falls? Wie bewegen sich die Magnete?

**Feuer:** Was passiert mit der Form der Flamme? Warum? Überlegt euch dazu, warum eine Kerze überhaupt brennt. Ein weiterer Tipp: Heiße Luft ist leichter als kalte Luft.

## Robotersteuerung

Roboter spielen in der Raumfahrt eine wichtige Rolle. Schlüpft selbst in die Rolle eines Roboters und erfahrt, wie schwierig es ist, selbst einfachste Steuerungssequenzen auszuführen.

### Materialien und Hilfsmittel

- 1 Paar dicke Handschuhe
- 1 Tuch zum Verbinden der Augen
- 1 Tisch
- mehrere Objekte wie z.B. Bauklötze für verschiedene Aufgaben

### Vorbereitung und Aufbau

Bei diesem Experiment spielt ihr „Roboter“. Aber erst einmal hier einige Hintergrund-Informationen: Damit ein Roboter so gut agieren kann wie ein Mensch, muss er seine Umwelt wahrnehmen und auch „gefühlvoll“ greifen können. Das geschieht mittels vieler Sensoren: Kameras ersetzen die Augen, Sensoren an den „Fingern“ erkennen, wie fest der Roboter zupacken muss. Abhängig vom jeweiligen Einsatzszenario wird ein Roboter entweder ferngesteuert oder so programmiert und quasi „schlau“ gemacht, dass er bestimmte Arbeiten auch allein mit seiner „lokalen Intelligenz“ durchführen kann. Letzteres ist vor allem dann erforderlich, wenn die Kommandosignale zu lange unterwegs wären – etwa bei Rovern auf dem Mars, da Signale bei der großen Distanz zur Erde viele Minuten unterwegs sind. Direkt gesteuert wird dagegen der große Roboterarm, der sich außen an der ISS befindet und mit dem die Crew z.B. die Dragon-Frachtschiffe „einfängt“. Wie schwierig eine solche Steuerung eines Roboterarms technisch zu verwirklichen ist, könnt ihr euch in diesem Experiment veranschaulichen: Einer von euch spielt dabei den Roboterarm, der andere übernimmt die Steuerung. Der „Roboterarm“ bekommt die Augen verbunden und steht vor einem Tisch. Darauf wird jetzt ein Gegenstand platziert – oder es liegen dort z.B. mehrere Bauklötze, aus denen ein Turm gebaut werden muss.

### Durchführung

Die Steuerung dirigiert den Roboter nun mit sechs Kommandos (vor/zurück, rechts/links, hoch/runter), bis der Roboterarm die Aufgabe ausgeführt hat.

In einem zweiten Durchlauf trägt der Roboterarm dicke Handschuhe, sodass er beim Greifen den Gegenstand nicht mehr so gut spüren kann.

Für viele Anwendungen – etwa in der Medizin – muss die Robotersteuerung in Echtzeit erfolgen, also ohne Zeitverzögerung. Im dritten Durchgang solltet ihr daher möglichst verzögerungsfrei arbeiten. Wie nah kommt ihr an eine „Echtzeitfähigkeit“ heran?

### Auswertung und Ergebnisse

Welche typischen Probleme entstehen bei der Aufgabe? Überlegt euch, wie sich das Auffinden des Gegenstands auf dem Tisch und das Greifen schneller erreichen lassen. Versucht dabei, wie ein Roboter-Entwickler zu denken: Wie kann ich die Hardware verbessern? Wie kann ich die Software verbessern? Recherchiert auf [www.DLR.de](http://www.DLR.de) bzw. [www.DLR.de/next](http://www.DLR.de/next) und YouTube zum Stichwort JUSTIN – so heißt der intelligente Roboter des DLR.



