



Sicherheit und Gesundheit in der kommerziellen Raumfahrt

Ein Perspektivwechsel für die Gefährdungsbeurteilung bei Zukunftstechnologien

Impressum

Herausgeberin

Berufsgenossenschaft
Verkehrswirtschaft Post-Logistik
Telekommunikation (BG Verkehr)
Geschäftsbereich Prävention
Ottenser Hauptstraße 54
22765 Hamburg
Tel.: +49 40 3980-0
E-Mail: praevention@bg-verkehr.de
Internet: www.bg-verkehr.de

Projektleitung

Dr. med. Jörg Hedtmann (BG Verkehr)

Bildnachweise

Abbildungsverzeichnis Seite 66

Layout

Andrea Adler & Alice Hubert, hauptsache:design, Mainz

Druck

Mediadruckwerk GmbH & Co. KG
1. Auflage, Februar 2025

© Copyright

Die Inhalte dieses Werks sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urhebergesetz zugelassen ist, bedarf der Einwilligung der BG Verkehr und wird nur gegen Quellenangabe und Belegexemplar gestattet. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Ausgenommen sind Vervielfältigungen, die zur internen Nutzung in den Mitgliedsbetrieben der BG Verkehr verwendet werden.

Vorwort

Heute sind noch ungefähr zwei Drittel aller Weltraumfahrenden professionelle Astronauten und Astronautinnen der nationalen Agenturen. In den nächsten zwanzig Jahren wird sich das Verhältnis zugunsten kommerzieller und privater Astronauten und Astronautinnen umgekehrt haben. Wenn Deutschland seinen Anspruch an der Gestaltung der Zukunft aufrechterhalten möchte, führt an der Raumfahrt, inklusive der astronautischen Raumfahrt, kein Weg vorbei. Wir müssen jetzt also dringend den Blick auf den Arbeitsplatz Raumfahrzeug oder Raumstation werfen – als Ort der Forschung, aber auch als Arbeitsplatz innerhalb der Transport- und Verkehrswirtschaft.

Davon abgesehen erkennen wir hier eine der selten gewordenen Gelegenheiten, eine völlig neue Arbeitsumgebung zu analysieren, mit Rahmenbedingungen, die sich mit einem Arbeitsplatz auf der Erde kaum vergleichen lassen. Das eröffnet uns die Möglichkeit, darüber nachzudenken, ob unsere erd-erprobten Methoden dafür ausreichen oder ob wir im Hinblick auf die Chancen und Risiken neuer Technologien auch neue Herangehensweisen an eine Gefährdungsbeurteilung zulassen müssen.

Dr. Jörg Hedtmann hat – unterstützt von Martin Küppers und Dr. Christoph Caumanns – am 22.01.2024 in Köln mit Expertinnen und Experten gesprochen, die bei diesem Perspektivwechsel helfen können.



Im DLR-Konferenzraum (von links: Prof. Dr. Reinhold Ewald, Prof. Dr. Claudia Stern, Dr. Christoph Caumanns, Martin Küppers, Dr. Jörg Hedtmann)



Prof. Dr. Reinhold Ewald

Reinhold Ewald studierte in Köln Physik und promovierte auf dem Gebiet der Radioastronomie mit dem Nebenfach Humanphysiologie. Als Raumfahrtprojektmanager im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt wurde er 1990 in das deutsche Astronautenteam berufen und wurde bis 1992 in Moskau zum Wissenschaftskosmonauten ausgebildet. Am 10. Februar 1997 startete er mit der Sojus TM-25 zur Raumstation MIR, führte an Bord zahlreiche Life Science Experimente durch und kehrte am 2. März zur Erde zurück. Seit 1999 gehörte Ewald zum europäischen Astronautenkorps der ESA und trainierte im Columbus-Kontrollzentrum München die Bodenteams für Missionen der Internationalen Raumstation ISS. 2015 wurde er zum Professor für das Fachgebiet Astronautik und Raumstationen an das Institut für Raumfahrtsysteme der Universität Stuttgart berufen. 2018 schied er als Pensionär aus der ESA aus.

Prof. Dr. Claudia Stern

Claudia Stern studierte Humanmedizin in Bonn und promovierte in Hamburg zu einem luftfahrtophthalmologischen Thema. Sie ist Fachärztin für Augenheilkunde und flugmedizinische Sachverständige. Seit 1996 arbeitet sie im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und ist dort seit 2013 Abteilungsleiterin für klinische Luft- und Raumfahrtmedizin. Für dieses Fachgebiet ist sie auch Lehrbeauftragte an der Technischen Universität Braunschweig und lehrt darüber hinaus an der Universität der Bundeswehr in München und der International Space University in Straßburg. Eines ihrer Hauptforschungsgebiete sind die Augenveränderungen bei Raumfliegenden.





Dr. Jörg Hedtmann

Dr. Jörg Hedtmann, bis Ende März 2025 Präventionsleiter der BG Verkehr. Er ist Facharzt für Arbeitsmedizin mit Wurzeln in der Luft- und Raumfahrtmedizin. Zu seinen Aufgaben zählen u. a. Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz in den Branchen des Verkehrsgewerbes zu Lande, zu Wasser und in der Luft.

Martin Küppers

Martin Küppers ist Physiker und nahm als Leiter des Kompetenzfeldes Regelwerk und Arbeitssicherheit sowie der Fachgruppe Luftfahrt im Geschäftsbereich Prävention der BG Verkehr am Gespräch teil.



Dr. Christoph Caumanns

Dr. Christoph Caumanns ist Facharzt für Arbeitsmedizin und Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde und war als kommissarischer Leiter der Abteilung Arbeitsmedizin, Verkehrsmedizin und Arbeitspsychologie der BG Verkehr als Gesprächspartner dabei.

Interview

Hedtmann:

Als Shackleton 1914 zu seiner Endurance-Expedition in die Antarktis aufbrach, hatte er angeblich mit dieser Anzeige seine Besatzung gesucht: „Men wanted for hazardous journey, small wages, bitter cold, long months of complete darkness, constant danger. Safe return doubtful, honor and recognition in event of success.“ Auch wenn bereits 1961 der erste Flug eines Menschen über die Atmosphäre hinaus stattfand, sind wir immer noch in der Aufbruchphase ins Weltall. Welchen Typus Mensch brauchen wir heute?

Antarktis-Expedition

Nachdem Roald Amundsen 1912 als erster Mensch den Südpol erreicht hatte, noch vor der unglücklichen Scott-Expedition, bereitete Ernest Shackleton eine Expedition vor, mit der der antarktische Kontinent überquert werden sollte. Solche Expeditionen in die unwirtliche und überlebensfeindliche Umgebung der Pole waren außergewöhnlich gefährlich und entbehrungsreich. Tatsächlich wurde Shackletons Schiff, die „Endurance“ Anfang 1915 vom Packeis eingeschlossen und sank im November des gleichen Jahres. Unter gewaltigen Strapazen führte Shackleton seine Mannschaft mit Märschen, Drift und Rettungsbooten bis nach Elephant Island. Dort machte er sich mit einer kleinen Gruppe in einem Rettungsboot auf die Überfahrt nach Südgeorgien, um von dort aus Rettungsmaßnahmen einzuleiten. Erst Ende August 1916 konnte er



seine Mannschaft auf Elephant Island retten. Dass alle Teilnehmer der Expedition überlebten, wird nicht zuletzt auch auf Shackletons Führungspersönlichkeit zurückgeführt.

Shackletons Expeditionsschiff „Endurance“

Ewald:

Wenn es ganz ohne Herzklopfen ginge, also wie Busfahren, würde das der Raumfahrt natürlich den Charme nehmen. Und wenn man auf die Frage nach dem Beruf antwortet: „Astronaut“, ist das für die Umgebung immer noch ein Moment des Außergewöhnlichen. Erfreulicherweise ist die Technik jetzt nicht mehr außergewöhnlich, sondern erprobt. Nach über 60 Jahren astronautischer Raumfahrt ist unser Wissen über die Dinge, die uns im Weltall erwarten, gerade was die körperlichen Voraussetzungen angeht, natürlich enorm gewachsen. So können wir nicht nur gezielt Menschen auswählen, die die Belastungen einer Raumfahrt überstehen können, sondern wir können auch dafür sorgen, dass sie dort oben arbeitsfähig bleiben. Wir überblicken dabei jetzt Zeiträume von über einem Jahr, in dem diese Menschen dort motiviert und körperlich gesund bleiben, ohne dass wir von relevanten bleibenden Schäden wissen. Das ist also der Rahmen: einerseits, bedingt auch durch die Raketentechnik, das Spektakuläre – andererseits aber auch, durch konsequente Datensammlung, das Berechenbare.

Nicht verringert hat sich natürlich das Risiko. Es gibt eine verbesserte Statistik, Erfahrungen aus gelungenen und weniger gelungenen Starts. Aber am Ende hängt es an Details, ob aus dem Starttag nichts wird (das wäre die günstige Variante) oder ob beim Start etwas Entscheidendes schief geht. Wie zuletzt im Oktober 2018, als ein verbogener Pin verhinderte, dass sich einer der Seitenbooster von der Sojusrakete löste, sodass diese dann außer Kontrolle geriet. Die beiden Kollegen in der Kapsel wurden mit den Rettungsraketen ins All geschleudert, hatten aber

Notlandung Sojus-Rakete



Am 11. Oktober 2018 waren bei einer Sojus-Rakete kurz nach dem Start zur Internationalen Raumstation ISS Probleme aufgetreten, nachdem die Rakete offenbar bei der Montage auf dem Kosmodrom in Kasachstan beschädigt wurde. Die Kapsel mit den beiden Raumfahrern Alexej Owtschinin und Nick Hague musste in der kasachischen Steppe notlanden.

nur einen sehr kurzen Flug und sind dann wieder gelandet. Ein paar Monate später sind sie dann mit dem nächsten Flug sicher angekommen. Dennoch, Shackleton war da sicher mehr im Ungewissen als wir.

Hedtmann:

In der Tat wollte Shackleton ja neue Wege und Fahrtrouten erforschen. Auch in anderen Bereichen der Forschung ist es oft so, dass der Forscher oder die Forscherin vor lauter Begeisterung die Risikobewertung der zu beschreitenden Wege etwas zurückstellt. Gerade aus dem Bereich der Luftfahrt sind uns ja todesmutige Selbstversuche bekannt. So zum Beispiel John Paul Stapp von der US Air Force mit seinen Experimenten auf dem Raketenschlitten ...

John Paul Stapp, Colonel, USAF (11.07.1910 – 13.11.1999)

Legendär sind Stapps Selbstversuche auf einem Raketenschlitten. Er setzte sich dabei bei der Beschleunigung, besonders aber bei der rapiden Abbremsung, so großen Belastungen aus, dass es dabei zu Knochenbrüchen und Einblutungen kam. Die Ergebnisse führten unter anderem zur Verbesserung und Weiterentwicklung von Sicherheitssystemen in Flugzeugen und anderen Verkehrsmitteln. Noch heute ist mit der Stapp Car Crash Conference eine Verkehrssicherheitskonferenz in den Vereinigten Staaten nach ihm benannt. Zu seinem Team gehörte übrigens ein gewisser Edward A. Murphy, dessen besondere Sicherheitsphilosophie als „Murphys Law“ weltberühmt wurde und sicher auch zur Verbesserung der Sicherheit bei Stapps Fahrten auf dem Raketenschlitten beigetragen hat.



Der im Jahr 1954 mit neun Feststoffraketen betriebene Raketenschlitten „Sonic Wind 1“ erzeugte für fünf Sekunden 40.000 Pfund Schub.

Stern:

... bis 46 G!

Hedtmann:

Genau, irgendjemand macht irgendetwas zum ersten Mal und man weiß nicht, was dabei herauskommt. Irgendwann ist jemand zum ersten Mal aus seiner Raumkapsel ausgestiegen, ohne sicher sein zu können, was dabei passieren wird. Geht man heute noch genauso vor?

Stern:

Der Hauptunterschied in den wissenschaftlichen Experimenten mit und an Astronautinnen und Astronauten ist die Einstellung der Betroffenen dazu. Früher war die Neugier aller Beteiligten extrem groß. Es war ja fast alles Neuland, was die Umgebung des Weltalls mit dem Menschen macht. Wenn man heutzutage versucht, ein Experiment auf die Internationale Raumstation zu bekommen, dann muss man erst durch unglaublich viele Gremien. Wenn man all diese Ethikkommissionen und Medical Boards, bei denen immer auch eine Astronautenvertretung dabei ist, hinter sich hat, dann werden die Forschungsvorhaben dem jeweiligen Astronauten oder der Astronautin vorgestellt und die können dann entscheiden, ob sie daran teilnehmen oder nicht. Früher war die Begeisterung schon mal größer, wenn man ein Experiment für die D1- oder D2-Mission oder eine deutsch-russische MIR-Mission hatte. Das waren ja „unsere“ Missionen und „wir“ haben da jetzt Experimente! Da ging es weniger um die Frage, ob man die jetzt macht oder nicht. Die waren da und man hat sie gemacht. Und heute sucht man seit Jahren Astronauten oder Astronautinnen, die während ihrer Flüge eine Lumbalpunktion zur Messung des Hirndrucks machen lassen. Bis jetzt hat sich noch niemand dafür zur Verfügung gestellt. Wahrscheinlich raten die jeweiligen Fliegerärzte und Fliegerärztinnen auch davon ab. Umso mehr wird diese Frage jetzt für die kommerziellen Missionen in den Vordergrund rücken.

Liquorentnahme

Bei einer Lumbalpunktion wird mittels einer Kanüle der Duralsack im Bereich der Lendenwirbelsäule punktiert und dabei Liquor (Gehirnflüssigkeit) entnommen. Damit können Krankheiten wie Multiple Sklerose oder Meningitis (Hirnhautentzündung) diagnostiziert, aber auch Blutungen erkannt werden. Bei der Lumbalpunktion ist auch eine Messung des Hirndrucks möglich.

Die sind deutlich kürzer, und die kommerziellen Astronautinnen und Astronauten wollen ihren bezahlten Flügen auch eine besondere Bedeutung geben und zur Forschung für die Geschichtsbücher etwas beitragen. Also sich zum Beispiel als erste Menschen den Hirndruck im All messen lassen. Das ist schon ein großer Unterschied zu den professionellen Astronauten und Astronautinnen, die die teuerste Ausbildung weltweit genießen, mehrere, meist sehr lange Missionen fliegen sollen und während dieser gesamten Zeit und danach unbedingt gesund bleiben wollen und müssen.



Die ISS: Matthias Maurer in seiner Wohn- und Arbeitsumgebung für viele Monate

Hedtmann:

Wenn man die Frage des Gesundbleibens auf eine relative kurze Mission begrenzen kann, ist das für kommerzielle Missionen sicher interessant. Das DLR führt ja sogenannte „Bedrest-Studien“ durch. Die Teilnehmenden legen sich nach einer Eignungsfeststellung 30 oder 60 Tage lang in Kopftiefe in ins Bett. Dafür gibt es Geld und anschließend hat man eine Menge Daten. Könnte man für die Gewinnung so wichtiger Daten nicht Probandinnen und Probanden mit verkürzter Ausbildung, Geld und einem Raumflug locken?

Bedrest-Studien

„Bedrest-Studien“ sind eine bewährte Methode, einige Auswirkungen der Schwerelosigkeit zu simulieren. Da sich im Weltall die Körperflüssigkeit gleichmäßig im Körper verteilt, versucht man diese Verteilung durch konsequente Liegeposition in Kopftieflage zu simulieren – über Wochen und ohne Unterbrechung. Auch Toilettengänge und Körperpflege müssen in dieser Lage erfolgen. Das ermöglicht die Auswirkungen der veränderten Flüssigkeitsverteilung auf die verschiedenen Organsysteme, zum Beispiel die Augen, zu beobachten.



