

Bergita Ganse
Urs Ganse

Das kleine Handbuch für angehende Raumfahrer.

Raketen, Hyper-G
und Shrimpscocktail



 Springer

Das kleine Handbuch für angehende Raumfahrer



Dr. Bergita Ganse:

Weltraummedizinerin, Fachärztin für Physiologie, Sportmedizinerin und Notfallmedizinerin. Sie erforscht das muskuloskeletale System in Schwerelosigkeit und hat ihre Raumfahrterfahrung beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Köln gesammelt. An der RWTH Aachen hält sie die Weltraummedizinvorlesung. Sie reist viel, fotografiert gerne, wirft Speer und liebt Outdooraktivitäten aller Art.

Dr. Urs Ganse:

Theoretischer Astrophysiker. Seit dem Studium und der Promotion in Würzburg arbeitete er in Finnland und Südafrika. Aktuell ist er als Weltraumphysiker an der Universität in Helsinki (Finnland) beschäftigt. Dort simuliert er mit Supercomputern das Plasma im erdnahen Weltraum. In seiner Freizeit klettert er und baut Welten in 64 Kilobyte.

Der Parabelbär:

Hat Parabelflugerfahrung!

Website des Buches: www.raumfahrerhandbuch.de

Bergita Ganse . Urs Ganse

Das kleine Handbuch für angehende Raumfahrer

Raketen, Hyper-G und Shrimpscocktail



Bergita Ganse
Aachen
Deutschland

Urs Ganse
Helsinki
Finland

Die Darstellung von manchen Formeln und Strukturelementen war in einigen elektronischen Ausgaben nicht korrekt, dies ist nun korrigiert. Wir bitten damit verbundene Unannehmlichkeiten zu entschuldigen und danken den Lesern für Hinweise.

ISBN 978-3-662-54410-5 ISBN 978-3-662-54411-2 (ebook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-54411-2>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung: Dr. Lisa Edelhäuser
Einbandabbildung: Bergita Ganse
Einbandentwurf: deblik Berlin

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer ist Teil von Springer Nature
Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Deutschland
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort

Als Raumfahrer geboren und nur noch nicht im All gewesen? Gerade im Orbit und 'ne Frage? Dieses Buch beleuchtet alle wichtigen Details der Raumfahrt – von der Raumschiffkonstruktion, Planung und Navigation über das Leben im Weltall und die Medizin in Schwerelosigkeit bis hin zur Exploration und Suche nach Leben.

Wir, die Autoren, sind Geschwister und haben schon als Kinder gemeinsam sehr viel Zeit mit Science-Fiction-Filmen und -Serien (allen voran „Raumschiff Enterprise“), Sternegucken, Raumschifffliegen und der Kolonisation fremder Planeten am Computer verbracht (Abb. 1). Unsere Generation kannte sich bereits in der Schule bestens mit Raumfahrt aus und brennt darauf, bei der weiteren Entdeckung des Weltraums dabei zu sein. Die Aufbruchstimmung und Faszination, von der wir geprägt wurden, möchten wir in diesem Buch bestärken und weitergeben.

Auch wenn die bemannte Raumfahrt eine gigantische Meisterleistung ist, sind die Ingenieure und Raumfahrer keine Übermenschen. Es wird auch hier nur mit Wasser gekocht! Wir wollen in diesem Buch den Irrglauben korrigieren, dass nur Superhelden ins All fliegen können und dass ein Raumschiff nur funktioniert, wenn das geheime Werkzeug aus der Zukunft zur Hand war. Am besten kann man das als Leser beurteilen, wenn man Bescheid weiß – deshalb ist unser Buch eine riesige Sammlung interessanter Tatsachen, Phänomene, Anekdoten und Tipps. Oft haben wir uns beim Recherchieren und Schreiben selbst über Fakten amüsiert und über Anekdoten schlappgelacht! Auch haben wir uns mit echten Raumfahrern unterhalten und sie gelöchert.

Besonders dankbar sind wir dem US-Astronauten Story Musgrave dafür, dass wir sein Interview abdrucken dürfen (Zitat: „I don't collect the data, I am the data!“).

Warum müssen Raumfahrer aus Tausenden von Bewerbern ausgewählt werden? Eine Astronautenauswahl gibt es nur, weil die Plätze so knapp und gleichzeitig umkämpft sind, nicht aber weil es ein kompliziertes Problem gibt, das die meisten Kandidaten untauglich macht. Eigentlich wären fast alle Menschen auf der Erde körperlich in der Lage, einen Raumflug wohlbehalten zu überstehen. All diesen Menschen geben wir mit unserem Buch hoffentlich die Möglichkeit, ihren Raumflug zu planen und erfolgreich durchzuführen.

Als Astrophysiker und Weltraummedizinerin sind wir beruflich in verschiedenen Gebieten der Raumfahrt unterwegs. Bei vielen Anlässen wie Vorträgen, Diskussionsrunden und der Weltraummedizinvorlesung an der RWTH Aachen erklären wir der Öffentlichkeit, wie bemannte Raumfahrt funktioniert, was genau mit dem menschlichen Körper im Weltraum passiert und wie man ein Raumschiff fliegt. Als Lisa Edelhäuser vom Springer-Verlag die Vorlesungsvideos online entdeckte, fragte sie uns, ob wir nicht Lust hätten, mit deren Inhalt und noch viel mehr ein Buch zu schreiben. Und hier ist es! Eine Anleitung und ebenso lustige wie informative Einführung für angehende Raumfahrer.

Wir danken Toni Möller und Johann Korndörfer (Cupe) für ihre hilfreichen Korrekturen, Ideen und Verbesserungsvorschläge!

Viel Spaß beim Lesen!

Bergita und Urs Ganse



Abb. 1 Die Autoren ca. 1985

Der in diesem Buch verwendete Begriff *Raumfahrer* ist geschlechtsunabhängig. Alle Abbildungen ohne Quellenangabe wurden von den Autoren selbst angefertigt. QR-Codes liefern direkte Internet-Links ([Abb. 2](#)).