Robotische Fahrzeuge wie der Mars-Rover Curiosity müssen im Notfall selbst erkennen, ob ein Hang für sie zu steil ist. Bild: NASA



Wenn ihr euch mehr mit Robotern und Rovern beschäftigen wollt: Der DLR-Rover Asuro ist für Schüler konzipiert, die sich bereits etwas mit Programmieren und auch handwerklichen Arbeiten wie Lötten auskennen. Bild: DLR

## Pflanzenwachstum

Woher weiß eine Pflanze, wohin sie wachsen muss? In diesem Experiment erfahrt ihr, woran sich die Kresse „orientiert“ und wie ihr sie bei ihrem Wachstum täuschen könnt.

### Materialien und Hilfsmittel

- Drehteller mit Motor aus der Physiksammlung
- 3 Halterungen, um eine Schale unter Winkeln von 0°, 45° bzw. 90° auf einer waagerechten Platte zu befestigen
- 4 flache Schalen mit einigen Zentimetern Durchmesser und Rand (Deckel von Verpackungen, Petrischalen ...)
- Kressesamen
- 4 Wattepad (Drogeriemarkt) als „Nährboden“ für die Kresse

### Vorbereitung und Aufbau

Woher weiß eine Pflanze, wo oben und unten ist? Liegt es am Tageslicht oder an der Schwerkraft? Bei diesem Experiment untersucht ihr den Zusammenhang zwischen Pflanzenwachstum und Beschleunigung. Der Versuch erfordert eine Durchführungszeit von ca. vier Tagen, während denen das Experiment unbeaufsichtigt laufen kann. Es muss nur sichergestellt sein, dass jemand die Kresse in regelmäßigen Abständen gießt (einmal pro Tag).

Zunächst säht ihr die Kresse auf den Wattepad aus und trinkt die Pads mit Wasser. Legt die Wattepad dazu in die flachen Schalen. Befestigt drei der Schalen so auf dem Drehteller, dass sie gleichmäßig verteilt sind. Die eine Schale sollte parallel zum Drehteller stehen, die andere unter einem Winkel von 45°, die dritte senkrecht zum Drehteller (ein Klebestreifen verhindert, dass das Wattepad wegrutscht). Die vierte Schale bleibt für die Referenzmessung neben dem Drehteller ruhig stehen; die Kresse in ihr wird aber genauso mit Wasser versorgt.

### Durchführung

Lasst den Drehteller mit der Kresse ca. vier Tage lang laufen und unterbricht die Rotation nur zum Gießen. Die Kresse-Keimlinge wachsen rasch: Schon nach zwölf Stunden ist etwas zu erkennen. Nach wenigen Tagen sind die Keimlinge bereits mehrere Zentimeter lang.



### Auswertung und Ergebnisse

In welche Richtung zeigen die Keimlinge in den vier Gefäßen? Wie lassen sich die Unterschiede erklären? Überlegt dabei, welche Beschleunigungen die Keimlinge auf dem Drehteller erfahren.

Die separat stehende „Referenz-Kresse“ erfuhr eine Beschleunigung von  $9,81 \text{ m/s}^2$ . Schätzt ab, welcher Beschleunigung die Kresse-Proben auf dem Drehteller ausgesetzt waren.

#### Hinweis:

**Beschleunigung = (Geschwindigkeit)<sup>2</sup> : Radius des Drehtellers; Geschwindigkeit =  $2\pi \cdot$  Radius des Drehtellers  $\cdot$  Umdrehungszahl des Drehtellers**

Vergleicht euer Ergebnis mit den typischen Beschleunigungen, denen Raumfahrer bei Start und Landung ausgesetzt sind. Der Drehteller mit Motor ist im Prinzip nichts anderes als eine Zentrifuge. Raumfahrer gewöhnen sich im Rahmen der Ausbildung ebenfalls in Zentrifugen an hohe Beschleunigungen.

Die Schwerkraftwahrnehmung von Pflanzen ist auch ein Forschungsgebiet auf der ISS. Dabei werden Pflanzen zum einen in Schwerelosigkeit gezüchtet, zum anderen befinden sich an Bord Zentrifugen, auf denen durch die Beschleunigung so etwas wie künstliche Schwerkraft erzeugt wird. In verschiedenen Durchgängen – mal langsamer drehend, mal schneller – lässt sich so ermitteln, ab welchem Wert eine Pflanze auf Schwerkraft reagiert, wie empfindlich also ihre „Sensoren“ sind.