Ewald:

Da würde man sich natürlich mindestens dicht an einer roten Linie, Stichwort Helsinki, entlangbewegen. Für die Teilnahme an den DLR-Experimenten gibt es eine Aufwandsentschädigung, es bleibt aber die Freiheit, jederzeit aus dem Experiment auszusteigen. Man behält stets die Kontrolle. Eine Lumbalpunktion ist natürlich schon ein Extremfall. Eine andere Fragestellung ist ein Herzkatheter beim Start. Und ohne dass ein Kardiologe an Bord ist, den den bei Bedarf wieder entfernen kann. Da ist es schon ganz gut, dass es ein unabhängiges Board gibt, das ethisch und medizinisch beurteilt und gegebenenfalls sagt: Liebe Leute, das geht jetzt einen Schritt zu weit, auch wenn freiwillige Probanden da sind.

Wir haben damals lange mit der ESA verhandelt, ob Regelungen in die Verträge gehören, dass man bereit sein muss, medizinische Experimente durchzuführen. Das wäre aber schon ein Schritt zu viel. Es regelt sich ja in der Praxis anders. Wenn Konkurrenz da ist, wird im Zweifelsfall die Person bei der Forschung besser angesehen sein, die sich ein paar Nadeln in den Körper

stechen lässt, als diejenige, die das kritisch hinterfragt. Das klingt zwar unfair, aber so war das schon bei der D2-Mission, dass unter den Astronauten eine gewisse Konkurrenz bestand, wer sich am missionskompatibelsten präsentieren kann. Da tritt dann natürlich die Risikobetrachtung in den Hintergrund. Das tut der Sache nicht gut. Unabhängig von der Alternative – Flug oder Nicht-Flug – sollte man objektiv bleiben können, sonst bewegt man sich in einem Grenzbereich.

Koronarangiographie

Bei einer Herzkatheter-Untersuchung wird meist über einen Zugang in der Leiste ein Katheter durch ein großes Blutgefäß bis zum Herzen vorgeschoben. Auf der Erde dient diese Untersuchung oft der Darstellung von Herzkranzgefäßen oder der Funktion von Herzmuskel und Herzklappen.

Küppers:

Verstehe ich Sie richtig, dass Sie eine „ethische Gewaltenteilung“ als einen Vorteil unserer wissenschaftlichen Raumfahrtprogramme gegenüber der privaten Raumfahrt ansehen?

Ewald:

Schwarz-weiß betrachtet, ja. Das fängt bei der Nähe zum Raumfahrzeug an, wo man mit Fug und Recht sagen kann, dass man eine Menge Trainingszeit benötigt, um das Raumfahrzeug und alle Rettungsmöglichkeiten und deren Varianten kennenzulernen. Da schließe ich jetzt mal bei einem Axiom-Flug (Anm.: Axiom Space ist ein kommerzieller Anbieter von Fluggelegenheiten ohne eigenes Raumfahr-

zeug), der innerhalb von zwei bis vier Monaten entschieden wird und dann drei Monate später stattfindet, aus, dass die Leute Bescheid wissen, was da alles in ihrer SpaceX-Kapsel eingebaut ist, um sie in dieser oder jener Lage da wieder rauszuziehen. Das ist erst mal der große Unterschied. Und dann gibt es die begleitende Projektauf sicht, die zum Beispiel durch den Crew Surgeon (Anm.: der Fliegerarzt bzw. die Fliegerärztin zur Betreuung der Crew) gewährleistet wird. Das ist eine Person, zu der man während eines eineinhalbjährigen Trainingsverlaufs Vertrauen entwickelt. Das erlaubt eine vernünftige Abstimmung darüber, was nach Ansicht dieses Crew Surgeon noch machbar und sinnvoll ist. Wenn man dieses Verfahren nicht hat, weil man Kunde oder Kundin eines Sub-Auftragnehmers ist, dann erlischt dieser Aspekt. Also, die vertragliche Undurchsichtigkeit in der Vorbereitung der kommerziellen Flüge ist sicher ein entscheidender Unterschied gegenüber den Agentur-, also öffentlich finanzierten Flügen.

Küppers:

Wir hatten im Vorgespräch über die sozialen Eigenschaften des Rheinländers gesprochen, wir sprechen über eine fundierte wissenschaftliche Ausbildung und wir sprechen über den Aspekt der medizinischen Eignung. Wenn man beispielhaft diese drei Komponenten gegeneinander abwägt, was macht den Astronauten oder die Astronautin aus? Suchen wir erstklassige Wissenschaftler, körperlich topfitte Personen und welche Bedeutung hat die soziale Kompetenz?

Axiom Space

Ein Axiom ist nicht nur eine allgemeingültige Wahrheit, die nicht mehr bewiesen werden muss, sondern als „Axiom Space“ auch ein US-amerikanisches Raumfahrtunternehmen, das unter anderem den kommerziellen (Weiter-)Betrieb einer Raumstation vorbereiten soll. Aktuell organisiert Axiom Space kommerzielle Flüge mit dem SpaceX-Raumschiff Crew Dragon.

Ewald:

Ich wäre damals nicht in diese Rakete eingestiegen, wenn ich nicht gegenüber meiner Frau und meinen drei Kindern hätte begründen können, warum ich das für wichtig halte, was ich jetzt da oben tun will. Und das besteht eben nicht darin, da oben aus dem Fenster zu schauen und zu sagen „Oh, mein Gott, it's full of stars!“, sondern daraus, dass ich durch mein Training und die Vorstellung der Experimente zu der Überzeugung gelangt bin: Das kannst nur du da oben machen. Und dafür bist momentan du – und die Back-up-Person – bestausgebildet, um genau das zu tun. Übrigens bezieht sich das auch auf einen zweiten Flug. Da gehen die Meinungen im Astronauten-Korps auseinander. Das Risiko wird ja bei einem zweiten Flug nicht geringer. Es gibt eine neue Rakete, es gibt ein neues Start-Team, es gibt neue Fertigungselemente, die alle genauso zu einer Katastrophe oder einem Startabbruch führen können wie bei der ersten Mission. Eine Komponente aber fällt weg. Nach der ersten Mission hat man sein Coming-out als Astronaut gegenüber der Öffentlichkeit hinter sich, bei der zweiten Mission spielt das keine Rolle mehr. Wir haben Personen, die waren sieben Mal da oben. Und dann spielen persönliche Karrieremotive beim Wiederflug die ausschlaggebendere Rolle.

Caumanns:

Die Idealperson wird es ja vielleicht gar nicht geben. Aber es bedarf ja sicher einer größtmöglichen Überschneidung der drei genannten Aspekte.



Reinhold Ewald (Mitte) an Bord der MIR mit seinen beiden Kosmonauten-Kollegen Wassili Ziblijew (links) und Alexander Lasutkin (rechts).

Ewald:

Die wissenschaftliche Komponente war mir topwichtig. Allein damit man beim Start nicht an die sichtbare Gefahr denkt: „Was passiert jetzt gleich, da sind 300 Tonnen Treibstoff unter dir!“ – sondern: „Was machst du als Erstes, wenn nach der Ankunft die Tür aufgeht und du deine Experimente anfängst?“ Gut, in dem Moment des Starts erinnerte ich mich natürlich an nichts mehr, aber als es dann da oben so weit war, habe ich mich ausschließlich auf meine Experimente konzentrieren können. Und das nicht aus Heldentum, sondern weil die besondere Kombination aus physikalischen, medizinisch-humanwissenschaftlichen Experimenten mich berechtigt hat, diesen Flug zu machen. Das ist gelungen. Und trotz aller Fährnisse haben wir ein komplettes Resultat abgeliefert. Das ging so weit, dass wir am Morgen nach dem Feuer eigentlich eine Pressekonferenz angesetzt hatten. Das war insofern ungünstig, weil wir ja alle noch mit Atemschutzmasken herumliefen und dieses Bild nicht nach unten liefern wollten. Unser Kontaktmann, der erste deutsche Kosmonaut Siegmund Jähn, fragte dann, ob ich denn wenigstens ans Mikrofon käme, und unser Kommandant antwortete wahrheitsgemäß, das ginge leider nicht, weil der Ewald schon wieder an seinen Experimenten säße. Und auch wenn Siegmund Jähn als gebürtiger Vogtländer nicht für seinen Überschwang bekannt

war, hat ihm das offenbar gefallen. Damit wollte ich nicht als vom Feuer unbeeindruckter Wissenschaftler in die Geschichtsbücher eingehen, sondern es war einfach so, dass die Experimente in der Kürze der Mission nicht endlos warten konnten und es in der Situation einfach möglich und vernünftig war, weiterzumachen.



Raumstation MIR

Die MIR war eine russische, erstmalig modular aufgebaute Raumstation, mit einem Innenmaß des Basismoduls von gerade mal 13 x 4 Metern, die von 1986 bis 2001 in Betrieb war. Sie diente nicht nur russischen, sondern auch internationalen Besatzungen dazu, zu forschen und die Erfahrungen mit Langzeitaufenthalten im All auszubauen. Es gab eine Reihe von Pannen. Am 24. Februar 1997 entzündete sich eine Patrone zur Sauerstoffherzeugung, als gerade Reinhold Ewald an Bord der Station war.

Hedtmann:

Das Feuer auf Ihrer Mission ist nun aber tatsächlich eines der Dinge, die zum Geschichtsbucheintrag geführt haben. Feuer an Bord ist in einem Raumfahrzeug mit einer gewissen Problematik verbunden. Man erinnert sich sofort an Apollo 1. Was macht ein Feuer im Weltraum physikalisch anders, was ist das Besondere daran? Und wie haben Sie das persönlich erlebt?

Apollo-1-Unglück

Apollo 1 war die, erst später offizielle, Missionsbezeichnung für den ersten Start eines Apollo-Raumschiffs. Die drei Astronauten Edward H. White, Virgil I. Grissom und Roger B. Chaffee führten am 27. Januar 1967 einen Routinetest durch, einen sogenannten Plugs-Out-Test, bei dem alle Verbindungen von Rakete und Raumschiff zum Versorgungsturm getrennt werden. Die Atmosphäre an Bord bestand aus 100 Prozent Sauerstoff und die Kapsel stand unter leichtem Überdruck. Im Bereich des Lebenserhaltungssystems brach ein Brand aus, der sich durch die Sauerstoffatmosphäre rasch verbreitete. Ein Öffnen der Luke war nicht mehr möglich und alle drei Astronauten kamen ums Leben. Die Unfalluntersuchung zeigte eine ganze Reihe von mitursächlichen Problemen auf, die entscheidend für die Weiterentwicklung des Apolloprogramms waren.



Inneres der
Raumkapsel
nach dem
Brand

Ewald:

Physikalisch ist ein Feuer im Weltraum schwierig zu unterhalten. Auf der Erde ist durch den Kamineffekt die Zufuhr von frischer, sauerstoffreicher Luft eine selbstlaufende Angelegenheit. Die erhitzte Luft steigt nach oben auf, die frische Luft kommt von unten nach. Das ist in der Schwerelosigkeit nicht der Fall, die Konvektion fällt weg. Dadurch bildet sich um ein Feuer eine Blase sauerstoffarmer Luft. Die Zufuhr von Sauerstoff ist nur durch Diffusion, nicht durch Konvektion möglich. Da die Diffusion sehr langsam ist, sind die Flammen mickrig und kugelförmig. Das konnte man in vielen Experimenten nachstellen. Für die Energiewirtschaft ist das ein sehr interessantes Gebiet, denn die Optimierung der Verbrennung ist nicht nur in Automotoren entscheidend. Man kann dort oben quasi im Zeitlupentempo untersuchen, wie man die Verbrennung effektiver machen kann. Und eine Steigerung um nur ein Prozent eröffnet bereits einen großen Markt. Deshalb wird nach wie vor im Weltraum daran geforscht.

Aber aufgrund dieser physikalischen Besonderheiten haben einige voreilige Kollegen auf der Erde gemutmaßt, da könne ja nicht viel passiert sein, wir hätten vielleicht allenfalls einen Schmorbrand gehabt. Bei uns war das aber ein bisschen anders, weil eine Sauerstoffpatrone daran beteiligt war. Die sehen aus wie ein Rohrpostzylinder und sind auch in etwa so groß. So ein Zylinder wird mit einer Chemikalie gefüllt, Lithiumperchlorat, das man auch zur Bombenproduktion verwendet. Es ist ein schneller Sauerstofflieferant und brennt von innen in einem zwanzig- bis dreißigminütigem Vorgang exotherm ab. Dabei setzt es 600 Liter Sauerstoff frei, das ist die Tagesration für einen Menschen an Bord.

Da das Lebenserhaltungssystem der MIR chronisch überlastet war – wir waren ja zeitweise zu sechst statt nur zu dritt da oben – hat man den Sauerstoffgehalt gelegentlich mit einer solchen Patrone angehoben. Das war Routine. Da darf allerdings kein Fremdkörper drin sein, sonst zündet die Reaktion und das war bei uns der Fall. Wir hatten es also nicht mit einem Schmorbrand zu tun, sondern mit einer Stichflamme wie aus einem Schneidbrenner, die nicht nur die umgebende Struktur der Patrone abschmolz, sondern auch Qualm, Rauch und diverse Emissionen in die Umgebungsluft freisetzte. Ich war in Sichtweite von dem Gerät, in dem sich die Patrone befand, und habe die Flamme als Erster bemerkt. Ich habe dann „Pozhar“, also „Feuer“ auf Russisch gerufen, nicht etwa auf Englisch. Unser Kommandant hat dann versucht, das Feuer zu

ersticken, was nicht funktioniert hat, weil die Patrone ja beständig Sauerstoff produziert hat. Wir haben dann mit Wasserlöschern russischer Herstellung die Reaktion heruntergekühlt, bis sie zum Erliegen kam oder die Patrone schlicht ausgebrannt ist. Das Hauptproblem war aber, wie bei jedem Brand, der Rauch. Die meisten Leute sterben bei einem Brand ja an der Rauchvergiftung.

Caumanns:

Wie wird man den Rauch denn los? Kann man den ins All abblasen?

Ewald:

Nein, das wäre ja eine Katastrophe. Wenn man die MIR luftleer gemacht hätte, wäre sie unbewohnbar geworden. Es gibt im Lebenserhaltungssystem Reinigungsgeräte für die Atemluft. Die einen filtern das Kohlendioxid raus, der Wert war aber nicht wesentlich erhöht. Die Entstehung von Kohlenmonoxid war unwahrscheinlich, weil es eben kein Schwelbrand, sondern eine sauerstoffreiche Flamme war. Was wir nicht wussten, war die Zusammensetzung der anderen Brandgase, die man damals auch nicht messen konnte. Wir haben also erst mal für zwei bis drei Stunden eine Sauerstoffmaske getragen. Das ist ein geschlossenes System, sehr trockene, warme Luft und ziemlich unangenehm. Weil die Russen Trainingsmaterial gespart haben, konnten wir das auf der Erde nie testen. Wenn, dann haben wir mit Sauerstoffmasken trainiert, bei denen der Rüssel abgeschnitten war. Wir hätten, nachdem die Masken verbraucht waren, noch einen weiteren Satz an Bord gehabt, um damit in die Sojuskapseln zu steigen. Die durften wir nicht benutzen, bevor die Entscheidung dazu gefallen war. Also haben wir geguckt, kriegt jemand blaue Lippen oder blaue Finger, und haben uns immer im Team bewegt, damit niemand alleine blieb.