Abb. 2 Es kommen mehrfach Zusatzinformationen, Videos, Downloads und andere Links vor, die als QR-Code mit einer QR-Code-App auf einem Smartphone ausgelesen werden können. Dieser QR-Code enthält die URL zur Website unseres Buchs: <http://www.raumfahrerhandbuch.de/>

Inhaltsverzeichnis

1	Wie man ein Raumfahrer wird.....	1
1.1	Den Flug klarmachen	1
1.2	Weltraumtourismus	4
1.3	Astronautenauswahl.....	5
1.4	Frauen in der Raumfahrt.....	9
1.5	Checkliste vor dem Flug.....	10
	Literatur	12
2	Raumschiffkonstruktion.....	13
2.1	Raumschiffotypen	13
2.2	Die Hülle	16
2.3	Triebwerke, Düsen und Raketen.....	33
2.4	Stromversorgung und Temperaturregelung	56
2.5	Lebenserhaltungssysteme	62
2.6	Bordcomputer und Datenmanagement	69
2.7	Sonstige Ausstattung.....	74
	Literatur	78
3	Ein Raumschiff fliegen.....	79
3.1	Startvorbereitungen, Countdown und Start	79
3.2	Lenkung und Steuerung	88
3.3	Navigation im Weltraum	94
3.4	Flug zum Mond	106

3.5	Reisen zu anderen Planeten	108
	Literatur	118
4	Alltag im Weltall	119
4.1	Orientierung ohne oben und unten	119
4.2	Tageszeiten und Schlaf	124
4.3	Essen und Trinken.....	127
4.4	Kleidung.....	132
4.5	Weltraumspaziergänge.....	133
4.6	Forschung.....	140
4.7	Der Notfall an Bord	143
4.8	Sozialleben in Isolation.....	144
4.9	Roboter	150
	Literatur	154
5	Weltraummedizin	155
5.1	Geschichte der Weltraummedizin	156
5.2	Herz und Kreislauf	166
5.3	Der Bewegungsapparat.....	179
5.4	Training in Schwerelosigkeit.....	192
5.5	Luft und Druck	197
5.6	Weitere medizinische Phänomene	201
5.7	Strahlung	208
5.8	Medizinische Versorgung an Bord.....	215
5.9	Medizinische Forschung.....	224
	Literatur	239
6	Mögliche Ziele, Entdeckung und Kolonisation	241
6.1	Ein kurzgefasster Reiseführer.....	241
6.2	Erkundung	252
6.3	Vulkanismus, Gletscher und Permafrostböden.....	256
6.4	Bedingungen für menschliche Kolonien.....	258
6.5	Pflanzen und Terraforming	262
6.6	Ressourcen und Bergbau	266
6.7	Weltraumrecht	267
6.8	Astrobiologie und außerirdisches Leben.....	268
	Literatur	279

Nachwort 281

Stichwortverzeichnis 283

1

Wie man ein Raumfahrer wird

1.1 Den Flug klarmachen

Den meisten Lesern wird die Frage unter den Nägeln brennen, wie man eigentlich ein Raumfahrer wird und welche Wege es gibt, um einen Flug ins All zu ergattern. Für andere ist dieses Thema vielleicht schon erledigt, und der Flug steht konkret an oder findet gerade statt. Andere mögen es völlig unattraktiv finden, selbst in ein Raumschiff zu steigen, und fühlen sich auf der Erde am wohlsten. Dieses Buch richtet sich an alle diese Lesergruppen. Da bisher die meisten der Menschen, die gerne ins All geflogen wären, doch nicht im All waren und da Stellenausschreibungen für Raumfahrer rar sind, sollen hier zunächst einmal mögliche Optionen aufgezeigt werden, um einen Raumflug klarzumachen. Es gibt konkret folgende drei Möglichkeiten:

1. Man bewirbt sich auf eine ausgeschriebene Stelle, z. B. bei einer der großen Raumfahrtagenturen. Für Menschen mit der deutschen Staatsbürgerschaft gab es die letzte Ausschreibung der Europäischen Raumfahrtbehörde (ESA) im Jahr 2008 (Stand 2017). Damals wurden 6 Kandidaten eingestellt. Im Jahr 2016 konnten sich Frauen aus Deutschland bei <http://www.dieastronautin.de> auf zwei Astronautinnen-Stellen bewerben. Mit einer US-amerikanischen Staatsbürgerschaft eröffnen sich deutlich bessere Chancen auf einen Platz, und es gab in der Vergangenheit häufiger die

Gelegenheit, sich zu bewerben. Weitere Raumfahrtnationen sind derzeit Russland, China, Kanada und Japan.

2. Man kauft ein Ticket bei einem kommerziellen Anbieter. Alle bisherigen Weltraumtouristen sind gleich für ein paar Tage ins All geflogen. Es müssten, wenn alles klappt, aber demnächst auch kürzere Flüge angeboten werden. Verschiedene Anbieter verkaufen bereits Tickets.
3. Man nimmt sehr viel Geld in die Hand und kümmert sich entweder selbst um den Bau eines brauchbaren Raumfahrzeugs oder kauft eine Rakete und ein Raumschiff bei einem kommerziellen Anbieter. Damit versucht man dann, seine Pläne zu verwirklichen. Dieser Weg hat bisher nur die Firma Scaled Composites - mit Geld des Microsoft-Gründers Paul Allen - erfolgreich ins All gebracht, wobei jeder selbst entscheiden kann, ob eine etablierte Flugzeugbaufirma mit Geld eines IT-Milliardärs als „Selbstbau“ gilt.
4. (Die Taktik, darauf zu warten, dass man von Aliens entführt wird, ist vermutlich nicht zielführend.)