## Nebelkammer

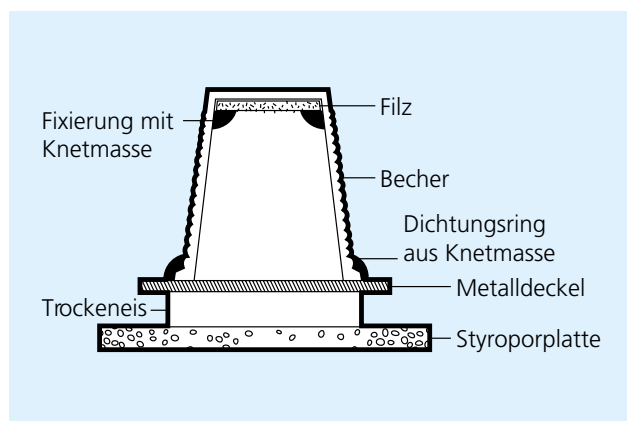
Bei diesem Experiment müsst ihr fast schon detektivische Arbeit leisten: Ihr seid der kosmischen Strahlung auf der Spur!

### Materialien und Hilfsmittel

- 1 durchsichtiger Kunststoffbecher
- 1 schwarzer oder geschwärzter Metalldeckel, der einen etwas größeren Durchmesser als der Becher hat
- Knetmasse
- 1 Styroporplatte
- 1 Stück dicker Filz oder ein anderes saugfähiges Material
- einige Milliliter reiner Alkohol (Isopropanol)
- Trockeneis
- Taschenlampe oder neigbare Lampe
- Schutzhandschuhe und -brille

### Sicherheitshinweis

Reiner Alkohol reizt Haut und Schleimhäute. Trockeneis kann Kälteverbrennungen verursachen. Daher beim Umgang mit diesen Substanzen Schutzbrille und Handschuhe tragen und Umsicht walten lassen! Das Experiment darf nur unter Aufsicht von Lehrkräften durchgeführt werden!



### Vorbereitung und Aufbau

Den Filz so zuschneiden, dass er den Becherboden bedeckt, und ihn dort mit Knetmasse fixieren. Ein zweites Stück Knetmasse um den Becherrand legen und dort gut andrücken. Anschließend den Filz gründlich mit

Alkohol tränken (überschüssigen Alkohol wieder abgießen). Trockeneis auf der Styroporplatte über eine Fläche verteilen, die ungefähr dem Durchmesser des Bechers entspricht. Darauf dann den Metalldeckel legen. Zum Schluss den Becher kopfüber auf den Metalldeckel stellen und die Knetmasse am Rand so andrücken, dass keine Luft in den Becher gelangen kann. Einige Minuten ruhig stehen und abkühlen lassen. Fertig ist die Nebelkammer.

### Durchführung

Wenn ihr im verdunkelten Raum die Nebelkammer mit der Lampe flach von der Seite beleuchtet, werdet ihr immer wieder weiße Spuren kurz aufleuchten sehen, die an Kondensstreifen am Himmel erinnern. Beobachtet eine Weile und versucht möglichst genau zu beschreiben, was ihr seht.

### Auswertung und Ergebnisse

Die Erde wird ständig von energiereichen Teilchen aus dem All bombardiert. Sie stammen von der Sonne, anderen Sternen oder anderen Galaxien. Unsere Erdatmosphäre verhindert, dass sie bis auf den Boden gelangen, weil die kosmischen Teilchen mit Luftmolekülen zusammenstoßen und dann in eine Vielzahl neuer energieärmerer Teilchen zerfallen. Solche sogenannten Sekundärteilchen kommen auch am Boden an und lassen sich in der Nebelkammer beobachten. Erklärt das Prinzip der Nebelkammer (recherchiert auch im Internet dazu). Überlegt euch vorab, was im Winter geschieht, wenn ihr in kalter Umgebung ausatmet, oder wie die Kondensstreifen am Himmel zustande kommen.