Wir hatten einen Arzt an Bord, der schon mal sein Intubationsbesteck vorbereitetete. Aber schließlich haben wir es dann riskiert, nachdem die Atmosphäre innerhalb dieser Zeit durch die Ventilatoren und Filtersysteme sichtbar geklärt wurde, die Masken abzunehmen. Es roch natürlich immer noch verbrannt. Wir haben dann die ganze Station abgesaugt und abgewaschen. Auch an der Kleidung haften die Rußpartikel. Bei der Bodenstation konnten wir uns erst am nächsten Morgen melden, weil die Russen an Kommunikationsstationen sparten und wir damals noch bis zu neun Stunden lange Kommunikationsausfälle hatten. Aber es hätte uns ja ohnehin niemand

helfen können. Da mussten wir alleine durch. Die Entscheidung, trotz des Ausfalls des Sauerstoffsystems und trotz der möglicherweise giftigen Atmosphäre an Bord zu bleiben, die haben wir als Crew gemeinsam getroffen.

Das ist eines von den Ereignissen, auf die man im Training vorbereitet wird. Ein anderes ist der plötzliche Druckverlust. Das ist sehr beeindruckend. Es knackt in den Ohren und man muss seine Reservezeit an Bord anhand des Druckabfalls ermitteln. Wenn es noch möglich ist, kann man versuchen, das betroffene Modul luftdicht abzuschließen und dadurch den Rest der Station zu erhalten. Auf der ISS wäre zum Beispiel auch ein Austritt von Ammoniak eine katastrophale Situation. Das zirkuliert im äußeren Kühlsystem. Es gibt zwei Barrieren, aber für den Fall, dass diese versagen, wäre das nicht zu reparieren. Aber man lässt niemals die ganze Luft aus der Station, das wäre ein Totalschaden.

Küppers:

Wenn man heute darauf zurückblickt, kann man das Gefühl damals als Todesangst bezeichnen?

Ewald:

Nein, das war eher „das Schicksal meint es nicht gut mit mir“. Ich war am vierzehnten Tag auf einer sehr anspruchsvollen – soweit das auf der MIR möglich war – Wissenschaftsmision, war auf einem guten Wege, aber alle diese Ergebnisse wären verloren gewesen. Ich habe mir die Taschen noch vollgestopft mit irgendwelchen Datenträgern, die ich erreichen konnte, alles im Hinblick auf eine eventuelle vorzeitige Rückkehr zur Erde. Ich sah eher den Abbruch der Mission als das Gefährlichste an. Es war ja so, dass wir jederzeit die Möglichkeit hatten, mit den Sojuskapseln in der Nacht und ohne dass uns da unten jemand erwartete, zurückzukehren. Das wäre eine sehr erlebnisreiche Nacht à la Shackleton gewesen, aber ich war letztendlich immer überzeugt, wir kommen heil runter.

Hedtmann:

Sie haben diesen Flug sich selbst und ihrer Familie gegenüber mit der wissenschaftlichen Mission begründet. Es kann niemand anderes machen und es geht nur da oben. Da erscheint es in der Tat in so einer Gefahrensituation als das Schlimmste, was passieren kann: Die Daten sind verloren. Und gleich danach der Gedanke: Aber ich komme ja sicher runter. Das ist doch

gegenüber der Technik und der Organisation eine sehr vertrauensvolle Grundeinstellung!

Ewald:

Und dieses Vertrauen ist das Gegengewicht zu der Risikoabwägung. Leider hat die NASA ja bei den beiden Shuttle-Missionen, die sie verloren haben, diese Risikoabwägung nicht fair betrieben. Die Challenger-Astronauten waren nicht darüber informiert, dass die Spezifikationen für bestimmte Bauteile an diesem Wintertag nicht eingehalten wurden, was die Kälte anging. Da hätten eigentlich die Kommandantinnen und Kommandanten ein gewichtiges Wort über die Startentscheidung mitzureden gehabt. Egal wieso man unbedingt heute starten muss, aber wenn es nicht geht, wenn man es nicht darf, soll man es nicht machen. Das war der Fehler bei Challenger – und bei Columbia hat die ahnungslose Crew ja bis zum letzten Moment versucht, ihre Maschine zu fliegen. Die hatten keinen linken Flügel mehr und haben noch Gegenruder gegeben, um das vermeintlich auszugleichen. Eben weil man sie im Ungewissen gelassen hatte, was beim Wiedereintritt mit dem Loch in der Flügelkante passieren könnte. Das sind grobe Verletzungen dieses Vertrauens, das Astronauten und Astronautinnen schon in die Organisation, die sie da hochschickt, haben müssen.

Challenger und Columbia – zwei Unglücke, die die Raumfahrt prägten

Am 28. Januar 1986 zerbrach das Spaceshuttle Challenger 73 Sekunden nach dem Start, weil ein sogenannter O-Ring durch tiefe Außentemperaturen vor dem Start seine Elastizität eingebüßt hatte und dadurch Verbrennungsgase seitlich austreten konnten. Schließlich riss der große Wasserstofftank auf und die aerodynamischen Kräfte führten zu einem Auseinanderbrechen des Raumschiffs. Die sieben Besatzungsmitglieder starben möglicherweise erst, als das Crewcompartment mehr als zwei Minuten nach dem Unglück auf der Wasseroberfläche des Atlantiks aufschlug. Ingenieure des Herstellerunternehmens hatten ausdrücklich vor dem Start unter den problematischen Temperaturbedingungen gewarnt. Bei dieser Mission war erstmals eine nicht als Astronautin ausgebildete

Überreste des Spaceshuttle Columbia



Person an Bord. Eine Lehrerin sollte Unterricht aus dem All erteilen.

Beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre brach das Spaceshuttle Columbia am 1. Februar 2003 auseinander. Wiederum waren es sieben Besatzungsmitglieder, die dabei ums Leben kamen. Beim Start der Raumfähre hatte sich ein Stück der Schaumstoffisolierung des Außentanks gelöst und ein Loch in die Hitzeschutzverkleidung der linken Tragfläche geschlagen, durch das beim Wiedereintritt heiße Gase eindringen und die Katastrophe auslösen konnten. Der Schaden an der Tragfläche war trotz Auswertung der Filmaufnahmen vom Start und wiederum der Warnung beteiligter Fachleute falsch eingeschätzt worden.



Küppers:

Die beiden Verletzungen des Vertrauens, die Sie da geschildert haben, sind ja in einem ausgereiften Wissenschaftsprogramm passiert und nicht in der kommerziellen Raumfahrt.

Ewald:

In einem „Agenturprogramm“. Da gibt es natürlich immer noch konkurrierende Gründe, warum die USA mit einem Shuttle ins All fliegen. Das ist nicht ausschließlich wissenschaftlich begründet. Sonst wäre Glenn nicht noch mal ins All geflogen, oder Bill Nelson, der später NASA-Chef wurde. Da haben sie schon damals einflussreiche Passagiere mitgenommen. Das Shuttle-Programm diente natürlich auch zum Ruhme Amerikas. Nach Challenger dachte man, die wären jetzt nüchterner geworden und würden auch die Grenzen des Shuttles sehen, aber Columbia hat leider das Gegenteil bewiesen.

John Glenn, Astronaut und Politiker

Am 20. Februar 1962 umrundete er als erster Amerikaner an Bord von Friendship 7, einer Mercury-Kapsel, die Erde. 1974 bis 1999 vertrat er Ohio im Senat der Vereinigten Staaten und im Alter von 77 Jahren flog er am 29. Oktober 1998 erneut in den Erdorbit, diesmal mit der Raumfähre Discovery.



Hedtmann:

Das zeigt ja auch, dass diese scheinbar bis ins letzte geplanten und mit allen Risikoabwägungen durchgeführten Missionen immer noch ein größeres Restrisiko beinhalten, als wir es im täglichen Leben haben. Sie haben ja auch eben erwähnt, dass die Atmung durch die Sauerstoffmaske ungewohnt war, weil die Russen beim Training gespart hatten. Fühlten Sie sich denn insgesamt auf Ihren Flug gut vorbereitet oder würden Sie aus heutiger Sicht sagen: Das muss man anders machen?

Ewald:

Auch da gibt es unterschiedliche Herangehensweisen in den USA und in Russland. Zumindest zu meiner Zeit. Heute ist das in den USA auch nicht mehr so homogen wie damals. Wenn bei der NASA eine Kommandantin oder ein Kommandant sagt, diese Zeile muss aus der Prozedur raus und durch eine andere ersetzt werden, dann war das beim nächsten Training passiert. Da gibt es einen Stab von Mitarbeitenden, die nur solche Anmerkungen umsetzen. Vielleicht verdrehte da schon mal jemand die Augen, weil der vorige Astronaut das genau umgekehrt wollte, aber man hatte die Möglichkeit, die Sicherheit und Effektivität des Fluges zu verbessern, und das wurde auch gemacht.

In Russland habe ich zwei Trainings durchgeführt. Der Kommandant und der Bordingenieur hatten Anmerkungen zu der Prozedur, das sei doch Unsinn und es wäre doch besser, das umzustellen. Die Zeilen standen beim zweiten Training noch genauso drin. Die Techniker, Ingenieure und Chefs der Raumfahrtagentur haben bei den Russen einen viel größeren Einfluss, was die Kosmonauten alles erdulden oder machen sollen, als in den USA. Das hat natürlich auch etwas mit dem Menschenbild zu tun in den verschiedenen Ländern. Das Russland, das wir kennengelernt haben, war beim individuellen Menschenleben nicht so empfindlich, wie das in der westlichen Welt gesehen wurde. Nicht, dass ich mich dort exponiert gefühlt hätte. Immerhin haben wir nicht nur das redundante System kennengelernt, sondern auch das Backup-System des redundanten Systems und so weiter.

Caumanns:

Aber letztlich ist man da oben ja auf sich selbst gestellt.

Ewald:

Es trifft jeder seine eigene Entscheidung. Ich hatte damals Besuch von einer Delegation der Deutschen Agentur für Raumfahrtangelegenheiten, weil vor meinem Flug zwei oder drei Sojusraketen, Frachtraketen, aus verschiedenen Gründen in den Wald gestürzt waren. Mal hat's die Oberstufe nicht getan, mal hat ein Booster nicht funktioniert. Und damit war ein bisschen Krise in der Verlässlichkeit der russischen Raumfahrt. Allerdings hat das nichts mit der Sojus für die Besatzungen zu tun, das ist eine andere Produktionslinie. Jedenfalls hat mir die Kommission angeboten, falls ich aus dem Training aussteigen wollte, mich mit einem konstruierten Grund da herauszuholen.

Es wäre sicher keine gute Meldung gewesen, wenn es geheißen hätte, der Astronaut traut sich nicht mehr und auch der Backup will nicht. Das war also ein ernsthaftes Angebot. Ich wusste aber, das eine ist die Sojus 2, das ist Cargo, da versuchen die schon mal die Nutzlast auszureizen. Und dann gibt es die Sojus FG mit einer Geschichte von mehreren hundert erfolgreichen Starts, die für die Crewflüge genommen wird. Weil ich dieses Wissen hatte, konnte ich auch meine Entscheidung fundiert fällen, hier weiterzumachen.

Hedtmann:

Die Entscheidung des Einzelnen steht im Mittelpunkt. Wenn man sagt, „das mache ich“, ist das in Ordnung und wenn man sagt, „das mache ich nicht“, ist das auch in Ordnung. Das ist ja eine wichtige kulturelle Botschaft, wenn wir zum Beispiel über Unternehmenskultur sprechen. Formell betrachtet dürfen laut Unfallverhütungsvorschrift die Versicherten erkennbar gegen Sicherheit und Gesundheit gerichteten Weisungen nicht nachkommen.

Aber das hier geht ja noch darüber hinaus: Es heißt: „Beurteile das Risiko selbst, und wenn es dir zu hoch ist, dann mach es nicht!“ Eine wichtige Voraussetzung für das Vertrauen, über das wir gesprochen haben. Wenn wir aber jetzt weiterdenken in Richtung kommerzielle Raumfahrt, da spielt die Faszination eine Rolle, schnell und ohne jahrelanges Training in die Raumfahrt einzusteigen, auf der Basis dessen, was in all den Jahrzehnten vorher schon geschaffen worden ist. Im kommerziellen Bereich werden jetzt Tickets verkauft, es geht um Rekorde, wer ist die älteste oder die jüngste Person im Welt- raum. Captain Kirk fliegt mit 90 ins All. Da entsteht ein Hype. Man muss das ja gar nicht alles touristisch sehen, auch Forschungsprojekte können schneller und billiger umgesetzt werden. Wie sehen Sie persönlich diese Entwicklung?

Ewald:

Es beginnt ja schon mit der Verwendung des Begriffes „Astronaut“. Da kommen die Leute, die sich einen Suborbital-Flug geleistet haben oder die eine Woche vorher einen Anruf bekommen, du hast in unserem Preisausschreiben gewonnen und darfst jetzt mit Bransons Virgin Galactic ins All starten. Und wenn man zurückkommt, kommt als Erstes der Astronautenpin an den Astronautenanzug. Das ist dann schon Zirkus.

Caumanns:

Wie groß ist denn das Segment der touristischen Raumfahrt?

Kommerzielle Raumfahrt nimmt Fahrt auf

Der erste „Amateur-Astronaut“, der einen privat finanzierten Raumflug absolvierte, war der japanische Journalist Toyohiro Akiyama, der 1990 für die Tokio Broadcasting Corporation aus dem All berichten sollte. Das ging damals nur mit den Russen, und viel Freude hatte der angeblich ziemlich unsportliche Kettenraucher auch nicht an seinem Flug, denn er litt unter extrem starker Raumkrankheit.



In den letzten Jahren standen jedoch die Wettkämpfe privater Raumfahrtanbieter um den ersten kommerziellen Suborbitalflug im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses. Am 20. Juli 2021 flog Jeff Bezos mit dem Raumfahrzeug New Shepard seines Unternehmens Blue Origin. Sir Richard Branson startete mit dem „SpaceShipTwo“ seiner Firma Virgin Galactic ein paar Tage vorher am 11. Juli. Um die Starttermine der beiden Konkurrenten wurde dem Vernehmen nach viel getrickst. Die beiden Systeme unterscheiden sich technisch erheblich, und nur

Blue Shepard erreicht die wichtige 100 km-Höhe (Kármán-Linie, Beginn des Weltraums nach FAI-Definition). Schon mit den ersten Flügen ging es um Rekorde, wie älteste und jüngste Weltraumpassagiere.

In einer ganz anderen Liga spielt die Firma SpaceX

von Elon Musk, die mit der Crew Dragon nicht nur zur ISS fliegt, sondern auch zahlende Privatcrews in die Umlaufbahn befördert. Die Inspiration4-Crew flog mit der Crew Dragon „Resilience“ nicht zur ISS, sondern blieb vom 16. bis 18. September 2021 mit vier Passagieren in einem eigenen Orbit.



Ewald:

Im Jahr 2023 sind mehr Leute suborbital geflogen als ins All. Das liegt aber auch an der Größe der technischen Aufgabe. Wenn wir Orbitalgeschwindigkeit erreichen wollen, mit 7,5 km/s, ist das schon eine andere Nummer, als wenn wir nur eine Nutzlast 100 km hochschießen, oben hat sie null kinetische Energie und fällt wieder runter. Das ist ein ganz anderer Aufwand.

Suborbitalflug

Die Flüge von Blue Origin und Virgin Galactic sind sogenannte Suborbitalflüge, das heißt, sie erreichen nicht die für einen Erdborbit erforderliche Höhe. Im Grunde handelt es sich um besonders hohe Parabelflüge in 80 bis knapp über 100 km Höhe, bei denen es zu einer ca. dreiminütigen Schwerelosigkeit kommt. Die technischen Voraussetzungen für einen solchen Flug sind durchaus anspruchsvoll, aber weit entfernt vom Aufwand für einen Orbitalflug oder einen Flug zur ISS, die in gut 400 km Höhe die Erde umrundet.