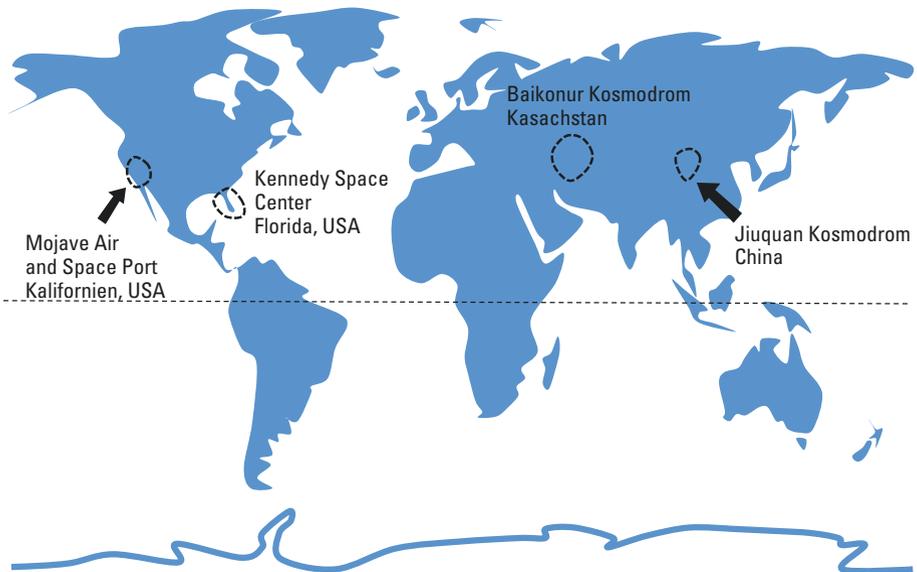


Abb. 1.1 Karte der Erde mit eingezeichneten Weltraumbahnhöfen, von denen bereits Menschen in den Weltraum geflogen sind. Der weltweit größte Space Port ist das Kosmodrom Baikonur in Kasachstan (gepachtet durch Russland). Alle NASA-Missionen inklusive der Spaceshuttles sind bisher vom Kennedy Space Center in Florida aus gestartet. Lediglich das SpaceShipOne startete in Kalifornien. Die bemannte Raumfahrt in China findet vom Weltraumbahnhof Jiuquan aus statt

Inzwischen waren Menschen der verschiedensten Nationalitäten im All. Eigene bemannte Raumfahrzeuge haben die UdSSR/Russland, die USA und China entwickelt. Viele Nationen haben diese Kapazitäten genutzt und eigene Raumfahrer ins All geschickt, und je nach Land, das die Raumfahrzeuge gebaut hat, werden diese entweder als *Astronauten*, *Kosmonauten* oder *Taikonauten* bezeichnet. Als Raumfahrer ist man ein Astronaut, wenn man mit den US-Amerikanern ins All geflogen ist, ein Kosmonaut, wenn man von der UdSSR oder den Russen transportiert wurde und ein Taikonaut, wenn man mit den Chinesen unterwegs war. Die Inder nennen ihre Raumfahrer *Vyomanauten* und die Malaysier ihre *Angkasawan*. **Abb. 1.1** zeigt eine Weltkarte mit den Weltraumbahnhöfen, von denen aus bisher Menschen ins All geflogen sind.

Abb. 1.2 ist eine Übersichtsgrafik mit den wichtigsten Erstereignissen in der Pionierzeit der bemannten Raumfahrt – als Auffrischung und damit man direkt inspiriert wird, diese Auflistung z. B. um eine

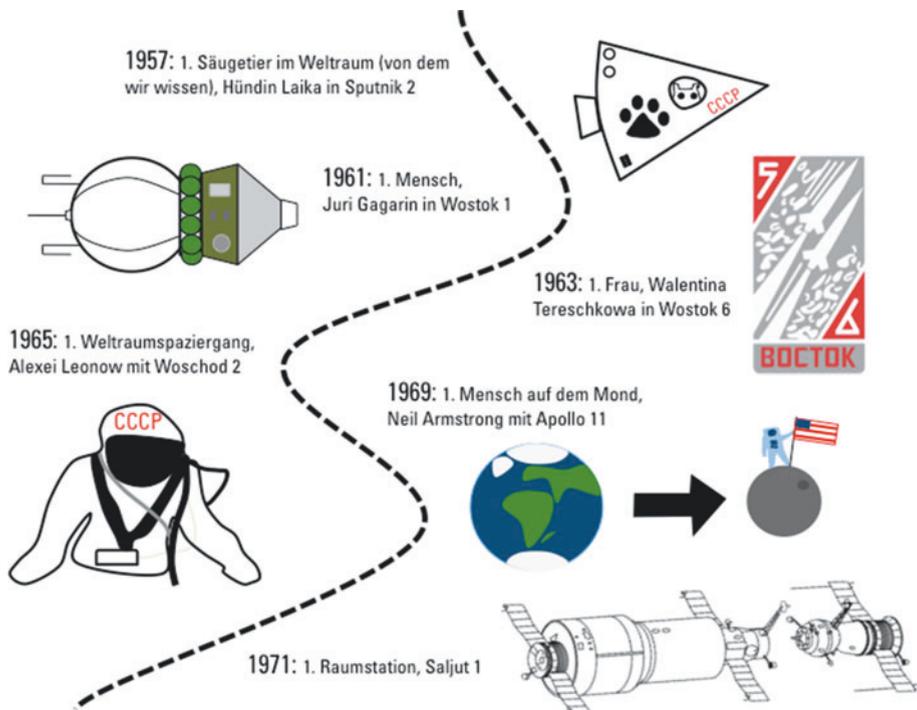


Abb. 1.2 Erstereignisse in der Pionierzeit der bemannten Raumfahrt

selbst durchgeführte Erstlandung auf einem Asteroiden oder Planeten zu ergänzen.

Später im Buch wird auf die Geschichte des Weltraumtourismus ([Abschn. 1.2](#)) sowie der Weltraummedizin (s. [Abschn. 5.1](#)) im Detail eingegangen.