Sehen alle Spuren in der Nebelkammer gleich aus? Vermutlich werdet ihr viele dünne, geradlinige Spuren verfolgen können. Manchmal ist aber vielleicht auch eine dicke, kürzere Spur zu sehen. Diskutiert mit eurer Lehrkraft, welche Spuren durch welche Teilchen erzeugt werden.

In der Physik spielten Nebelkammern über Jahrzehnte eine wichtige Rolle, um Teilchen zu erforschen. Heutzutage sind an ihre Stelle (opto-)elektronische Detektoren getreten.

## 7. Wohin geht die Reise?

### Was kommt nach der ISS?

Die ISS wird noch einige Jahre betrieben. Als mögliche Ziele künftiger bemannter Missionen gelten zunächst der Mond und langfristig auch der Mars.



## ► Finde es heraus!

### Raumstation mit künstlicher Schwerkraft?

Schon lange vor Beginn der Raumfahrt haben Wissenschaftler und auch Science-Fiction-Autoren über Raumstationen nachgedacht. Etwa der britische Physiker John Desmond Bernal Ende der 1930er-Jahre mit riesigen utopischen Konstruktionen, später in den 1950ern Wernher von Braun, der berühmte „Vater“ des Apollo-Programms, und in den 1970ern der US-amerikanische Physiker Gerard Kitchen O'Neill. Die Vorschläge sahen häufig gigantische Ringe oder Zylinder vor, die um ihre eigene Achse rotieren. Eine der bekanntesten Raumstationen aus der Welt des Films ist sicherlich Stanley Kubrick in

dem Science-Fiction-Klassiker „2001: Odyssee im Weltraum“ gelungen: ein riesiges Rad, das zu Walzermusik im All rotierte.

Hast du eine Idee, warum man an Raumstationen dachte, die um ihre eigene Achse rotieren? Denk noch mal an das Thema Schwerelosigkeit! Angenommen eine solche Raumstation hat einen Durchmesser von 1,6 Kilometern. Wie schnell müsste sie rotieren, damit man dieselbe Anziehungskraft wie auf der Erde spürt (die irdische Beschleunigung ist  $9,81 \text{ m/s}^2$ )? Welche Anziehungskraft herrscht im Mittelpunkt einer solchen Raumstation?

Der Mond bietet den Vorteil, dass er sich quasi vor unserer Haustür befindet. Eine Reise dorthin dauert nur drei Tage, während man zum Mars hin und zurück rund zwei Jahre benötigt. Der Mond könnte also ein gutes Übungsfeld für einen späteren Flug zum Mars mit dortigem Aufenthalt sein. Der deutsche Astronaut Alexander Gerst hat dies in einem Interview mal so formuliert: „Wenn ich mir ein neues Zelt kaufe und damit die Sahara durchqueren will, dann sollte ich es vielleicht vorher noch mal im Harz aufbauen.“ Der Mond ist aber auch noch aus anderen Gründen interessant. Er hat keine Atmosphäre, sodass dort das Licht der Sterne mit Teleskopen völlig ungestört zu sehen wäre – ideale Bedingungen für astronomische Beobachtungen! Auf der Erde dagegen müssen Astronomen einen großen Aufwand betreiben, um durch unsere Lufthülle hindurch hochaufgelöste Bilder des Weltalls zu erhalten. Daneben könnte der Mond auch als Rohstoffquelle interessant sein – etwa zum Abbau einer bestimmten Form des Edelgases Helium, ge-

nannt Helium-3. Es kommt auf dem Mond in großen Mengen vor und wäre ein idealer „Brennstoff“ für die Kernfusion. Technisch ist das alles aber noch nicht geklärt und wirklich Zukunftsmusik – und es gibt auch viele Kritiker der Kernfusion, die diese Technologie entschieden ablehnen.