Caumanns:

Was kostet der Spaß? Sind das nur Tech-Milliardäre, die sich das leisten wollen?

Ewald:

Mittlerweile werden da Wettbewerbe ausgelobt. Wer ist der Sozialste, wer hat das verdient? Der Jüngste, der Älteste, der Krankste? Da entwickelt sich ein Wettlauf um Nebensächlichkeiten.

Hedtmann:

Soweit man hört, ist man bei einem Suborbitalhüpfer schon ab 250.000 Euro dabei. Wer richtig auf die ISS will, muss deutlich mehr auf den Tisch des Hauses blättern.

Stern:

50 Millionen.

Hedtmann:

Das sind dann ganze andere Dimensionen. Aber viele sind ja mit einem Suborbitalflug schon völlig zufrieden. Da waren sie mal draußen und können sich einen Pin anheften. Man müsste vielleicht drüber sprechen, inwieweit das die Bedeutung der Raumfahrt in Frage stellen könnte. Und inwiefern sind die Belastungen bei einem solchen Suborbitalflug andere, als wenn man tatsächlich den Weg zur ISS antritt? Frau Stern, hätten Sie William Shatner geraten, diesen Flug zu machen, wenn er Sie gefragt hätte?



William Shatner

William Shatner, amerikanischer Schauspieler, hier in seiner Rolle als „Captain Kirk“, mit der er in der US-Serie „Star Trek“, im deutschen Fernsehen „Raumschiff Enterprise“, populär wurde. Im Alter von 90 Jahren wurde Shatner von Jeff Bezos eingeladen, am 13.10.2021 mit dem New Shepard-Raumfahrzeug einen Suborbitalflug zu unternehmen. Das war natürlich ein großartiger PR-Coup von Blue Origin und Shatner war damit der älteste Mensch, der je ins All geflogen ist.

Stern:

Vom Chief Medical Officer von Virgin Galactic, Dr. Jim Vanderploeg, weiß ich, dass dort viele Untersuchungen mit erkrankten Personen auf der Zentrifuge durchgeführt wurden, Diabetiker, Hypertoniker, mit der Fragestellung: Wie verkräften die die G-Profile? Haben die natürlich alle gut vertragen. Ich halte viel von dem Kollegen Vanderploeg, auch als Wissenschaftler, und diese Ergebnisse überraschen mich nicht. Das Hauptproblem ist ja a) die G-Belastung und das G-Profil und b) dass sie in der kurzen Phase der Schwerelosigkeit nicht erbrechen. Das schränkt ja auch den Genuss der anderen Personen an Bord ein. Und es wäre auch schlecht fürs Geschäft, wenn die Leute dabei versterben. Beim Astronautenkorps hat man sehr hohe Anforderungen an die Gesundheit. Wir selektieren bei uns die Kandidaten und Kandidatinnen, die absolut gesund sein müssen. Na gut, wer glaubt, gesund zu sein, wurde nur noch nicht gründlich genug untersucht. Aber es geht ja auch darum, dass diese Personen langfristig gesund bleiben sollen. Da gibt es Boards mit Vertretungen aller Raumfahrtorganisationen, die sich sehr genau ansehen, ob die Astronauten und Astronautinnen für die jeweilige Mission auch gesund genug sind. Wenn die Selektion stattfindet, sind die Bewerbenden so Mitte dreißig und müssen vollständig gesund sein, und wenn man sich dem gegenüber einen Neunzigjährigen ansieht – das ist medizinisch nicht möglich, dass diese Person ähnlich gesund ist. Gibt es nicht. Also, jemandem raten ... Wenn man die Möglichkeit hat, ins All zu fliegen, würde ich immer zuraten, immer, das ist doch genial. Und mit 90 würde ich erst recht sagen, „who cares, so what“. Schöner kann man nicht sterben.

Gravitationskraft

Die G-Kraft (auch g-Kraft) ist ein Maß der Beschleunigung. 1 G entspricht der Beschleunigung bei normaler Erdschwerkraft ($9,806 \text{ m/s}^2$). Entsprechend bezeichnet man Schwerelosigkeit als 0 G. Auf manchen Achterbahnen treten kurzfristig bis zu 6 G auf. Kampfflugzeuge erzeugen im Kurvenflug auch 9 G und mehr. Menschen werden ohne besonderes Training und Gegenmaßnahmen bei 5 – 6 G in Körperlängsachse bewusstlos, weil das Blut aus dem Kopf in die Beine gedrückt wird. Während des Starts einer Rakete tritt eine Beschleunigung von 4 – 5 G ein, beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre je nach Raumfahrzeug und Eintrittstechnik bis zu 10 G (Sojus). Da G-Belastungen senkrecht zur Körperlängsachse besser vertragen werden, befinden sich Astronauten während dieser Phase des Fluges häufig in liegender Position.

Hedtmann:

Gut, wem es nur darum geht, ins All zu fliegen, da spielt die Gesundheit eine sekundäre Rolle. Aber wir sprechen heute ja auch über neue Aufgaben, die die kommerzielle Raumfahrt dort erfüllen kann. Welche Anforderungen muss man denn stellen an die Personen, die heute nicht als Payload, sondern mit einer technischen, wissenschaftlichen, journalistischen oder anderen Aufgabe mitfliegen sollen? In Zukunft muss man das Weltall ja auch als „normalen“ Arbeitsplatz betrachten. Es wird nicht nur Leute geben, die wissenschaftlich arbeiten, sondern die vielleicht nur das Raumfahrzeug in Ordnung halten sollen.

Ewald:

Um das mal klarzustellen. Wenn man mir anbieten würde, so einen Suborbitalflug, über den ich eben ein bisschen despektierlich gesprochen habe, mit einer Experimentkiste auf dem Nebensitz machen zu können, wäre das für mich wieder völlig in Ordnung. Das ist ja nichts anderes als ein verlängerter Parabelflug, den wir ja auch nutzen, um Experimente vorzuprüfen. Da dauert die Schwerelosigkeit gute zwanzig Sekunden und man kann etwas besser beurteilen, ob ein Experiment funktionieren kann. Wenn nun die ESA sagen würde, wir kaufen bei Branson oder Bezos ein paar Plätze, statt in einer Höhenforschungsrakete, um etwas mehr Zeit für die Erprobung in Schwere-

losigkeit zu haben, dann würde es schon wieder Sinn ergeben. Es gibt aber noch einen anderen Aspekt, warum man in der Astronauten-Community denkt, dass das schon ein Stück weit ein Gewinn ist. Wir sind in der „Association of Space Explorers“ zusammengeschlossen, das ist eine Gruppe von Menschen aller Nationen, die bereits einen Orbitalflug erlebt haben. Es gibt da über die Jahre so 350 – 360 Mitglieder, von 600 Menschen, die schon mal im All waren. Suborbitalpassagiere gibt es knapp 80 (Anm.: Stand Mai 2024). Diese Association ist also schon eine relevante Organisation. Ziel ist es, den Blick auf die Erde aus der Orbitalperspektive zu nutzen, um auf die gerechte Verteilung der Ressourcen hinzuweisen und darauf, dass man von oben keine Grenzen sieht und es aus dieser Perspektive keinen Sinn ergibt, Kriege zu führen, um Grenzen zu verschieben. Das ist unser Credo. Wenn mehr und mehr Menschen diese Botschaft nach Hause bringen, auch von einem Suborbitalflug, bei dem man sich ja auch oberhalb der Atmosphäre befindet und die Schwärze des Himmels sieht, oben das lebensfeindliche All und unten den schönen blauen und weißen Planeten, dann stimmen sie damit in den großen Chor derjenigen ein, die das große Privileg hatten, die Erde als Raumschiff für alle Menschen zu sehen. Die russischen Kollegen, die jetzt gerade da oben in der ISS sind, sind keineswegs alle glühende Verfechter des russischen Krieges, bewegen sich aber damit in einem Spannungsfeld gegenüber dieser Botschaft; so steht dort oben ein großer Elefant unangesprochen im Raum.

Parabelflüge

Bei einem Parabelflug folgt das Luftfahrzeug einer Wurfparabel. Die Menschen an Bord erleben eine Phase von ca. 20 Sekunden 0 G. Es kann auch eine verminderte Gravitation, wie sie beispielsweise auf Mond oder Mars besteht, simuliert werden. Parabelflüge werden für das Training von Astronauten und Astronautinnen sowie für die Vorbereitung und Durchführung wissenschaftlicher Experimente genutzt.

Claudia Stern bereitet ein Experiment für die ISS vor.



Aber es gibt jetzt auch, wie wir das eben diskutiert haben, denjenigen mit anderen, vorgeblich philanthropischen Motiven. Es gab einen Flug mit vier Touristen, die ein paar Tage im Weltall waren und mit diesem Flug Spenden für ein Kinderkrankenhaus sammeln wollten. Gut, da hätte man jetzt nicht den Flug machen müssen, sondern hätte das Geld auch gleich spenden können. Auf dem Flug war auch eine beinamputierte Person dabei, was ESA ja jetzt auch in einem Projekt, allerdings mit langer Vorlaufzeit, erforschen will. Bei einem Suborbitalflug war eine ägyptische Frau muslimischen Glaubens dabei, die damit jetzt als Influencerin durch die Vortragsäle geht, um zu zeigen, was sie als Role Model für junge Frauen schaffen konnte. Auch sie nutzte einen Wettbewerbsgewinn als Karrierestart. Aber da ist schon ein Riesenunterschied zu den Profiastronautinnen, die sich nach einer kompetitiven Auswahl drei, vier Jahre durch ihr Basistraining bewegen und auf ihren Flug warten, fleißig in Houston und in Köln trainieren.

Küppers:

Wenn ich Sie richtig verstehe, spielt die wissenschaftliche Seite in Ihrer Motivation eine große Rolle? Ist das die einzige Rechtfertigung?

Ewald:

Sie ist die greifbarste Rechtfertigung, aber nicht die einzige. Deshalb greifen die ganzen Philanthropen ja auch auf irgendwelche Experimente zurück. Die haben alle irgendwas mit AIDS zu tun oder Impfen oder das Elend auf der Welt bekämpfen.

Küppers:

Sie haben gesagt, Transparenz ist eine wichtige Voraussetzung für das Vertrauen. Wie ist denn Ihr eigenes Verhältnis zur Technik? Ist Ihr Vertrauen in die Technik grenzenlos?

Ewald:

Ich muss ehrlich sagen, in meiner Zeit als Physiker – ich habe mich an einem Radioteleskop nützlich gemacht – habe ich schon Ingenieure und Ingenieurinnen bewundert, die einen Blick für technische Lösungen hatten. Denn die haben aus Erfahrung immer noch einen zweiten Bolzen oben drauf gelegt, falls der erste versagt, da wäre ich nie drauf gekommen. Insofern mag ich natürlich das Zusammenspiel zwischen meinem Verstehen von einem technischen System und wie das technische System dann tatsächlich funktioniert.

Das war immer faszinierend, gerade im Weltall. Manchmal versagt das technische System, dann kann man immer noch mal seinen Grips einschalten, ob nach meinem Verständnis dieser und jener Handgriff zum Erfolg führen müsste. Alexander Gerst kämpfte mit einem Sicherungsbolzen, der für den Start in ein empfindliches Gerät eingebaut war, einem Ofen für Materialproben, aber der Bolzen ließ sich nicht lösen. Nach viel Beratung hat man sich entschlossen, den Bolzen abzusägen. Und was hat Gerst gemacht? Er hat den Bolzen erst mal mit Rasiercreme eingeschäumt, damit sich die Metallteilchen beim Sägen nicht in dem empfindlichen Gerät in der Schwerelosigkeit überall wiederfinden. So was ist dann jenseits jeder Prozedur gut gemacht.



Alexander Gerst auf der ISS

Stern:

Es wird ja deutlich, dass die Motivation für einen Raumflug die Möglichkeit beeinflusst, eine Gefährdungsbeurteilung oder eine Nutzen-Risiko-Beurteilung halbwegs objektiv zu betreiben. Wir suchen in den Ausschreibungen für das Raumfahrtpersonal Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen, aber auch Piloten und Pilotinnen. So fing es ja bei Apollo an. Das waren alles Testpiloten. Und das war praktisch, die sind es gewohnt, Prozeduren zu folgen und stellen auch nicht, wie die Wissenschaftler, ständig Fragen nach dem Wozu und Warum. (Anm.: Ewald lacht.) Wenn der Schwerpunkt auf der Wissenschaft liegt, kann man für sich individuell abwägen, ob der Erkenntnisgewinn ein bestimmtes Risiko rechtfertigt. Es hat sich ja auch gesellschaftlich einiges

geändert. Früher haben die Agenturen gesagt, wir wissen schon, was gut ist für den Astronauten oder die Astronautin, egal in welcher Situation. Das war ja früher sicher auch bei Arbeitgebern und Arbeitgeberinnen eine verbreitete Einstellung. Wir wissen schon, was das Beste ist für unsere Leute. Das hat sich geändert in Richtung Transparenz und Eigenverantwortung, so dass die Astronauten und Astronautinnen sagen können: „Nein, machen wir nicht.“ Wenn aber die Motivation ist, ich möchte nur Spaß haben, oder gar, ich will Geschichte schreiben und berühmt werden, so fing es bei Shackletons Anzeige ja auch an, dann kann das natürlich einen ganz anderen Einfluss auf so eine Beurteilung haben.

Hedtmann:

Ich glaube, das ist eine ganz wichtige Feststellung. Die Motivation, warum ich etwas tue, hat ganz großen Einfluss auf die Objektivität einer Gefährdungsbeurteilung. Das gilt überall und generell, ist aber natürlich bei solchen Tätigkeiten, die etwas Besonderes sind, die ein hohes persönliches Bedürfnis widerspiegeln, besonders spannend.

Stern:

Und ich muss in der Lage sein, kognitiv, von meiner Persönlichkeit her und psychisch oder gar mit einer psychiatrischen Störung, das erfassen zu können. Wenn wir Ausbildungsplätze für Astronautinnen und Astronauten ausschreiben, haben wir unglaublich viele Bewerber und Bewerberinnen mit massiven psychiatrischen Auffälligkeiten. Die sind richtig schwer krank, glauben aber, die besten Astronauten der Welt zu sein und am nächsten Tag fliegen zu können. Die Persönlichkeit muss es ermöglichen, eine Gefährdungsbeurteilung, die das Unternehmen oder die Agentur erstellt, auch begreifen zu können und zu wollen. Deshalb ist die psychologische und psychiatrische Selektion im Vorfeld so wichtig. Ein Herr L. von Germanwings, der war beliebt in seiner Umgebung, das war kein Nerd, galt als total netter Typ und bringt trotzdem ein ganzes Flugzeug voller Menschen um. Deshalb ist das für mich persönlich eine ganz wichtige Fragestellung.

Ewald:

Deshalb kommt die wahre Motivation bei den Büchern, die von meinen Kolleginnen und Kollegen nach ihren Missionen geschrieben werden, deutlicher heraus als vor der Mission. Das Zurückhalten der wahren Motive ist weit verbreitet.

Es gibt Alpha-Menschen, die sich die Fähigkeit zu sozialen Kontakten antrainieren, um an dieser Persönlichkeitsausprägung bei der Auswahl oder noch kurz vor dem Flug nicht zu scheitern. Ein anderes Beispiel beschreibt Scott Kelly in seinem Buch. Er scheiterte beinahe am Kohlendioxidgehalt der Raumstation, der ihm rasende Kopfschmerzen machte. Der Mann ist sein ganzes Leben Overachiever, was er will, verwirklicht er mit Härte gegen sich und andere, bis zu einem Maße, das im Bewerbungsverfahren nicht so gut rübergekommen wäre. Der litt die ganze Zeit – und er war fast ein Jahr lang dort oben – an dem hohen Kohlendioxidgehalt und war am liebsten allein im amerikanischen Modul, weil dann dort die Kohlendioxidkonzentration – die durch die Filtersysteme nicht so gut reduziert werden kann wie auf der Erde – einigermaßen erträglich war. Diese Menschen, die so überaus erfolgreich sind und alles nur gut machen können, stoßen plötzlich an eine Grenze, die sie aus dem Takt wirft. Seinen russischen Mitflieger, der mit ihm die ganze Zeit an Bord war, erwähnt er in seinem Buch an gerade einmal zwei Stellen.