1.2 Weltraumtourismus

Die Idee des Weltraumtourismus existiert schon seit Langem und der Wunsch, als Tourist in den Weltraum zu fliegen, wird schon seit mehreren Generationen geäußert. Die amerikanische Fluggesellschaft Pan Am hatte bereits in den 1960er-Jahren eine Interessentenliste für touristische Raumflüge begonnen, auf der im Jahr 1989 fast 100.000 Namen verzeichnet waren. Pan Am wurde jedoch 1991 nach ihrem finanziellen Kollaps von Delta Airlines aufgekauft und brachte letztendlich nie jemanden ins All. Aber wer war denn bisher als Weltraumtourist im Weltraum, also in einer Höhe von mindestens 100 Kilometern (Stand 2017)? Der Erste war im Jahr 2001 der 60-jährige US-Amerikaner Dennis Tito, der angeblich 20 Millionen US-Dollar für seinen Flug zur ISS zahlte. Er hielt sich hauptsächlich im Swesda-Modul der Raumstation auf und durfte die anderen Module offiziell nur eskortiert betreten. Der Südafrikaner Mark Suttleworth zahlte 2002 angeblich dasselbe, um der zweite Weltraumtourist zu werden. Die erste Frau war im Jahr 2006 Anousheh Ansari, eine in den USA lebende Multimillionärin mit iranischen Wurzeln. Allen bisherigen Weltraumtouristen wurde ihr Flug durch das Unternehmen Space Adventures mit Sitz in Virginia in den USA ermöglicht. Es ist das einzige Unternehmen, das bisher tatsächlich Weltraumtouristen ins All gebracht hat. Die Flüge erfolgten an Bord von Sojus-Raumschiffen der russischen Raumfahrtorganisation und nicht in eigenen Raumfahrzeugen. Gleich zweimal flog der Microsoft-Mitbegründer Charles Simonyi zur ISS, und zwar 2007 und 2009. Die weiteren bisherigen Touristen waren Gregory Olsen, Richard Garriott und Guy Laliberté. Der Letzte von ihnen war 2009 im All – danach war die Mitnahme zahlender Kundenschaft zur ISS zunächst nicht mehr möglich, weil alle Plätze in den Sojus-Raumschiffen als einzigem verbliebenen Transportmittel zur ISS benötigt wurden.

In den letzten Jahren haben eine ganze Reihe von Firmen eigene Raumfahrzeuge entwickelt, mit denen sie Touristen ins All bringen wollen. Den im Jahr 1996 von der X-Prize-Foundation

ausgeschriebenen X-Prize (später Ansari X-Prize) von 10 Millionen US-Dollar für den ersten erfolgreichen bemannten privaten Raumflug gewann das Team Scaled Composites mit dem „SpaceShipOne“ und dem Trägerflugzeug „White Knight“ am 4. Oktober 2004 für sich. Um den Preis zu gewinnen, musste das wiederverwendbare Raumschiff bemannt zweimal innerhalb von zwei Wochen in eine Höhe über 100 km fliegen. Für einen Moment ließ der Erfolg des SpaceShipOne hoffen, dass es mit dem Weltraumtourismus nun zügig vorangehen würde; dies war aber nicht der Fall. Der Prototyp des Nachfolgemodells, das SpaceShipTwo mit Namen „VSS Enterprise“, stürzte am 31. Oktober 2014 ab, wurde zerstört, und einer der beiden Piloten starb. Im Februar 2016 wurde der Nachfolger, die „VSS Unity“, vorgestellt. Parallel entwickelten eine ganze Reihe von Firmen eigene Raumfahrzeuge; bis heute haben aber außer den zuvor genannten Weltraumtouristen noch keine weiteren mit einem privaten System einen bemannten Weltraumflug durchgeführt. Dennoch gibt es diverse Entwicklungen, und zum Veröffentlichungszeitpunkt dieses Buches sind viele interessante Projekte auf dem Weg. Das Dragon-Raumschiff der Firma SpaceX soll Anfang 2018 erstmals bemannt für die NASA fliegen. Weit in der Entwicklung fortgeschritten ist ebenfalls der „Starliner“ (alter Name: CST-100) der Firma Boeing, mit dem erste bemannte Flüge Anfang 2018 erfolgen sollen. Es ist also nur eine Frage der Zeit wann die nächsten Touristen auf ihre Mission ins All starten werden. Wer aktuell im All ist und welche Raumfahrer für welche Flüge vorgesehen sind, kann man z. B. bei Spacefacts herausfinden (Abb. 1.3).

1.3 Astronautenauswahl

Welche Kriterien muss man erfüllen, um als Raumfahrer ausgewählt zu werden? Meistens betreffen die Kriterien z. B. den Beruf, die



Abb. 1.3 Auf der Website von *Spacefacts* kann man sehen, welche bemannten Raumfahrtmissionen derzeit unterwegs sind und welche Raumfahrer sich aktuell im All befinden. Außerdem sind geplante Missionen aller Nationen mit der zugeordneten Besatzung aufgelistet. http://spacefacts.de/schedule/e_schedule.htm

Gesundheit, die Erfahrung und die Persönlichkeit der Bewerberin oder des Bewerbers. Was den Beruf angeht, sind Menschen mit den unterschiedlichsten Ausbildungen prima Raumfahrerandidaten. Jedoch waren von den elf bisherigen Raumfahrern aus Deutschland acht Physiker und drei Militärpiloten. International sieht das anders aus, und gerade für die NASA waren schon Menschen mit den verschiedensten Hintergründen im All.