Auch ein astronautischer Flug zum Mars wird zurzeit diskutiert. Erste Tests und Studien gibt es bereits. Der Nachbarplanet unserer Erde gilt als der wahrscheinlichste Kandidat für einfache außerirdische Lebensformen in unserem Sonnensystem. Befürworter einer bemannten Mission glauben, dass Astronauten für die Suche besser geeignet wären als automatische Mars-Fahrzeuge, die in den vergangenen Jahren dort gelandet sind und viele Bodenproben genommen und analysiert haben. Zweifellos können Menschen viel flexibler auf die Situation vor Ort reagieren. Andererseits wäre der Aufwand für eine solche Mission enorm.

## ► Finde es heraus!

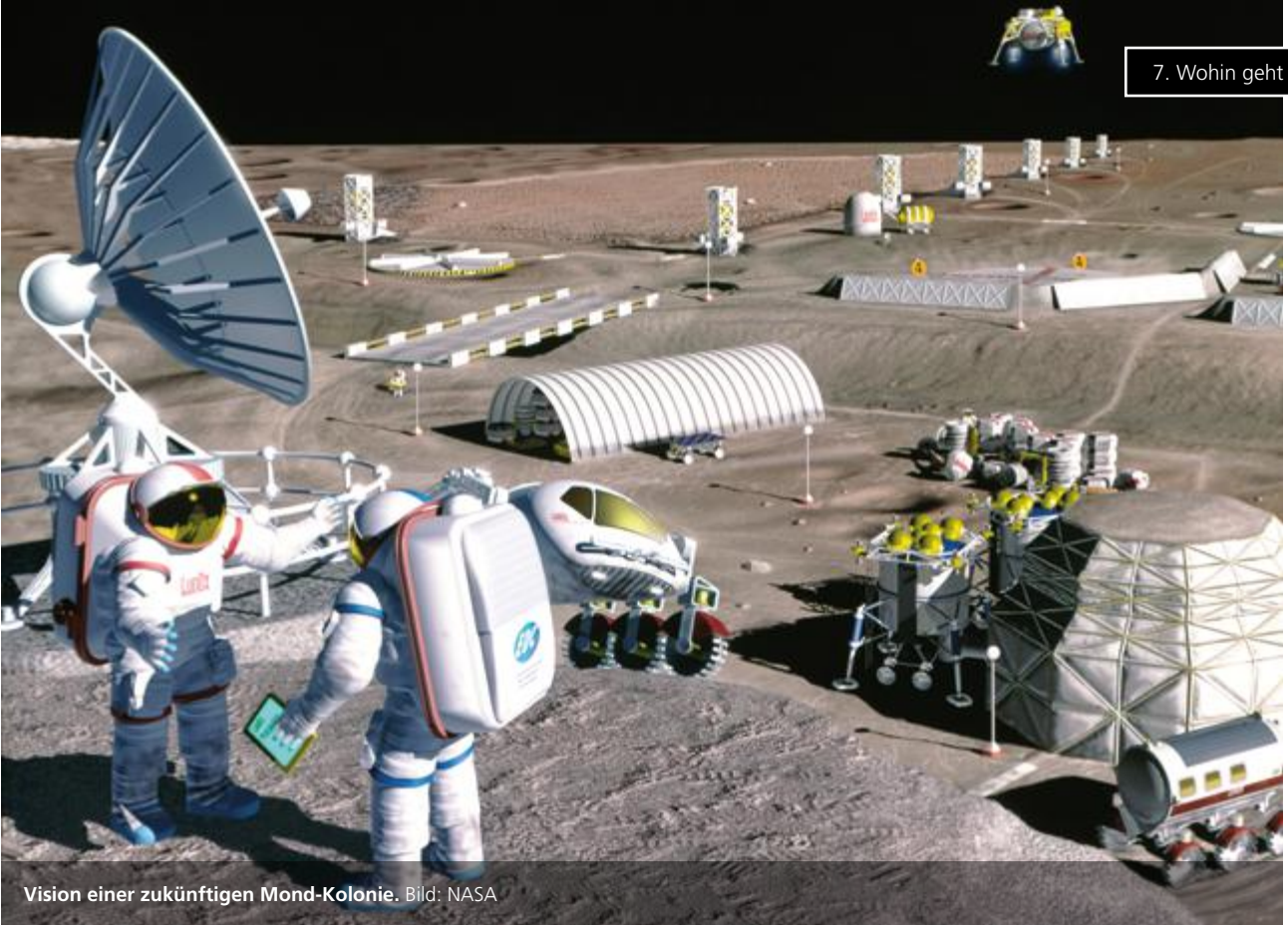
### Reise zum Mars

Recherchiert und diskutiert mal die Probleme einer Reise zum Mars! Fallen euch Lösungen für die vielen offenen Fragen ein?



Bei der ESA-Studie Mars-500 simulierten mehrere Teilnehmer einen Flug zum Mars. Sie verbrachten rund 500 Tage in dem „Raumschiff“ und stiegen auch auf einer nachgebildeten Mars-Oberfläche aus. Bild: ESA





Vision einer zukünftigen Mond-Kolonie. Bild: NASA

## Schon gewusst?

### Urlaub im All

Am 28. April 2001 flog der erste Weltraumtourist ins All: der amerikanische Geschäftsmann Dennis Tito. Er zahlte für einen Flug zur ISS etwa 20 Millionen US-Dollar. Sechs Tage blieb er an Bord und erfüllte sich damit einen Kindheitstraum. Danach sind weitere Weltraumtouristen auf der ISS gewesen. Noch können sich das alles natürlich nur wenige Personen leisten.