Fliegertauglichkeit

Am 24.03.2015 brachte Andreas L. als Co-Pilot einen Airbus A320 der Germanwings mit 150 Menschen an Bord absichtlich zum Absturz. L. litt unter depressiven Episoden und war bis zum Unfall bei zahlreichen Ärzten und Ärztinnen vorstellig geworden, ja sogar am Unfalltag krankgeschrieben. All diese Informationen waren seinem Arbeitgeber jedoch aufgrund der Schweigepflicht nicht bekannt. Noch immer ist der Germanwings-Unfall Thema auf zahlreichen internationalen flugmedizinischen Kongressen. Einige Verfahren bei der Feststellung der Fliegertauglichkeit wurden umgestellt. Ebenso durfte sich – als Konsequenz aus diesem Ereignis – zeitweise keine Person mehr alleine im Cockpit aufhalten.

Hedtmann:

Man kann eben seine Persönlichkeit nicht ablegen. Vielleicht kann man sie eine Zeit lang covern, aber man kann sie nicht ablegen.

Ewald:

Es ist gut gegangen bis jetzt. Wir hatten keine Flugabbrüche wegen persönlicher Ausraster. Gelegentlich Einschränkungen im Missionsprofil, manches musste erleichtert werden, mal etwas Nettes zur Abwechslung in den Progress-Transporter packen, aber keine ernsthaften Probleme.

Küppers:

Sie halten also die Auswahlkriterien schon für überzeugend?

Ewald:

Da gibt es ein weites Spektrum. Die Shuttle-Astronauten und -Astronautinnen wurden nach ganz anderen Kriterien ausgewählt als diejenigen, die jetzt in Sechsmonats- oder Einjahreszyklen auf der ISS zusammenarbeiten sollen. Zu den Kriterien ist noch nicht das letzte Wort gesprochen.

Stern:

Du hast gerade die Alpha-Persönlichkeiten angesprochen. Man möchte ja auf der einen Seite schon Personen haben, die die Fähigkeit besitzen, zu führen, aber gleichzeitig auch ein sehr gutes Teammitglied sein können. Auch mit europäischen Astronauten und Astronautinnen haben wir die Situation, dass die zunächst über die Hälfte der Mission Teammitglied sind und dann aber Kommandant oder Kommandantin der Raumstation werden. Und das kann manchmal schon schwierig sein. Das spricht ja auch für das lange, gute Training mit drei Jahren Basistraining und dem eineinhalb- bis zweijährigen Missionstraining. Da lernen die Betroffenen ihr Umfeld recht gut kennen und mit Extremsituationen, wie Überlebenstraining im russischen Winter, werden die Teammitglieder schon an ihre Grenzen gebracht. Das ist bei den kommerziellen Angeboten ja gar nicht mehr drin. Nach der Entscheidung „Sie sind dabei“ vergeht vielleicht ein halbes Jahr und schon sitzt man im Raumschiff.

Hedtmann:

Wenn Sie heute eine Empfehlung hätten für Ihre jetzt einsteigenden jüngeren Kollegen und Kolleginnen, was die mentale und wissenschaftliche Vorbereitung auf einen Raumflug angeht, was würden Sie denen raten?

Ewald:

Nun, was die wissenschaftliche Vorbereitung angeht, da gehen die Erstflieger schon etwas erlebnisorientierter heran, inklusive diverser Biopsien, als man das als erfahrener Kollege abwägen würde. Letztlich ist das, was man tut oder lässt, aber auch eine Frage der professionellen Einstellung.

Ich möchte aber einen Aspekt einbringen, der vielen der Neuen jetzt droht, das ist der Eingriff in das persönliche Leben, das dieses Astronautentraining bedeutet. Die Priorität zwischen Familie und Beruf verschiebt sich komplett zu

Beruf. Die professionellen Astronauten bekommen einen sogenannten Trip-Plan und das sind auch wirklich Trips über zwei Jahre rund um die Welt. Unter Covid-Bedingungen noch verschärft dadurch, dass man wirklich ausschließlich in der eigenen Blase unterwegs war und die Familie zu Hause keinerlei Chance hatte, daran teilzuhaben. Die Veränderungsrate in den Partnerbeziehungen von Astronauten ist in dem Moment, wo ein Training angetreten wird, riesig. Für dieses Ziel, Astronaut zu werden und einen Flug anzutreten, opfern viele ihr persönliches Umfeld.

Hedtmann:

Nützt es etwas, zu empfehlen, den Partner oder die Partnerin zu fragen, bevor die Bewerbung abgegeben wird?

Ewald:

Es gibt durchaus eine Harmonie zwischen Beruf und Partnerschaft, die einen auch da oben antreiben kann, auch über sechs Monate.

Hedtmann:

Man findet auch bei erdgebundenen Berufen durchaus Tätigkeiten, wo die Work-Life-Balance nicht so die entscheidende Rolle spielt. Oder Persönlichkeiten, die für sich entschieden haben, dass die Arbeit ihr Leben vollständig ausfüllt. Menschen, die am Ende ihres Berufslebens Schwierigkeiten haben, loszulassen. Das kann man eventuell willentlich ändern. Aber wer für einen Raumflug trainiert, hat ja gar keine Möglichkeit mehr, aus dieser Verpflichtung herauszukommen, außer man gibt auf. Das heißt, von der Entscheidung für eine Mission bis zur Landung ...

Ewald:

... gibt man sein Privatleben aus der Hand.

Küppers:

Es gibt aber auch Beziehungen, die diese Zeit gut tragen? Haben Ihre Beziehungen diese Zeit getragen?

Ewald:

Das ist jetzt natürlich eine sehr persönliche Frage, die ja auch nur individuell zu beantworten ist. In meinem Fall waren die Kinder beim ersten Training noch sehr klein, gingen noch nicht zur Schule und meine Familie konnte nach

Moskau mitkommen. Da haben die Russen den größten Teil des Trainings vor Ort möglich gemacht. Das geht heute natürlich nicht mehr, wenn man für die internationale Raumstation trainiert. Beim zweiten Training waren die Kinder schon etwas älter, und wegen der Besonderheiten des russischen Bildungssystems und der Sprache ist die Familie zu Hause geblieben. Da hat man sich selbst die Pflicht auferlegt, das zu schaffen, bekommt man die Balance hin. Aber, wenn auch theoretisch: Bei einem zweiten Flug wäre es die Entscheidung meiner Frau gewesen, ob für sie die Begründung dafür trägt. In dem Film „First Man“ gibt es übrigens eine interessante Szene: Neil Armstrong sitzt mit seiner Familie am Küchentisch und seine Frau fordert ihn auf, den Kindern zu erklären, auf was für eine Mission er jetzt geht und warum er das tut. Und dazu ist er, zumindest im Film, nicht in der Lage.

Neil Armstrongs historische Mondlandung



Neil Armstrong war Kommandant der Apollo-11-Mission und der erste Mensch, der den Mond betreten hat. Am 21.07.1969 setzte er seinen Fuß in den Mondstaub. Vorausgegangen war ein durchaus spektakulärer Landeanflug der mit ihm und Buzz Aldrin besetzten Landefähre „Eagle“. Weil der vorgesehene Landebereich mit Felsen übersät war, musste Armstrong manuell einen anderen Landeplatz suchen und landete quasi mit dem letzten Tropfen des für die Landung vorgesehenen Treibstoffs. Die Astronauten der Apollo-Missionen schätzten ihre Chancen auf eine gesunde Rückkehr übrigens auf 50:50.



Pausengespräch in der Kurzarmzentrifuge des DLR (von links: Prof. Dr. Claudia Stern, Dr. Jörg Hedtmann, Prof. Dr. Reinhold Ewald)

Stern:

Das ist der entscheidende Grund, warum es so wichtig ist, die Familie mitzunehmen. Es ist ja nicht nur die räumliche Distanz. Damals gab es ja auch noch keine Handys, die Kontaktaufnahme war viel schwieriger. Aber diese Phase verändert den Erlebnishorizont und die Persönlichkeit so stark. Wenn man dabei keine Möglichkeit hat, die Familie in diese Veränderung mitzunehmen, wenn die Familie keine Möglichkeit hat, das mitzuerleben, wenn man über die vielen unglaublichen Erlebnisse nicht miteinander sprechen kann, dann trennen sich die Welten, das bekommt man nicht mehr zusammen.

Hedtmann:

Man kann ja im Training nicht immer vorhersehen, was in einer Umgebung mit unbekanntem Gefahren alles passieren kann. Können Sie uns Unfallgefahren

beschreiben, die Sie erlebt haben und die mit den typischen Bedingungen an Bord eines Raumschiffs oder einer Raumstation zusammenhängen?

Ewald:

Der Übergang vom Operationellen zur Gefahrensituation: Das war zum Beispiel extrem, als ein Modul der MIR-Station von einem Progress-Transporter getroffen wurde und leckschlug. Da musste die Besatzung erst mal Kabel, die durch die Luke – die jetzt schnell geschlossen werden musste – geführt worden waren, entfernen. Da gab es dünne und dicke Kabel, einige wissenschaftliche, aber auch einige Elektrokabel. Und in einer solchen Not-situation mit irgendeinem Werkzeug diese Elektrokabel zu durchtrennen, ist natürlich von keiner Prozedur mehr gedeckt. Es gab Luftschläuche, die zu weniger ventilierten Bereichen verlegt wurden, die liefen dann auch durch die Luke. Das war fahrlässig. Da nützen auch keine Quick-Disconnect-Verbindungen, und man ist dazu übergegangen, diese Kabel zwischen zwei Modulen konsequent durch spezielle Außenringe zu legen. Das sind typische Routinesituationen, bei denen die Bequemlichkeit die Gedanken an die potenzielle Gefahr verdrängt hat. Es wird viel in den Safety Reviews beschrieben, was zum Beispiel rotierende Elemente angeht, Zentrifugen, druckbeaufschlagte Behälter, heiße Oberflächen etc., manchmal bis zu einem Punkt, zu dem man das Gerät eigentlich gar nicht mehr benutzen kann. Das muss man dann schon sorgfältig abwägen. Die Astronauten und Astronautinnen werden auch regelmäßig zu einem Crew-Station-Review gebeten, bei dem man mit diesen ganzen Sicherheitsvorschriften konfrontiert wird. Auch wenn man davon ausgeht, dass niemand in eine rotierende Zentrifuge greift, wenn er oder sie sie selbst vorher in Betrieb genommen hat – man muss es formell ausschließen.

Es geht mit jedem Crew-Wechsel an Bord Wissen um diese Dinge verloren. Die eine Crew kam damit klar, die nächste kann sich schon wieder keinen Reim darauf machen. Aber hier ist Kontinuität sehr wichtig. In diesem Zusammenhang ist auch das sorgfältige Verlegen von Geräten, Kabeln, Aufbauelementen für Experimente sehr wichtig. Das ist auf jeden Fall sehr zeitaufwändig, aber im Gefahrenfall entscheidend. Für manche Gegenstände gibt es eine „Search List“ mit Dingen, von denen keiner mehr weiß, hinter welchem Paneel das jetzt verschwunden ist. Das ist direkt der Schwerelosigkeit geschuldet. Aber bei schnellen Reaktionen im Gefahrenfall, da schleift sich häufig das falsche Verhalten ein.



Eine Raumstation ist eine sich ständig verändernde Forschungseinrichtung. Kabel und Luftschläuche werden bei jedem Experiment neu verlegt, nicht immer unter Berücksichtigung der Konsequenzen für die Sicherheit. Hier kämpft sich der kanadische Astronaut Chris Hadfield durch das Kabelgewirr.

Hedtmann:

Gerade in einem so sicherheitsrelevanten oder sicherheitsbewussten Bereich, in dem, bevor man ein Gerät überhaupt einschaltet, tausend Sicherheitsprozeduren durchlaufen werden, da führt man ein Kabel oder einen Schlauch durch eine Schleuse? Ich stelle mir gerade eine Betriebsbesichtigung, eine Sicherheitsbegehung auf der Erde vor. Der erste Blick prüft, sind die Notausgänge frei, liegt irgendwo was herum – gut, auf der Erde insbesondere, damit keiner drüber stolpert. Aber wie kommt man darauf, mal eben einen Schlauch durch eine Luke zu legen? Egal, ob Schwerelosigkeit und Weltall, das ist ja in erster Linie ein fliegendes Forschungslabor. Und auch in Forschungslaboren auf der Erde hängen erfahrungsgemäß Kabel von der Decke, da wird hier mal eben was mit dem Panzertape festgemacht und ich kann mir vorstellen, dass

diese Grundeinstellung beim Forschen, „mach mal eben fest, schraub mal an“ – wegen der Fixierung auf das eigentliche Experiment – auch im All eine entscheidende Rolle spielt.

Ewald:

Richtig, gerade Physiker sind ja primär auf den Erfolg fixiert, und nicht alles, was man sich da im Breadboard zusammengebaut hat, ist abnahmefähig. Das darf aber für die ISS nicht sein, schon aus Gründen der Kontinuität. Es sind jetzt siebzig Besatzungen seit 2000 da oben gewesen, die lernen nicht alles am Boden, weil man viele Situationen am Boden gar nicht nachstellen kann. Deshalb ist es wichtig, dass das in einem überschaubaren Bereich bleibt. Eine andere Sache ist die Überschätzung. Matthias Maurer schreibt in seinem Buch – Sie sehen, ich lese, was die Kollegen schreiben – es sei eine schlimme Erfahrung mit der Touristencrew gewesen, die ständig ihre Möglichkeiten und Fähigkeiten überschätzten. Selbst der sehr erfahrene Astronaut, der diese Gruppe begleitet hat, konnte die kaum im Zaum halten, geschweige denn, ihnen ständig hinterherfliegen. Vielleicht wollte man ihnen auch nicht allzu viele Einschränkungen auferlegen, denn schließlich hatten die ja viel Geld bezahlt. Dort oben ist man erst mal Lehrling. Die Besatzung, die einen dort oben empfängt, die weiß genau, was funktioniert und was nicht funktioniert. Wer sich dann erdreistet zu sagen, das habe ich im Training immer so gemacht, der läuft Gefahr, etwas kaputt zu machen, was schon lange lief und noch hätte weiterlaufen müssen. Man braucht ein Mindset, nachzufragen, eventuell auch bei der Bodenstation nachzufragen, bevor man irgendetwas macht. Diese Spur verlässt man im Überschwang des eigenen Wissens oder Trainings leicht. Das kann schnell gefährlich werden.

Ich habe viele Flüge aus dem Kontrollzentrum begleitet und einiges erlebt. Einmal kam jemand mit dem Fuß an einen Sojus-Düsenhebel und schon kam die Raumstation vom Kurs ab, weil die Triebwerke in eine bestimmte Richtung feuerten. Man konnte die Aufregung mithören. Es ist wichtig, sich als Neuling zurückzunehmen, bis man die Aufgabe erklärt bekommen hat und das verantwortlich durchführen kann. Es besteht ein Konflikt zwischen der Autonomie der Astronauten und Astronautinnen, das kann ich schon selbst entscheiden, oder doch mal die alte Besatzung zu fragen oder auch den Boden einzuschalten. Das steht der „Yes, I can“-Attitüde natürlich entgegen, aber diese Bewusstseinsänderung muss man einfach durchmachen, sonst steht man schnell ziemlich dumm und ignorant da.