Viele fragen sich, ob ihre gesundheitlichen Voraussetzungen für einen Raumflug ausreichen. Diese Frage lässt sich nicht einfach und pauschal beantworten, denn es gibt keine klar definierten Regeln. Bisher sind stets äußerst gesunde Menschen ins All geflogen, weshalb kaum Erfahrungen mit Krankheiten in der Raumfahrt vorliegen. In der Luftfahrt hat man jedoch sehr umfangreiche Kenntnisse darüber gesammelt, was Probleme bereitet und was nicht, und hier gibt es dafür klare Richtlinien. Da die Bedingungen im Weltraum aber völlig anders sind (Schwereelosigkeit, Strahlung usw.), kann man diese Richtlinien nicht einfach übertragen. Fakt ist: Bei der Auswahl von Kandidaten wurden von allen Nationen die allen angesetzten Kriterien entsprechenden Kandidaten ausgewählt, und Bewerber mit Krankheiten oder Auffälligkeiten meistens aussortiert. Man weiß jedoch auch von Astronauten, die trotz geringerer gesundheitlicher Abweichungen angenommen wurden und mehrfach geflogen sind, z. B. trotz *Morbus Meulengracht*, einer meistens symptomlosen Stoffwechselstörung. Bei den Weltraumtouristen muss dies wohl anders gehandhabt worden sein, über Erkrankungen ist aber nichts bekannt. Nur die Besten auszuwählen heißt in der Raumfahrt, dass man ein *Select-Out* macht, also alle Kandidaten gnadenlos aussortiert, bei denen etwas möglicherweise Störendes gefunden wurde, unabhängig davon, wie überragend der Kandidat in anderen Bereichen ist. Ist jemand jedoch bereits ein erfahrener, ausgebildeter Raumfahrer, so versuchen die Raumfahrtagenturen häufig, einen Flug erneut möglich zu machen, um von der Erfahrung zu profitieren, und in der Zwischenzeit entstandene Probleme auszuräumen. Dieses Verfahren nennt man *Select-In*. Aus Sicht der Autoren wären viele medizinische Einschränkungen voraussichtlich kein Problem. Man muss aber bedenken, dass hier nicht nur die Schwerelosigkeit an sich, sondern auch die Hyper-Gravitation bei Start und Landung sowie der Stress des gesamten Unterfangens zu berücksichtigen sind. Bei psychischen Erkrankungen und Persönlichkeitsstörungen sollte man besonders aufpassen und streng auswählen. Ebenso bei schweren Herzkrankheiten

und kurz nach großen Operationen. Dass die Raumfahrtagenturen zur sicheren Durchführung ihrer teuren Missionen nur die gesündesten und belastbarsten Kandidaten ausgewählt haben, ist verständlich. Häufig spielen bei der Auswahl zudem Image-Kriterien eine Rolle. So war die erste Frau im All im Arbeiter- und Bauernstaat der Sowjetunion eine Fabrikarbeiterin.

Welche Kriterien haben denn bei der Astronautenauswahl in der Vergangenheit eine Rolle gespielt? Hier gibt es keinen festen Standard, sondern es wurde von den Raumfahrtagenturen unterschiedlich gehandhabt. Die Astronautenauswahl der ESA 2008 lief folgendermaßen ab (es gingen über 8000 Bewerbungen ein):

1. Zunächst formelle Bewerbung mit Bescheinigung über erfolgreiche fliegerärztliche Untersuchung für Piloten (in der Fachwelt heißt so etwas *Medical*); Nachweis, dass man alle Kriterien erfüllt wie ein abgeschlossenes Hochschulstudium, Forschungserfahrung oder, wenn man sich als Militärpilot bewerben wollte, entsprechende Flugerfahrung sowie weitere Nachweise, wenn vorhanden, wie Tauchschein, Doktorurkunde oder Ähnliches.
2. Im nächsten Schritt zwei Termine zur psychologischen und fachlichen Beurteilung mit Verhaltens-, Konzentrations- und kognitiven Tests.
3. Dann umfangreiche ärztliche Untersuchungen durch verschiedene Fachärzte mit Blutentnahme, Kreislaufuntersuchung, Augen- und Ohrenuntersuchung u.v.m.
4. Formelles Einstellungsgespräch durch einen Ausschuss der ESA.
5. Bekanntgabe der sechs neuen Astronautenanwärter (am Ende waren 20 Kandidaten in der engsten Auswahl, die abschließende Entscheidung, wer genommen wurde, war aber eine politische).

Die NASA sucht immer wieder nach neuen Astronauten. Es gibt hierbei zwei Qualifikationspfade, einen für Piloten und einen für „Nichtpiloten“. Die Nichtpiloten-Kriterien, um sich bewerben zu können, sind:

- Bachelorabschluss in einem Ingenieurfach, einem biologischen Fach, in Physik, Informatik oder Mathematik (es gibt eine Liste mit Studiengängen, die nicht ausreichen).
- Nach dem Bachelorabschluss mindestens drei Jahre Berufserfahrung. Ein Masterabschluss und/oder Dokortitel sind besonders willkommen.

- Wenn Fehlsichtigkeit besteht, muss diese korrigierbar sein (das Tragen einer Brille ist akzeptabel).
- Die anthropometrischen Maße müssen die Voraussetzung für das Tragen eines Raumanzuges erfüllen (wird beim Interview ausgemessen).
- Bewerber müssen die US-amerikanische Staatsbürgerschaft haben (doppelte Staatsbürgerschaft ist akzeptabel).

Im Jahr 2016 gab es in Deutschland eine Ausschreibung für die Stelle als erste deutsche Astronautin. Das Unternehmen HE-Space hat diese Stellenausschreibung veröffentlicht und mit der Website <http://www.dieastronautin.de> sowie in den Medien dafür geworben. Nachdem es bereits elf deutsche Männer ins All geschafft hatten, sollte nun die erste deutsche Astronautin gefunden werden. Für das Training wurden zwei Kandidatinnen gesucht, von denen eine am Ende für den wirklichen Flug ausgewählt werden sollte. Bewerben konnten sich Frauen mit den folgenden Voraussetzungen:

- Abgeschlossenes Studium in Naturwissenschaften oder im Ingenieurwesen oder eine vergleichbare Ausbildung im militärischen Bereich.
- Mehrjährige Berufserfahrung auf dem Gebiet der Wissenschaft, der Raumfahrt, der Technik, der Medizin oder in einem anderen relevanten Bereich.
- Präsentations- und Medienerfahrung.
- Fliegerärztliches Tauglichkeitszeugnis, Pilotenlizenz und/oder Tauchschein von Vorteil.
- Ausgeprägte Kommunikations- und Teamfähigkeit.
- Gute physische und psychische Kondition.
- Deutsche Staatsbürgerschaft.
- Fließende Englischkenntnisse werden vorausgesetzt; Russischkenntnisse wären von Vorteil.