Doch wer weiß? Auch die Luftfahrt hat einmal so angefangen – und heute fliegen Millionen Menschen wie selbstverständlich mit dem Flugzeug in den Urlaub. Inzwischen haben auch bereits mehrere Unternehmen angekündigt, dass sie in Zukunft regelmäßig Menschen ins All befördern wollen.

Und viele technische Fragen sind noch ungelöst: Wie kann man die Crew vor der kosmischen Strahlung schützen? Muss man einen Teil der Fracht und Vorräte mit einem unbemannten Raumschiff zum Mars schicken? Und wie stellt man sicher, dass die Crew dann genau dort landet? Ist künstliche Schwerkraft – etwa durch ein rotierendes Raumschiff – auf der langen Reise nötig, damit die „Marsonauten“ bei der Rückkehr zur Erde die enormen Strapazen des Wiedereintritts verkraften?

Aber egal ob Mond oder Mars – letztlich wird wohl kein Staat allein diese gewaltigen technischen und finanziellen Herausforderungen schultern können oder wollen. Vielmehr dürfte wie bei der ISS auch bei künftigen bemannten Missionen gelten: Viele Nationen tragen ihren Teil zum großen Ganzen bei – in einer gemeinsamen, völkerverbindenden Anstrengung und einem großen Menschheitsprojekt.

## 8. Berufe in der Raumfahrt



Raumfahrt fasziniert nicht nur viele Menschen, sondern ist auch ein interessantes Arbeitsfeld. Jobs und Ausbildungsplätze gibt es in der Industrie, bei Raumfahrtorganisationen wie dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt oder der Europäischen Raumfahrtagentur ESA und in weiteren Einrichtungen wie etwa auch Hochschulen.