Stern:

Zu Anfang ist ja ohnehin alles neu. Die Erfahrung mit der Mikrogravitation ist eine riesige Sache, die Orientierung trotz Training fällt schwer, man hat durch die fluid shift die ganze Flüssigkeit im Kopf, das puffy face. Manche bezeichnen das als „space fog“, Gehirn-Nebel. Das Denken fällt deutlich schwerer – einer der vielen Gründe, warum es Checklisten gibt. Wenn man nach einiger Zeit glaubt, das kann ich jetzt alles, die Checkliste brauche ich nicht mehr, kommt es durchaus zu Fehlern. Für das Experiment, das wir auf der Matthias-Maurer-Mission mit nach oben geschickt haben, mussten wir unglaublich viele Sicherheitschecks und -untersuchungen machen und lange Checklisten schreiben.

Fluid Shift

Durch die Flüssigkeitsverschiebung („fluid shift“) im Körper als Folge der Schwerelosigkeit kommt es zum sogenannten „puffy face“. Das Blut und die Gewebeflüssigkeit, die sich auf der Erde schwerkraftabhängig in der unteren Körperhälfte befindet, verteilt sich unter 0-G-Bedingungen gleichmäßig im Körper. Das lässt das Gesicht anschwellen. Natürlich ist das puffy face nur äußerlich sichtbarer Ausdruck der Flüssigkeitsverschiebung, die auch andere Organsysteme wie Gehirn, Herz oder Nieren betrifft und zu Veränderungen physiologischer Abläufe führt. Hier sieht man den Unterschied bei Chris Hadfield.



Hedtmann:

Trotzdem kommt mir da vieles sehr erdnah vor. Wenn jemand versehentlich an einen Hebel kommt und damit eine ungewollte Bewegung auslöst, dann würden wir auf der Erde sagen, da ist schon bei der Gefährdungsbeurteilung etwas schiefgelaufen, das hätte gar nicht passieren dürfen. Wieso war der scharf und wieso kommt man da einfach dran. Ich gehe mal davon aus, dass solche Gedanken bei Bau und Konstruktion einer Raumstation eine Rolle spielen. Oder sehen wir hier auch, wie so oft bei technischen Entwicklungen, dass das Bedienpersonal bei der Planung keine große Rolle spielt?

Ewald:

Das ist bei der Enge sehr schwierig. Man kann gar nicht vermeiden, dass Unkundige in Bereiche kommen, wo eigentlich nur Kundige operieren sollten. Ich habe kein Dragon-Training gemacht und ich weiß auch nicht was Axiom und SpaceX ihren Leuten beibringen, aber ich gehe davon aus, dass in der Dragon-Kapsel die Nähe von untrainierten Personen und komplexen Systemen einfach gegeben ist. Da muss man sich konsequent zurücknehmen. „Do not touch“ – obwohl, einem Astronauten zu sagen „do not touch“ ... (geht in Heiterkeit unter)

Küppers:

Das finden wir bei uns in der Seeschifffahrt in ähnlicher Weise wieder. Die haben immer Angst, dass untrainiertes Personal an Bord kommt und für Risikopotenzial sorgt oder sich in kritischen Situationen fehlverhält. Ein markanter Unterschied ist natürlich die Enge, die haben Sie auf einem Schiff meist nicht.

Hedtmann:

Man geht doch davon aus, das sind spezialisierte Leute. Wenn wir in unsere Betriebe schauen, dann weiß man nie, wer da so alles vor Ort ist. Deshalb muss man alles abschließen, ausschalten und gegen Wiedereinschalten sichern. Aber in der Arbeitsumgebung einer Raumstation erwarte ich, dass dort Leute sind, die sind hochgradig trainiert, die wissen, wo man nicht dransfasst oder reingreift. In einer unübersichtlichen Situation weiß man jedoch nie, wie es ausgeht.

Als Laie stelle ich mir vor, dass in Schwerelosigkeit alles Mögliche durch die Gegend fliegt. Ist das ein ernsthaftes Problem? Schräubchen, Staubpartikel ... Große Teile sieht man, die fängt man wieder ein. Aber was ist mit



Crew Dragon nähert sich der ISS zum Andocken

Die NASA, Boeing und SpaceX arbeiten zusammen, um eine neue Generation astronautischer Raumschiffe zu entwickeln, die Astronauten zur Station bringen und die Forschungsmöglichkeiten im Orbit erweitern können.

dem ganzen Mikrokram, der da herumfliegt? Kriegt man das in die Augen? Atmet man das ein? Wie muss ich mir das vorstellen?

Ewald:

Eine solche Situation hatten wir ja nach dem Brand. Wir wussten ja nicht, was da alles aus der Isolierung an Asbest und anderem Material freigesetzt wurde. Es gibt zwar Filter für Mikropartikel, aber bis die wirken, das liegt jenseits von zwei Stunden. Beim Empfang eines neuen Transportfahrzeugs wird daher

Augenschutz und Mund-Nase-Schutz angelegt. Dann wird da zunächst mal ein Luftreinigungsgerät reingestellt und die Luke wieder zugemacht. Staub setzt sich nicht, der fliegt halt rum. Schlimmer ist es aber zum Beispiel, Bartstop-peln, die beim Rasieren freigeworden sind, in die Augen zu kriegen. Deshalb ist mit dem Rasierer auch immer ein Staubsauger verbunden. Oder Haare, die sich beim Haareschneiden selbstständig machen ... Da entstehen schon Gefahren-momente, wenn man bei der Atmosphärenreinigung nicht sehr konsequent ist.

Stern:

Es gibt schon mal kleinere Wunden, Abschürfungen, Anstoßverletzungen durch das Herumfloaten. Es gibt eine Menge Hausmeistertätigkeiten, die durchge-führt werden müssen und bei denen eine Schutzbrille schon extrem wichtig ist. Wenn die Besatzung in der Cupola ist, also zum Rausgucken, dann soll eine Sonnenbrille getragen werden, weil dort der Strahlenschutz deutlich geringer ist. Macht man natürlich nicht so gerne, wegen der Farbwahrnehmungsverän-derung durch die Sonnenbrille. Dann haben wir den hohen Kohlendioxidanteil, der die Kopfschmerzen verursacht. Schlaf ist aktuell ein Riesenthema, weil die gerade so überbevölkert sind da oben. Normalerweise haben die alle ihre Schlafplätze, aber das ist bei so vielen Leuten nicht mehr sichergestellt, die schlafen teils in der Raumkapsel, teils in irgendwelchen Notschlafplätzen. Da hört man öfter Beschwerden über die SpaceX-Kapsel, dass da alles superchic aussieht, aber total unfunktional ist, weil alles glatt ist und man nichts – auch sich selbst nicht – festmachen kann.

Hedtmann:

Was erwartet den Menschen denn im Weltraum an geistigen und körperlichen Herausforderungen oder Veränderungen? Und woher wissen wir das?

Stern:

Das weiß man von den Astronauten und Astronautinnen, speziell von den wissenschaftlich interessierten, die das auch berichten. Übrigens eher von amerikanischer Seite, weil europäische Astronautinnen und Astronauten tradi-tionell nicht so gerne über medizinische Themen berichten. Man möchte ja den zweiten Flug nicht unnötig gefährden. Deshalb klagt niemand über Beschwer-den oder medizinische Probleme. In den USA publizieren die Betroffenen oft selbst über ihre Erkrankungen. Eine solche Tradition haben wir nicht. Aber neben den Berichten haben wir ja auch die wissenschaftlichen Experimente. Dass es denen erst mal schlecht geht da oben, das wissen wir schon lange.

Das gibt sich nach 72 Stunden. 70 Prozent bekommen das Space-Adaptation-Syndrom mit Übelkeit und Erbrechen. Da kann man natürlich medikamentös etwas tun. Und dann ist da, wie gesagt, die fluid shift mit puffy face und der vielen Flüssigkeit im Gehirn, die das Denken teilweise so schwer macht. Dann beobachten wir Muskel- und Knochenverlust, Muskelkraftverlust, Veränderungen an den Augen, hier sind ebenfalls 70 Prozent betroffen. Das sind die Hauptprobleme. Dazu kommt die Strahlung, die da überall mit reinspielt. Jetzt sind unsere beiden DLR-Damen ja um den Mond mitgeflogen, um die Strahlenbelastung zu messen ...

Hedtmann:

... Helga und ...

Stern:

... Zohar! Die Auswirkungen der hohen Strahlendosen kennen wir ja sonst nur von den Atombombenabwürfen und -versuchen. Was macht die Strahlung,

Helga und Zohar

An Bord der Orionkapsel, die im Rahmen der NASA-Mission Artemis I (16.11.2022 – 11.12.2022) um den Mond flog, war tatsächlich eine „Besatzung“ aus Deutschland an Bord. Die beiden weiblichen Messpuppen Helga und Zohar waren vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt präpariert worden, um die Strahlenbelastung zu messen. Zohar trug bei diesem Experiment eine Strahlenschutzweste aus Israel. Die Ergebnisse werden erheblichen Einfluss auf die Missionsplanung für Mond- und Marsflüge haben.



wo spielt sie eine Rolle, welchen Einfluss hat sie nicht nur auf den Körper, sondern auch auf Nahrung und Medikamente etc., das sind entscheidende Fragen auch für die Marsmission. Die wesentlichen Veränderungen betreffen aber Knochen, Muskeln und Augen.

Caumanns:

Was passiert mit den Augen?

Stern:

An den Augen kann es zu einem Papillenödem (Schwellung des Sehnervenkopfes) kommen, zu einer Abflachung des Augapfels mit einer Hyperopisierung und zu Veränderungen an der Netzhaut – sogenannten Cotton-Wool-Spots – dementsprechend auch Gesichtsfelddefekten. Eine Äquivalent zu diesen Veränderungen gibt es auf der Erde nicht. Im Gegensatz zum Beispiel zur Muskulatur, wenn man die zu lange nicht einsetzt, entwickelt sie sich zurück. Im All passiert das schneller.

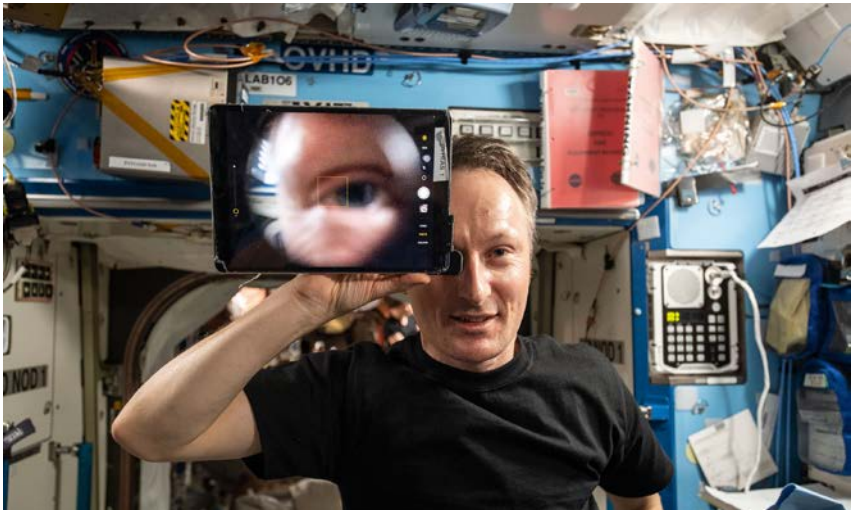
Hedtmann:

Diese Augenveränderungen sind auch Ihr spezielles Forschungsgebiet. Und betrafen auch das Experiment, das Sie auf der Matthias-Maurer-Mission hatten. Sie versuchen das ja in Ihrem Forschungslabor mit Studien in Kopftieflage nachzuvollziehen? Wie kann man denn die Veränderungen an Bord der ISS messen? Da steht ja niemand mit einem Ophthalmoskop?

Stern:

Wir haben einen Adapter entwickelt und für ein auf der ISS vorhandenes System angepasst. Eigentlich war das für ein Handy vorgesehen. Aber Mobiltelefone gibt es auf der ISS wegen der Brandgefahr nicht. Deshalb haben wir ein Linsensystem vor die Kamera eines vorhandenen Tabletcomputers gebaut. Damit konnten Matthias Maurer und sein amerikanischer Kollege Aufnahmen vom Sehnervenkopf machen und prüfen, ob der geschwollen ist. Auf der Erde ist das eine Notfallsituation. Wenn man ein Papillenödem hat, geht es in die Klinik, um zu prüfen, ob der Hirndruck erhöht ist. Das ist auch im All eine zentrale Frage. Man weiß, dass es Veränderungen im Gehirn gibt, auch Verschiebungen des Gehirns und Abnahme der Hirnsubstanz, und es ergibt sich die Frage, ist da oben nun der Hirndruck erhöht oder nicht. Wir wissen es nicht, wir konnten es noch nicht messen. Wir haben Daten von zurückgekehrten Astronauten, aber die sagen nichts aus über die Zeit

vorher. Das macht uns noch Angst und ist in der Tat das rote Risiko Nummer zwei auf dem Weg zum Mars. Nummer eins ist die Strahlung. Und zu Nummer zwei gehören die Augenveränderungen, von denen wir nicht wissen, woher die kommen. Was wir aber wissen ist, dass mit zunehmender Missionsdauer die Veränderungen zunehmen. Und wir wissen, dass das Problem bei einer Folgemission auch wieder auftritt. Aber wir wissen nicht, wie sich das jenseits der zwölf Monate entwickelt.



Matthias Maurer führt auf der ISS das Experiment zur Diagnostik eines Papillenödems durch.

Hedtmann:

Entwickelt sich das zurück, nach der Landung?

Stern:

Sowohl als auch. Es gibt Personen, da entwickelt sich das schnell zurück, es gibt Personen, da entwickelt sich das innerhalb von sechs Monaten zurück und es gibt Personen, da entwickelt es sich nicht zurück.

Hedtmann:

Was zunächst mal beunruhigend ist. Vielleicht im Gegensatz zum puffy face, das ja, wenn die Schwerkraft wieder da ist, auch sofort zurückgeht. Fühlt sich das eigentlich auch unangenehm an?

Ewald:

Ich war auf der glücklichen Seite der 70/30-Verteilung (Anm.: 70 Prozent der Raumfahrenden leiden nach Ankunft auf der ISS an Raumkrankheit). Ohne dass ich das vorausgesehen hätte. Denn mir ist auf Parabelflügen schlecht geworden und ich setze mich auch nicht gerne in ein Karussell. Insofern war ich gespannt, wie das wohl werden würde, bin aber erst mal ohne Medikamente darangegangen. Und mir ging es gut! Insofern habe ich auch von diesem puffy face wenig mitbekommen, außer dass der Geschmack weg war. Deshalb haben wir uns auch deutlich mehr Salz ans Essen getan, um überhaupt was zu schmecken. Nur ich durfte das leider nicht, weil ich im Rahmen eines Experiments einen exakten Speiseplan einhalten musste und nur genau vorgeschriebenes Essen zu mir nahm, gerade in Bezug auf Salz. Es bestand vorwiegend aus Broccoli. Da der Input damit bekannt war und der Output gemessen wurde, haben wir, gerade was den Salzhaushalt anging, neue Erkenntnisse gewonnen. Das Lästigste, das man merkt, ist die Schwäche des Immunsystems. Jeder Kratzer, jede Hautaffektion entwickelt sich nicht in der gewohnten Zeit zurück. Ich hatte einen Pickel, der während der gesamten Mission sehr prominent zu sehen war. Gut, man hatte das gesagt bekommen, dass das Immunsystem geschwächt würde, aber das am eigenen Leib zu erfahren, war eindrucksvoll. Unsere russischen Freunde machten uns die Luke auf und hatten komplett blaue Hände. Die hatten tief in den Eingeweiden der MIR-Station gearbeitet und sich die diversen Verletzungen mit Jod desinfiziert, um nur bloß keine längerfristige Hautinfektion zu riskieren. Aber es setzt insgesamt ein großes Erstaunen ein, wie gut der Körper ohne Hilfsmittel mit der geänderten Schweresituation zurechtkommt. Es gibt vielleicht Beeinträchtigungen des Sehens und auf lange Sicht ein paar andere Dinge, aber es gibt nicht eine vitale Körperfunktion, die auf Erdschwere angewiesen ist. Das ist fantastisch. Die Nieren funktionieren, die Verdauung funktioniert, die Peristaltik. Herz und Lunge stellen sich auf die veränderte Situation ein. Wir wissen, dass die Ventilation nicht so vollständig ist, das beeinträchtigt einen aber jetzt auch nicht in einem Maße, dass man sich da künstlich behelfen müsste. Das ist die gute Nachricht, dass der Körper Reserven hat, die aus der Evolution heraus überhaupt nicht vorhersehbar nötig waren.