Es gingen 408 Bewerbungen ein. Von den Kandidatinnen wurden nach mehrfacher Änderung der Prozedur schließlich 86 zur psychologischen Auswahl zum Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin des DLR nach Hamburg eingeladen, darunter die Autorin dieses Buches. Dort gab es zunächst diverse Tests am Computer zu bestehen. Es folgten ein Assessment-Center und psychologische Auswahlgespräche für die

besten 30 Kandidatinnen. Die Top-10-Kandidatinnen sollten zu medizinischen Untersuchungen eingeladen werden. Während der gesamten Auswahlphase war die Finanzierung des Projektes noch völlig ungeklärt. Bei der Deadline dieses Buches standen die Informationen aus, wer in die engere Auswahl gekommen ist und ob diese Person wirklich fliegt.

Tipp für angehende Raumfahrer: Man kann im Detail nicht genau vorher-sagen, welche Auswahlkriterien für Raumfahrer in Zukunft die entscheidende Rolle spielen werden. Ausgewählt zu werden ist am Ende immer mit viel Glück verbunden. Um in der Astronautenauswahl gut abzuschneiden, muss man kein Spitzensportler oder Nobelpreisträger sein. Gesucht werden meistens Menschen, die in einer ganzen Reihe von Dingen gut sind und exzellent im Team arbeiten können. Häufig scheidet man wegen banaler Dinge aus, bevor eine Bewertung der eigentlichen Qualitäten einer Person überhaupt stattgefunden hat. In Deutschland hat sich gezeigt, dass Physiker in der Auswahl stark bevorzuegt werden. Zur Vorbereitung empfiehlt sich ein ausgewogenes Sporttraining, z. B. mit einer Kombination aus Laufen, Fahrradfahren und etwas Krafttraining, oder auch Mannschaftssportarten. Wichtig ist nicht die Top-Zeit, sondern die allgemeine Fitness. Mit dem Rauchen und regelmäßigem Alkoholkonsum muss man aufhören (man kann im Blut sehen, ob jemand regelmäßig Alkohol trinkt). Es wäre gut, ein fliegerärztliches Tauglichkeitszeugnis (*Medical*) und einen Tauchschein, am besten sogar einen Flugschein, zu besitzen. Zudem geben Russischkenntnisse meistens Pluspunkte. Um sich auf das Auswahlverfahren vorzubereiten, könnte man Mathematik und Physik üben (Schulniveau). Für das Vorstellungsgespräch sollte man einen Grundstock an Raumfahrtwissen mitbringen und parat haben, was in etwa auf einen zukommt und warum man die beste Kandidatin oder der beste Kandidat ist. Hierzu bietet sich z. B. das Lesen dieses Buches an!

1.4 Frauen in der Raumfahrt

Warum eigentlich eine extra Astronautenauswahl nur für Frauen? Frauen waren doch schon oft im Weltraum, oder? Tatsächlich sind Frauen nach wie vor in der Raumfahrt signifikant unterrepräsentiert, obwohl es rein wissenschaftlich überhaupt keine Hinweise auf Probleme oder Schwierigkeiten von Frauen auf Weltraummissionen gibt. Im Gegenteil – eigentlich sprechen sehr viele Argumente für sie. In verschiedenen relevanten Gebieten schneiden sie deutlich besser ab als Männer, da sie z. B. besonders gut im Team arbeiten können, im Durchschnitt leichter sind und weniger essen. Man spart also Gewicht

ein, wenn man Frauen fliegen lässt. Am besten funktionieren Teams, die aus Frauen und Männern zusammengesetzt sind.

Bei der Astronautenauswahl gibt es jedoch eine systematische Bevorzugung von Männern, was u. a. daran liegt, dass die ursprünglichen Astronautenanforderungen mangels besseren Wissens aus denen für Testpiloten militärischer Flugzeuge abgeleitet wurden. Das Ergebnis ist: Bis heute (2017) waren zwar elf deutsche Männer im Weltraum, aber noch keine Frau. In den 1990er-Jahren wurden zwar zwei deutsche Frauen als Astronautinnen fertig ausgebildet, sie erhielten aber nie die Gelegenheit, in den Weltraum zu fliegen. Es haben 24 Männer den niedrigen Erdorbit verlassen, aber noch keine Frau. Auf dem Mond waren zwölf amerikanische weiße Männer und noch keine Frau oder ein Mensch anderer Ethnie. Nachdem die Sowjetunion 1963 mit Walentina Tereschkowa gezeigt hatte, dass Frauen in der Raumfahrt genauso gut zurechtkommen wie Männer, hat man für die nächsten 20 Jahre keine weiteren Raumflüge von Frauen mehr in Betracht gezogen. Auch die strikte Beschränkung auf Kandidaten mit makelloser Gesundheit und Fitness ist nach dem aktuellen Forschungsstand nicht länger notwendig. Tatsächlich wäre es für die Wissenschaft hilfreich, sich davon zu lösen, da die Beschränkung auf diese Menschen medizinische Forschungsergebnisse eventuell verzerrt.

Russland ist mit Kosmonautinnen auch heutzutage noch extrem sparsam. Lediglich die USA schicken inzwischen etwa genauso viele Frauen ins All wie Männer. Auch China lässt Taikonautinnen inzwischen regelmäßig fliegen. Optimal ist ein guter Mix aus Personen verschiedener Herkunft und verschiedenen Geschlechts mit einer möglichst vielseitigen Ausbildung. Bitte bei der Planung berücksichtigen!

1.5 Checkliste vor dem Flug

Raumschiff und Starttermin gebucht? Woran muss man jetzt noch denken? Hier eine Liste als Denkanstoß:

- Missionseblem (Aufnäher und Aufkleber fertig?) – Details s. u.
- Passenden Raumanzug bestellt? Details s. [Abschn. 4.4.](#)
- Kamera und Fotoapparat parat (am besten in mehrfacher Ausführung)? Datenmanagement geplant? Details s. [Abschn. 2.6.](#)

- Abwechslungsreiches Essen eingepackt und mindestens dreimal so viel wie geschätzt benötigt wird? Details s. [Abschn. 4.3](#).
- Gut im Training? Details s. [Abschn. 5.4](#).
- Mission gut durchgeplant und Kurs berechnet? Details s. [Abschn. 3.3](#).
- Nachricht für Außerirdische dabei? Details s. [Abschn. 6.8](#).