**Astronauten** werden in Europa von der ESA ausgebildet. Bewerben kann man sich nur während offizieller Ausschreibungen, die unregelmäßig im Abstand von mehreren Jahren erfolgen. Als Astronaut trainiert man natürlich vor allem für Raumflüge, betreut aber auch vom Bodenkontrollzentrum aus Kollegen während ihrer Flüge. Außerdem nimmt man an Konferenzen teil, hält wissenschaftliche Vorträge und gibt den Medien Interviews. Als Astronauten-Bewerber bei der ESA muss man ein Hochschulstudium in einer naturwissenschaftlichen Disziplin bzw. in Ingenieurwissenschaften abgeschlossen haben und bereits als Wissenschaftler gearbeitet haben. Hinzu kommen viele andere Auswahlkriterien – und am Ende werden aus mehreren Tausend Bewerbern nur ganz wenige ausgewählt.

Die Raumfahrt ist eine enorme Herausforderung – an der Grenze des Machbaren. Daher spielen technologische Entwicklungen eine wichtige Rolle. Sowohl in der Industrie als auch an wissenschaftlichen Einrichtungen und Hochschulen forschen Experten dazu. Das können **Ingenieure, Informatiker, Physiker** oder **Chemiker** sein. Für Ingenieure gibt es auch eine Studienrichtung „Luft- und Raumfahrttechnik“. Thematisch reicht die Spanne in der Forschung von der Entwicklung neuer Raketentriebwerke über Software für die Steuerung von Raumfahrtsystemen bis zur Grundlagenforschung unter Weltraumbedingungen. In der Industrie oder bei Raumfahrtagenturen arbeiten **Wissenschaftler** auch oft als **Projektmanager**. Sie sind dafür verantwortlich, dass neue Komponenten, Experimente oder ganze Raumfahrzeuge fristgerecht fertig werden und die entsprechenden Anforderungen technisch erfüllt werden.

Jeder Flug ins All wird aus Kontrollzentren überwacht. Hier sitzen Spezialisten, die das Raumfahrzeug und die Mission haargenau kennen. Sie halten Kontakt zur Crew und analysieren die von Bord empfangenen Daten. Wenn Fragen auftreten, diskutieren sie mit Wissenschaftlern und weiteren Experten am Boden die beste Lösung und sind die Schaltzentrale, wenn „da oben“ Probleme zu lösen sind.



Konzentriert sind diese Mitarbeiterinnen im Kontrollzentrum Oberpfaffenhofen bei der Arbeit. Bild: DLR

Wer im Kontrollzentrum arbeitet, muss klar und strukturiert handeln können, auch wenn es mal hektisch wird. Viele Mitarbeiter haben ein Hochschulstudium absolviert, zum Beispiel als Ingenieur oder Informatiker. In Deutschland gibt es zwei große Kontrollzentren: das Raumfahrt-Kontrollzentrum des DLR in Oberpfaffenhofen und das European Space Operations Centre (ESOC) der ESA in Darmstadt. Die **Experten in den Kontrollzentren** kümmern sich nicht nur um bemannte ISS-Missionen, sondern auch um viele Satelliten und Raumsonden.

Nur gesunde Astronauten dürfen ins All starten. **Raumfahrtmediziner** betreuen sie mit Blick auf ihren Gesundheitszustand vom Auswahlverfahren bis nach dem Flug. Anders als im Krankenhaus oder in einer Arztpraxis hat es ein Raumfahrtmediziner also gewöhnlich mit gesunden Menschen zu tun, die allerdings extremen Belastungen ausgesetzt sind. Neben der medizinischen Überwachung der Astronauten wirken viele Raumfahrtmediziner auch in der Forschung mit. Im Lauf der Zeit hat sich so mit der Weltraummedizin ein eigenständiger Teilbereich der Medizin entwickelt.

In der Raumfahrt sind keineswegs nur Menschen mit Hochschulabschluss gefragt. Auch Fachkräfte, die einen **Ausbildungsberuf** erlernt haben, sind wichtig – vom **Elektroniker** bis zum **Industriemechaniker**. Einrichtungen wie das DLR bilden in rund 20 Ausbildungsberufen aus. Oft geht es in der Raumfahrt nicht wie in anderen Industriezweigen um eine Serienfertigung, sondern um Prototypen oder Einzelanfertigungen. Die Qualitätsanforderungen sind dabei teils noch höher als bei industriell gefertigten Produkten.