Caumanns:

Wie lange ist man zum Mars unterwegs? Hinflug, Rückflug, man will sich ja auch ein bisschen dort aufhalten. Grund genug, darüber nachzudenken, wie man das länger durchhält.

Ewald:

Das ist das große Problem. Die Strahlenbelastung spielt eine erhebliche Rolle. Im erdnahen Orbit sind wir relativ gut abgeschirmt. Ich hatte da 700 Mikrosievert Belastung pro Tag. Was für einen normalen Erdarbeitsplatz natürlich schon viel zu viel ist. Relativ sieht das so aus: auf der Erde Faktor 1, im Gebirge 2, in der Stratosphäre 40, im Low Earth Orbit 250, interplanetar das 770-Fache! Auf dem Mars 260, weil der sich dreht und man dann den Planeten zwischen sich und dem Sonnenwind hat.

Hedtmann:

Das klingt nach der entscheidenden Spaßbremse. Aber wir haben ja auch noch die beunruhigende Entwicklung am Auge mit Veränderungen der Netzhaut oder des Sehnervenkopfes. Was ist, wenn das während der Mission zunimmt? Man möchte ja auch, dass die Leute mit einem funktionierenden Sehapparat wieder zurückkommen.

Stern:

Das Wesentliche aus Sicht der Missionssicherheit ist, dass die Forschungsreisenden gut sehen können, wenn sie dort ankommen. Bei der Rückkehr zur Erde wäre es natürlich auch bitter, wenn die Sehleistung getrübt ist. Hier wäre es vor allem ein Arbeitsschutzthema. Aber wenn sie auf dem Mars



Lange Weltraummissionen und der lange Aufenthalt auf dem Mars werden in sogenannten „Analog-Missionen“, zum Beispiel in der israelischen Negev-Wüste, erforscht. So könnte es dabei ausgesehen haben.

ankommen, sollte alles gut funktionieren. Auf der Erde gibt es auch jetzt schon nach der Landung eine Riesen-Armada von Leuten, die helfen. Aus der Kapsel hieven, Infusionen geben, stützen, dafür sorgen, dass die nicht kollabieren. Das Gehirn muss sich erst mal zurückadaptieren auf die Erde. Man muss wieder erfahren, was oben und unten ist. Die Astronautinnen und Astronauten dürfen nach der Rückkehr erst mal drei Wochen kein Auto fahren. Erfreulicherweise ist das Gehirn ja relativ anpassungsfähig. Nur, wenn die Crew auf dem Mars ankommt, nach monatelangem Flug, dann ist da niemand, der ihnen hilft! Da müssen die fit sein bei der Ankunft, die müssen selbstständig stehen können, dürfen nicht gleich kollabieren, Sehen und Denken muss funktionieren. Das ist in der Tat noch ein Problem. Beim Mond ist das nicht so schlimm, der ist relativ nah, der Flug ist nicht so lang, das bekommt man hin. Der Mars ist eine völlig andere Hausnummer.

Hedtmann:

Der Mars hat ein Drittel der Erdschwere, der Mond ein Sechstel. Wenn man viele Monate unterwegs war und dann plötzlich auf ein Drittel der Erdschwerkraft beschleunigt wird, sind die Dinge, die einen darauf vorbereiten sollen, ein wichtiges Ausstattungsmerkmal des Raumfahrzeugs.

Ewald:

Es gab Versuche, bei denen man eine Sojus-Besatzung kurz nach der Landung gebeten hat, einen kleinen Hindernisparcours zu durchlaufen. Das war erschreckend. Selbst diejenigen, denen es gut geht und die nicht damit beschäftigt sind, die Übelkeit zurückzuhalten, bewegen sich tapsig und unkoordiniert.

Stern:

Auch hier können wir die ISS-Rückkehrer für Versuche im Rahmen des Programms „ISS for Mars“ nutzen. Das heißt, nach der Landung mit möglichst wenig Eingriffen die Leute selbst klarkommen lassen.

Hedtmann:

Sie machen mit Ihrem Team Tauglichkeitsuntersuchungen für Astronautenbewerber und -bewerberinnen. Ich weiß, dass es da keine veröffentlichten Kriterien gibt, die will ich Ihnen auch gar nicht entlocken. Aber was muss man denn mitbringen, wenn man heute als Wissenschaftsastronaut oder -astronautin in den Weltraum fliegen möchte?

Stern:

Man muss einfach gesund sein. Das hört sich leichter an, als es in der Tat ist. Also keine Medikamente nehmen, die müsste man dort ja vorrätig halten. Man muss gut sehen können, gut hören können, alle Organe müssen gut funktionieren. Man sucht nicht nach Superman oder Superwoman, aber man muss in allen Bereichen und Funktionen gesund sein. Es darf auch keine Defizite bei der psychologischen Auswahl geben. Also, wie gesagt, nicht super, aber in allem gut. Bei der psychologischen Untersuchung wird auf logisches Denken, Konzentrationsfähigkeit, dreidimensionales Vorstellungsvermögen, aber auch auf manuelle Geschicklichkeit Wert gelegt. Wir haben ja schon über die hausmeisterlichen Aufgaben gesprochen. Leadership, aber auch Teamfähigkeit werden verlangt. Für die Entschärfung kritischer Situationen ist ein gewisser Sinn für Humor sehr hilfreich. Das merkt man den aktuellen Astronauten und Astronautinnen im Umgang auch häufig an.

Ewald:

Früher erwartete man eine angemessene Bereitschaft zum Sprachenlernen. Das ist heute nicht mehr ganz so gefragt, denn die aktuellen Besatzungen kommen ja kaum noch nach Russland und die Russen umgekehrt nicht in den Westen. Weil ich Russisch gelernt habe, bin ich über die Sprache schneller mit meinen Kollegen zusammengekommen, als das heute vielleicht noch der Fall sein kann. Die einen sprechen kaum Russisch und die anderen retten sich mit gebrochenem Englisch über die Runden. Insofern halte ich die Fähigkeit und den Willen zum Sprachenlernen nach wie vor für eine wichtige Voraussetzung.

Stern:

Im Rahmen der Ausbildung musste man ja auch zwingend nach Russland. Wenn man dort, eventuell noch mit Familie, im Rahmen einer langen Ausbildung leben will, muss man Russisch können. Wobei wir wieder bei der Bedeutung einer langen und guten Ausbildung sind.

Hedtmann:

Wenn man diesen Aspekt jetzt mal wieder auf die kommerzielle oder touristische Raumfahrt lenkt, wie ist das zu bewerten? Die astronautische Wissenschaftsraumfahrt, bei der die Besatzungen ein halbes Jahr im Erdorbit bleiben, verlangt ja möglicherweise eine andere, umfassendere Eignung, als wenn man für zwei, drei Wochen eine spezielle Mission zu erfüllen hat. Kann

man da die Kriterien missionsspezifisch anpassen? Bei welchen Erkrankungen würden Sie denn dringend davon abraten, solche Leute ins Weltall zu schicken?

Stern:

Bestimmte Tauglichkeitskriterien müssen immer erfüllt sein. Aber für Berufsastronautinnen und -astronauten gibt es schon Abweichungen zu den Voraussetzungen für den kommerziellen Bereich. Da sind die Anforderungen geringer. Dort steht im Vordergrund, abgesehen von der speziellen Aufgabe, dass sie in der kurzen Zeit des Mitflugs die Mission nicht gefährden dürfen. Man will halt niemanden notfallmäßig zurücktransportieren müssen. Aber auch hier bestehen hohe Anforderungen im psychologischen und psychiatrischen Bereich.

Hedtmann:

Es gibt ja jetzt erstmals einen Parastronauten, also einen körperlich behinderten Astronauten. Dem fehlt ein Unterschenkel. Ich habe ihn schon mal bei einem Vortrag erlebt und das ist sicher eine sehr beeindruckende Geschichte. Nun kann man zu Recht fragen, ob man im All beide Beine braucht. Aber ist das etwas, was man ausbauen kann? Ist das ein typischer Beruf für Inklusion?



Der unterschenkelamputierte Parastronaut John McFall beim Training.

Ewald:

Wir haben uns im Vorfeld viele Gedanken dazu gemacht. Man braucht eigentlich keine Beine. Außer vielleicht zum Festhalten. Auf der ISS fixiert man sich dadurch, dass man die Füße in Schlaufen steckt. Scherzhaft könnte man sagen, dass man die Hornhaut unter den Füßen verliert, weil man nicht mehr läuft, aber auf dem Spann neue dazukommt, weil man ständig in den Schlaufen scheuert. Wenn man also solche Schlaufen oder andere Möglichkeiten zur Fixierung mit der Prothese nutzen kann, sähe ich diesbezüglich keine großen Schwierigkeiten. Wenn ich mir allerdings die Enge in der Sojus ins Gedächtnis rufe und wie man sich in den verschiedenen Notfallszenarien daraus winden muss, da muss man natürlich erst mal einen Raumanzug und anderes Material konstruieren, das dieser Situation Rechnung trägt. Man darf sich nicht verhaken und man muss sich immer abstoßen können. Aber diese Leute, die man da in die Auswahl genommen hat, das sind ja schon Gewinner. Die sind ja mit ihrer Behinderung fertig geworden.

Der ausgewählte Parastronaut ist Athlet und Bronzemedallengewinner, also ist er vollkompensiert. Nicht nur das, der Unfall, der zum Verlust des Beines geführt hat, hat ihm eine ganz andere Karriere ermöglicht. Deshalb habe ich keine Bedenken, dass er die Kriterien für die Astronautik erfüllt. Aber jetzt kommt er in ein Projekt, in dem er noch keine Zusage für einen Orbitalflug hat. Ich kann mir daher vorstellen, dass es schwierig wird, wenn er jetzt in eine Gruppe von Höchstleistern gesteckt wird, aber eben eine Einschränkung hat, die vollständig kompensiert ist, er aber dennoch genau deswegen noch nicht für alle Einsätze vorgesehen wird. Obwohl er möglicherweise körperlich noch fitter ist als seine Kolleginnen und Kollegen. Er ist übrigens nicht mehr der Erste, denn in der privaten Inspiration-Mission, über die wir schon gesprochen haben, ist eine Beinamputierte geflogen. Ein anderer NASA-Astronaut ist, nachdem er eine Laser-Operation am Auge hatte, von der NASA gegroundet worden. Er hat sich dann einen privaten Flug gekauft und auf diese Weise der NASA eine lange Nase gedreht. Damit wollte er zum Ausdruck bringen, dass diese Laser-OP doch kein Hinderungsgrund sei, heil ins Weltall und wieder zurück zu kommen. Da entwickelt sich ein Wettlauf der Agenturen, wen sie so ins All bringen können.

Stern:

Das ist ein Politikum. Hier geht die Idee, worum es überhaupt geht, verloren. Zugunsten eines fragwürdigen Wettlaufs.

Ewald:

Deshalb wäre es konsequenter gewesen, den heutigen Parastronauten einfach regelhaft als Astronauten zu rekrutieren, wenn die Prothese für den Raumanzug und die beschriebenen Tätigkeiten kein Problem sein sollte.

Stern:

Für den Normalfall sollte das auch so sein, aber die Notfallprozeduren müssen genauso funktionieren. Und vielleicht kann man einigermaßen problemlos eine kommerzielle Mission über zehn bis vierzehn Tage überstehen. Aber ein halbes Jahr wird da schon kritischer. Der Umfang der Muskulatur in dem Bereich, in dem die angepasste Prothese ansitzt, wird sehr wahrscheinlich abnehmen. Das kann man kaum verhindern, weil das Gewicht nicht mehr darauf wirkt und es zu einer Flüssigkeitsverschiebung kommt. Wenn die Prothese dauerhaft abgenommen würde, ist zweifelhaft, ob sie am Ende der Mission bei einem Notfall noch angelegt werden kann. Das ist aber nicht das Einzige. Als Ergebnis der Entscheidung, ein Parastronaut-Projekt ins Leben zu rufen, entsteht eine Begeisterung um die Frage des Einsatzes, und die NASA schaut interessiert, was die ESA da so macht, und hätte diese Idee wohl gerne selber gehabt. Und die ESA ist wiederum zufrieden, mal etwas als Erste gemacht zu haben. Da wäre ein Erfolg sehr erfreulich, zumal der ausgewählte Parastronaut ein sehr sympathisches Role Model darstellt. Und in dieser Situation eine angemessene Gefährdungsbeurteilung hinzubekommen, ist eine große Herausforderung. Die ESA begegnet dieser Herausforderung mit einer umfassenden Machbarkeitsstudie, um die besonderen Risiken angemessen zu berücksichtigen.

Ewald:

Die beiden anderen Kriterien, die man zulassen wollte, waren Kleinwuchs – da sehe ich kein Problem, denn anders als im Flugzeug kann man überall hinschweben – und unterschiedliche Beinlänge. Das dürfte auch einfach auszugleichen sein. Alles andere, was zum Beispiel die Hände angeht oder kognitive Fähigkeiten, das geht einfach nicht. Wenn man sich ansieht, wer sich heute alles zum Mount Everest hochschleppen lässt, in diese Höhe, bei dieser Anstrengung, und oft genug dabei umkommt, das müssen wir nicht in der Raumfahrt erleben. Man kann sich im Raumfahrzeug einfach keine Notfallprozedur vorstellen, die schlechtes Hören, schlechtes Sehen oder eingeschränkte manuelle Fertigkeiten kompensiert.

Hedtmann:

Eine letzte Frage mit dem Blick in die Zukunft: Welche Veränderungen erwarten Sie persönlich in den nächsten zehn bis zwanzig Jahren in Bezug auf einerseits die Entwicklung der kommerziellen Raumfahrt und andererseits auf die großen Agenturprogramme mit der Rückkehr zum Mond und dem Aufbruch zum Mars?



Die Rückkehr zum Mond wird derzeit mit den Artemis-Missionen der NASA vorbereitet. Geplant ist der Aufbau einer Mondbasis, auf der dauerhaft Menschen arbeiten und forschen können.

Ewald:

Meine Befürchtung, wenn ich mal damit anfangе, ist, dass wir minder gut vorbereitete Missionen sehen werden. Das Paradebeispiel ist das Tauchboot, dessen kürzlicher Unfall die Passagiere und den Betreiber das Leben gekostet hat.

Und wenn ich das mal ins All extrapoliere: Bei einer Mission des Typs „Inspiration“, demnächst gibt es eine weitere dieser Art (Anm.: Die Polaris-Dawn-Mission hat mittlerweile stattgefunden.), hängt die Crew vollständig von der Steuerung und der Kommunikation durch die Bodenstation ab. Wenn es da mal zu Problemen oder gar zu Todesfällen kommt, das strahlt sofort auf die professionelle Raumfahrt aus, deren Weiterentwicklung ich gerne verfolge.