Bevor die Mission starten kann, fehlt noch etwas: das Missionseblem. Zu jeder Mission wird üblicherweise ein Missionseblem gestaltet. Neben dem Namen der Mission enthält das Emblem häufig auch die Namen der beteiligten Raumfahrer. Embleme haben lange Tradition und werden als Aufnäher auf die Raumanzüge und andere Kleidungsstücke genäht. Man findet sie als Aufkleber nicht nur in der Raumstation, sondern auch auf allen möglichen mit der Mission verbundenen Gegenständen und in Instituten an Türen und Möbeln, wenn die Wissenschaftler mit Experimenten an der Mission beteiligt sind oder



Abb. 1.4 Verschiedene Missionsebleme: Apollo 11 (1969, erste Mondlandung), STS-71 (1995, erste Koppellung des Space Shuttles an die Raumstation Mir), D1-Mission (1985 mit deutscher Beteiligung), Sojus T-9 (1984, erster Flug zur Raumstation Saljut 7), Shenzhou 9 (2012, erste Inbetriebnahme einer chinesischen Raumstation), Sojus TMA-13M (2014, Flug zur Internationalen Raumstation mit dem Deutschen Alexander Gerst)
Bildquelle: [NASA \(2012\)](#)

waren. Wenn man seinen eigenen Raumflug organisiert, sollte man daher das Missionseblem nicht vergessen. [Abb. 1.4](#) zeigt verschiedene Embleme aus der Geschichte der Raumfahrt als Beispiele.

Literatur

NASA (2012) Human space flight: Mission patch handbook. NASA, Washington. ISBN 978-0981783857

2

Raumschiffkonstruktion

Jetzt geht es ans Eingemachte. Will man in den Weltraum fliegen, braucht man dafür das notwendige Werkzeug. Zuerst - und das ist am allerwichtigsten - ist es nötig, sich ein Gerät zu beschaffen, das einen in den Weltraum befördert und einen dort überleben lässt: ein Raumschiff.

2.1 Raumschifftypen

Zunächst eine Klarstellung der Begriffe: Wenn man die kirchturm-großen Raketen der bemannten Raumfahrt auf der Startrampe stehen sieht, kommt davon nur ein sehr kleiner Teil wirklich im Weltraum an. Die unteren Stufen, die quasi nur aus Treibstofftanks und Triebwerken, Stufentrennern und Boostern bestehen, werden für den Aufstieg durch die Atmosphäre benötigt und danach wieder abgeworfen. Das *eigentliche* Raumschiff, also der Teil, in dem Raumfahrer tatsächlich durch den Weltraum fliegen und navigieren, ist nur ein kleiner Teil an der Spitze ([Abb. 2.1](#)).

Doch auch Raumschiff ist nicht gleich Raumschiff. Es gibt eine Vielzahl verschiedener Anwendungen, Umgebungsbedingungen und Sonderfälle, in denen Raumschiffe zum Einsatz kommen, und ebenso vielfältig sind ihre Bauformen. [Abb. 2.2](#) zeigt eine ganz grobe Übersicht darüber, welche primären Klassen von Raumschiffen bisher