## Impressum

Herausgeber	<b>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.</b> Linder Höhe 51147 Köln www.DLR.de
Autor	Michael Vogel ( <a href="http://www.mv-vogel.de">www.mv-vogel.de</a> )
Redaktion	Dr. Volker Kratzenberg-Annies (DLR), YAEZ GmbH
Gestaltung	YAEZ GmbH, CD Werbeagentur
Druck	Frank Druck GmbH & Co. KG Industriestr. 20 24211 Preetz
Herstellung und Vertrieb	YAEZ GmbH Kornbergstr. 44 70176 Stuttgart
Bestellung und Download	<a href="http://www.DLR.de/next">www.DLR.de/next</a>
E-Mail	<a href="mailto:DLR_School_Info@yaez.com">DLR_School_Info@yaez.com</a>
Telefon	0711 997983-24
ISSN:	2194-0924
2. aktualisierte Neuauflage:	10/2020

## 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. Das DLR kann keine Garantie für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Durchführbarkeit der hier beschriebenen Experimente geben. Das DLR übernimmt keine Haftung für Schäden, die bei Durchführung der hier vorgeschlagenen Mitmach-Experimente entstehen.

Das DLR übernimmt keine Verantwortung oder Gewähr für die Richtigkeit der Inhalte auf genannten Webseiten Dritter.

## Hinweis zur Genehmigung des Nachdrucks

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 e.V. (DLR).

## Gender-Hinweis

Im Interesse der leichteren Lesbarkeit und damit der Verständlichkeit wird nur die verallgemeinerte männliche Sprachform verwendet. Hierbei sind aber immer ausdrücklich beide Geschlechter angesprochen.

Diese Broschüre wurde auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt.



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt

## Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) ...

... ist mit rund 9.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern eine der größten und modernsten Forschungseinrichtungen Europas. In unseren 27 Standorten werden unter anderem die Flugzeuge der nächsten Generation entwickelt, Raketentriebwerke getestet oder auch Bilder von fernen Planeten ausgewertet. Außerdem beschäftigt sich das DLR mit umweltfreundlichen Verfahren zur Energiegewinnung, Technologien für die mobile Gesellschaft von morgen und vielen anderen spannenden Zukunftsthemen.

Unsere Begeisterung für die Forschung geben wir gerne an junge Menschen weiter. So können Schulklassen bzw. -kurse nach Voranmeldung unsere Schülerlabore, die [DLR\\_School\\_Labs](http://DLR_School_Labs), besuchen – Infos unter [www.DLR.de/dlrschoollab](http://www.DLR.de/dlrschoollab)

Daneben bieten wir auf unserem Jugendportal [DLR\\_next](http://DLR_next) – siehe [www.DLR.de/next](http://www.DLR.de/next) – altersgerechte Informationen für junge Leute an. Und mit Unterrichtsmaterialien wie der [DLR\\_School\\_Info](http://DLR_School_Info) wollen wir die Behandlung aktueller Forschungsthemen im Unterricht unterstützen.

## ► [DLR\\_next](http://DLR_next)

Was erleben Astronauten im Weltraum? Warum können Flugzeuge überhaupt abheben und fliegen? Wie sieht die „Energie-Welt“ der Zukunft aus? Und was tanken wir, wenn's eines Tages kein Öl und Benzin mehr gibt? Diese und viele andere Fragen rund um die Forschung beantworten wir im Internet auf [DLR\\_next](http://DLR_next). Neben spannenden Infos gibt es da auch jede Menge Bilder und Videos. Und noch viel mehr! Da könnt ihr eine virtuelle Reise durchs Sonnensystem unternehmen, selbst das Zukunftsauto konstruieren, euer Geschick als Fluglotse testen oder beim Energie-Quiz mitmachen. Schaut mal rein unter [www.DLR.de/next](http://www.DLR.de/next) – Infos mit garantiertem Spaßfaktor ;-)