Tauchboot „Titan“

Am 18.06.2023 implodierte im Nordatlantik das Tauchboot „Titan“ der Firma OceanGate während einer touristischen Tauchfahrt zum Wrack der „Titanic“. Alle fünf Insassen einschließlich des Firmengründers und Betreibers des Tauchbootes kamen dabei ums Leben. Nicht erst im Rahmen der Unfalluntersuchungen wurde Kritik an der Konstruktion und der fehlenden Zertifizierung des Bootes laut, das auch von keiner Klassifikationsgesellschaft eingestuft worden war. Einem leitenden Mitarbeiter wurde nach öffentlicher Kritik an der Sicherheit des Bootes gekündigt.

Das Wissen hat sich sehr erweitert. Früher erhielten auch die sogenannten Nutzlast-Spezialisten nicht die gleiche Ausbildung wie Kommandanten oder Missionsspezialistinnen. Die wurden eben für eine bestimmte Aufgabe mitgenommen. Das sehen wir jetzt genauso bei touristischen Flügen. Da gibt es einerseits eine hochspezialisierte, hochsensible Umgebung einer Raumstation mit Kontakt zu mehreren Kontrollzentren, betrieben von vielen hochwertig ausgebildeten Menschen, und dann kommt da quasi so ein Sonntags-spaziergang des Weges. Da ist die Gefahr, dass das eines Tages auf das gesamte Raumfahrt-

programm zurückschlägt, sehr groß. Richtung Mond erwartet uns Spannendes, die Pläne halte ich für realistisch, wenn auch nicht die vorhergesagten Jahreszahlen. Der Zeitplan für Artemis II hat sich mal wieder verschoben. Ich kenne die Crew, die wissen, was sie da zu bewältigen haben und welche Zeit die Vorbereitung braucht. Gegen Artemis war Apollo ein Husarenstück. Und so würde ich schon gerne in meiner professionellen Interessenszeit noch eine Marsmission erleben. Aber dafür müssen erst die Probleme, über die wir hier gesprochen haben, gelöst werden. Eine solche Mission muss nicht nur überlebar sein, sondern muss auch mit einer gewissen Garantie der gesunden Rückkehr verbunden sein. Es wird auch ein mehrphasiger Aufbau sein. Es kann keine Mission werden, die alles mitnimmt zum Mars und am Ende alles wieder mit zurück. Der Film „Der Marsianer“ beschreibt diese Art der Herangehensweise ja ganz gut. Und dann würde ich mir wünschen, dass die ganze Menschheit auf dem Mars ankommt und nicht eine Person, deren biografische oder ethnische Identität im Vordergrund steht. So etwas sollte hier keine Rolle spielen, denn hier steht die Neugier und das Interesse der ganzen Menschheit dahinter. Egal wer das sein wird, diese Person sollte sich nicht allein auf die Schulter klopfen. Am besten wird das erste Kamerabild erst angefertigt, wenn

alle auf der Marsoberfläche angekommen sind. Dann kann niemand für sich als Person beanspruchen, der oder die Erste gewesen zu sein. Das verhindert auch das Übergehen sicherheitsrelevanter Prozeduren im Bemühen, möglichst schnell als Erstes eine Flagge aufzustellen.



Der Film „Der Marsianer“ von Regisseur Ridley Scott aus dem Jahr 2015 handelt von einem Astronauten, der nach dem Alarmstart seiner Crew auf dem Mars zurückbleibt und dort um sein Überleben kämpft. Interessant ist, dass in diesem Szenario davon ausgegangen wird, dass ein Transportraumschiff zwischen Erde und Mars pendelt und jeweils neue Crews zum roten Planeten bringt. Das Basislager und das Rückkehrmodul befinden sich bereits an der jeweiligen Landestelle.

Hedtmann:

Spannende Frage, wie verhindert man einen Wettkampf, der zu mangelhafter Beachtung sicherheitsrelevanter Dinge führt? Unsere Forderung im Rahmen unserer „Vision Zero“ lautet ja, es ist entscheidend wichtig, dass am Ende des Tages alle gesund nach Hause zurückkehren. Das ist auch Ihre Aufgabe, Frau Stern. Wie sehen Sie die Zukunft unter diesem Aspekt?

VISION ZERO

Safety. Health.
Wellbeing.

Die Unfallversicherungsträger in Deutschland haben sich zur international aufgestellten „Vision Zero“ bekannt. Die Vision Zero ist die Vision einer Welt ohne tödliche und schwere Arbeitsunfälle und Berufskrankheiten. Die BG Verkehr hat ihre Vision-Zero-Themen naturgemäß im Fahrzeugbereich, z.B. zur Verhütung von Absturzunfällen und Unfällen beim Rückwärtsfahren oder Kuppeln von Fahrzeugen.

Stern:

In der kommerziellen Raumfahrt spielen Zeit, Geld und Ressourcen eine besondere Rolle. Das Überschreiten roter Linien im Hinblick auf den Erhalt von Sicherheit und Gesundheit ist bei konkurrierenden Interessen besonders schwierig zu vermeiden. Wenn es um den Erfolg und um Termine geht, werden Sicherheitsinteressen möglicherweise im Einzelfall anders beurteilt als bei den Raumfahrtagenturen. Ein entscheidender Unterschied ist, dass die Astronauten und Astronautinnen bei den Raumfahrtagenturen angestellt sind. Das sind Mitarbeitende, für die das Unternehmen Verantwortung trägt. Für die kommerziellen

Raumfahrtunternehmen sind das häufig Passagiere. Ein Problem ist das reduzierte Training. Die Leute werden zwar trainiert, es gibt aber keinen Proficiency Check, keine Prüfung, bei der wir sehen können, ob die Betroffenen alle Handgriffe beherrschen und unter anderem auch die Toilette benutzen können. Zusätzliche Parabelflüge sind teuer und in 23 Sekunden kann man ohnehin nicht beweisen, ob das mit der Bedienung der Toilette so funktioniert, dass sie danach noch irgendjemand benutzen kann. Aber intensives Training und die Kontrolle des Trainingserfolgs, mag das auch lang dauern und teuer sein, sind für alle auf einer Raumstation lebenswichtig. Bei Mond und Mars fällt mir als wichtiger Punkt noch die Staubbelastung ein. Die Apollobesatzungen haben da besondere Erfahrungen gesammelt. Wir versuchen das jetzt in unserem Trainingscenter LUNA Habitat mit gemahlenem Vulkangestein aus der Eifel zu simulieren. Der Staub führte bei den Apollomissionen zu massiven Hautabschürfungen, wurde eingeatmet und war einfach überall. Das, finde ich, wird auch noch eine spannende Herausforderung.

Simulation: Arbeiten auf dem Mond



Am Europäischen Astronautenzentrum der ESA in Köln gibt es seit Kurzem eine Simulationsanlage („LUNA Habitat“) zur Nachbildung der Mondoberfläche und der Bedingungen für Arbeiten auf dem Mond. Die Anlage soll für das Training von Astronauten und Astronautinnen dienen, die zum Mond fliegen sollen.

Ewald:

Viel zu lernen gibt es immer aus den Berichten über Unfälle und Zwischenfälle. Da liegen mir Apollo 13 und die beiden Shuttle-Unfälle sehr am Herzen. Mangelnde Absprache, gut gemeinte Änderungen und das gewohnheitsmäßige Umgehen von als sicherheitsrelevant identifizierten Normen sind häufige Ursachen dafür.

Rückkehr der Apollo 13

Am 13.04.1970 kam es während eines vergleichsweise unkritischen Flugabschnitts der Apollo-13-Mission zwischen Erde und Mond zu einer Havarie. Dabei spielten ein beschädigter und reparierter Sauerstofftank und ein Kommunikationsproblem bei einer Umstellung der Stromversorgung noch in der Planungsphase eine wesentliche Rolle. Der Fehler in der Stromversorgung führte zu einer Überhitzung, der Sauerstofftank platzte und beschädigte dabei einen weiteren Sauerstofftank und zwei Brennstoffzellen. Dass die Besatzung (von links: Fred Haise, Jim Lovell und Jack Swigert) lebend zur Erde zurückkehren konnte, verdankte sie einem Zusammenspiel von professionellem Krisenmanagement, hoher Improvisationskunst und solider Ausbildung. Der Flug von Apollo 13 gilt daher zwar als gescheiterte Mission, aber dennoch als einer der größten Erfolge der NASA. Er wurde 1995 mit Tom Hanks in der Rolle von Jim Lovell verfilmt.



Hedtmann:

Ein schmerzhaftes Aha-Erlebnis, das wir leider auch auf der Erde häufig beobachten. Und auch ein gutes Schlusswort. Vielen Dank an Sie beide für das spannende Gespräch. Ich denke, dass vieles von dem, was wir hier gehört haben, für die Präventionsarbeit auch in anderen Bereichen der Arbeitswelt große Bedeutung hat.

Fazit Dr. Jörg Hedtmann

Unseren beiden Gesprächspartnern, Herrn Professor Dr. Ewald und Frau Professor Dr. Stern, gebührt großer Dank für ihre offenen Worte und das Teilen ihrer besonderen Erfahrungen. Solche Gespräche helfen uns, weiter über den Teller- rand hinauszublicken und immer wieder unsere Perspektive auf die Themen, die uns bewegen, zu verändern. Diesmal durften wir aus großer Höhe auf die Fragen von Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit blicken.

Zwei wesentliche Erkenntnisse nehme ich mit:

Zum einen ist man offenbar selbst in einem so sicherheitsaffinen Gewerbe wie der Raumfahrt, nicht davor gefeit, sehr irdische Fehlentscheidungen zu treffen, offenkundige Gefahren zu übersehen oder Risiken falsch einzuschätzen. Unsere Grundsätze für Sicherheit und Gesundheit können wir auch in der Raumfahrt anwenden und an ihre Einhaltung erinnern. Eine Unfallverhütungsvorschrift „Raumfahrt“ ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt natürlich keine Option, und vieles, was diese enthalten müsste, ist längst geregelt. Viel entscheidender ist die Erkenntnis, dass auch die Verantwortlichen in den Raumfahrtagenturen und privaten Raumfahrtunternehmen die bewährten erdgebundenen Prinzipien nicht aus dem himmelwärts gerichteten Auge verlieren dürfen. Die internationale „Vision Zero“ mit ihrem Engagement für eine Welt ohne Arbeitsunfälle und Berufskrankheiten passt sehr gut auch für die Raumfahrt. Reisen ins Weltall, ob wissenschaftlich, kommerziell oder touristisch, sind immer noch risikobehaftete Unternehmungen und sollten deshalb kein Anlass für fragwürdige Rekordversuche oder persönliche Profilierung sein.

Zum anderen ist es spannend zu beobachten, wie ein Gewerbe, das den Begriff Gefährdungsbeurteilung eigentlich erfunden haben müsste, gelernt hat, mit Risiken umzugehen. Getrieben von technischer und wissenschaftlicher Neugier wurden und werden Risiken kalkuliert und in Kauf genommen. Leider hat sich in der Geschichte der Raumfahrt dieses Risiko auch immer wieder manifestiert und Menschenleben gekostet. Wenn ein privates Raumfahrtunternehmen seine Raketen explodieren lässt, um daraus zu lernen und später die mit dem Betrieb der Raumfahrzeuge einhergehenden Risiken zu minimieren, ist das zwar durchaus eine zulässige Alternative zu vorsichtigen, kleinen Schritten und theoriebasierter Risikobeurteilung. Wichtig ist aber, dass dabei niemand zu Schaden kommt. Ein wenig mehr Mut zum Erreichen

großer Ziele darf man sich gelegentlich auch auf der Erde wünschen. Das Ziel, Sicherheit und Gesundheit für alle zu erhalten, ist für beide Methoden die Voraussetzung. Insofern bedarf es einer vernünftigen Abwägung zwischen tradierten Sicherheitsphilosophien – die oft genug aus leidvollen Erfahrungen resultieren und daher auch in einer Zeit des Aufbruchs ihre Berechtigung behalten – und dem Mut zum Erkenntnisgewinn aus neuen Technologien. Auch wer den Weg in neue Zeiten vorausgeht, hat das gleiche Recht auf den bestmöglichen Schutz von Leben und Gesundheit wie alle anderen Menschen. Irgendjemand wird diesen Weg gehen und wir müssen ihn gut vorbereiten, aber nicht verhindern.



Die Interviewpartner vor der Sojus-Kapsel, mit der Alexander Gerst, Maxim Surajew und Reid Wiseman am 10. November 2014 von der ISS zurückgekehrt sind.

Abkürzungsverzeichnis

DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
ESA	European Space Agency
FAI	Fédération Aéronautique Internationale
NASA	National Aeronautics and Space Administration

Literatur

Reinhold Ewald; The Right Stuff – The Team Component of Space Travel, in: Rainer Dietrich, Kateri Jochum (Hrsg.); Teaming Up – Components of Safety under High Risk; Gottlieb Daimler und Carl Benz Stiftung, ePUB, Routledge, London, 2017

Scott Kelly; Endurance – Mein Jahr im Weltall; C. Bertelsmann Verlag, München, 2018

Alexander Gerst, Lars Abromeit; Horizonte – Warum wir entdecken; Geo, Gruner + Jahr, Hamburg, 2021

Eugen Reichl; Die Zukunft der Raumfahrt – private Projekte; Motorbuch Verlag, Stuttgart, 2022

Matthias Maurer, Sarah Konrad; Cosmic Kiss – Sechs Monate auf der ISS; Droemer Verlag, München, 2023

Claudia Stern et al.; Eye-brain axis in microgravity and its implications for Spaceflight Associated Neuro-ocular Syndrome; npj Microgravity, 56, 2023

Abbildungsverzeichnis

- S. 1: © Dr. Jörg Hedtmann / mit Midjourney erstellt
- S. 5: © DLR
- S. 6: © ESA – Prof. Dr. Reinhold Ewald
- S. 6: © Prof. Dr. Claudia Stern
- S. 7: © BG Verkehr / Marco Grundt
- S. 8: © Herbert Ponting via Wikimedia, gemeinfrei
- S. 9: © NASA, Bill Ingalls
- S. 10: © US Air Force, public domain, via Flickr
- S. 12: © ESA via flickr (CC BY-NC-ND 2.0)
- S. 13 – 16: © DLR
- S. 17 – 23: © NASA
- S. 24: © NG Images / Alamy Stock Photo
- S. 27: © Geopix / Alamy Stock Photo
- S. 27: © picture alliance / ZUMAPRESS.com
- S. 29: © photo-fox / Alamy Stock Photo
- S. 31: © Nicolas Courtioux / Novespace
- S. 33: © ESA / NASA
- S. 38: © NASA Photo / Alamy Stock Photo (Foto rechts)
- S. 38: © NASA
- S. 39: © DLR
- S. 41: © NASA/Canadian Space Agency (CSA)/Chris Hadfield
- S. 43: © NASA Image Collection / Alamy Stock Photo
- S. 45: © NASA / SpaceX
- S. 45: © NASA / Aubrey Gemignani
- S. 47: © DLR (Foto links)
- S. 47: © DLR / NASA
- S. 49: © NASA / ESA – M. Maurer
- S. 51: © Dr. Jörg Hedtmann / mit Midjourney erstellt
- S. 54: © ESA / Novespace
- S. 57: © NASA
- S. 59: © Pictorial Press Ltd / Alamy Stock Photo
- S. 61: © ESA / DLR
- S. 62: © NASA Image Collection / Alamy Stock Photo
- S. 64: © DLR

BG Verkehr

Geschäftsbereich Prävention
Ottenser Hauptstraße 54
22765 Hamburg
Tel.: +49 40 3980-0
E-Mail: praevention@bg-verkehr.de
Internet: www.bg-verkehr.de