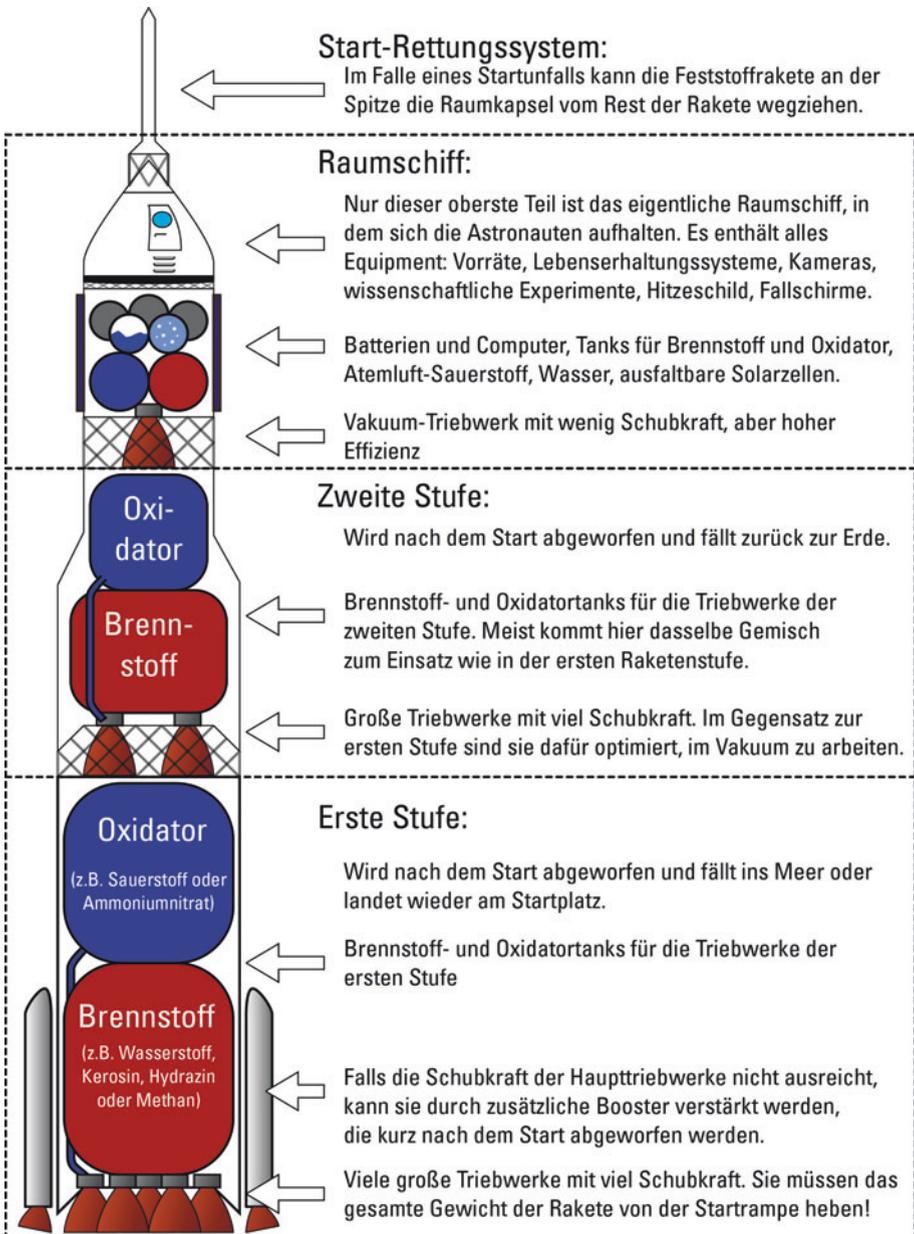


Abb. 2.1 Schematischer Aufbau einer typischen mehrstufigen Flüssigtreibstoffrakete, mit der bemannte Raumschiffe in den Weltraum befördert werden. Das Raumschiff selbst ist nur die oberste Stufe, der Rest der Rakete fällt nach dem Start auf die Erde zurück

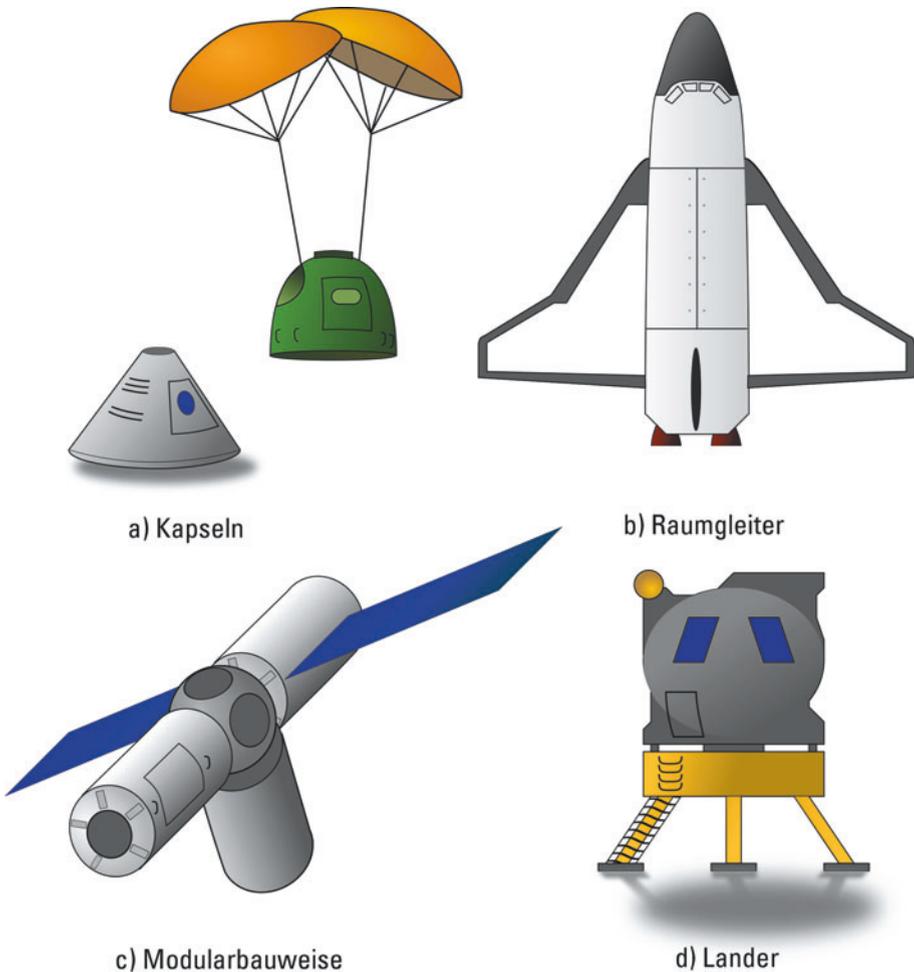


Abb. 2.2 Typische Bauformen von Raumschiffen, wie sie heutzutage tatsächlich eingesetzt werden (nicht maßstabsgetreu): **(a)** Raumkapseln sind die gängigste Bauform, um Menschen in den Weltraum und von dort wieder zurückzubringen (sie sind, bis auf die letzte Flugphase, normalerweise mit weiteren Bauteilen verbunden); **(b)** Raumgleiter wie das Spaceshuttle können zum Transport von Menschen und Fracht eingesetzt werden und aufgrund ihrer aerodynamischen Form wie ein Flugzeug landen; **(c)** Größere Raumschiffe und Strukturen werden in Modulbauweise im Weltraum zusammengedockt, wobei die Module nacheinander mit getrennten Raketen gestartet werden; **(d)** Lander wie der Apollo-Mondlander sind speziell dafür ausgelegt, auf anderen Himmelskörpern zu landen und (insbesondere in der bemannten Raumfahrt) von ihnen wieder zu starten. Ihre genaue Bauform hängt stark von den Eigenschaften des Zielkörpers ab!

von Menschen gebaut und eingesetzt wurden. Es ist hierbei nicht prinzipiell ausgeschlossen, diese Klassifikation zu durchbrechen und beispielsweise einen Raumgleiter zu bauen, der auch auf anderen Himmelskörpern landen kann. Aber bei allen Raumschiffdesignvorgängen muss man stets im Hinterkopf haben, dass jedes Kilogramm mehr an Gewicht riesige Kosten mit sich bringt, dass jedes zusätzlich verbaute elektronische oder mechanische System überlebenswichtig ist, ausfallen kann, wartbar sein muss und in aufwendigen Vorgängen auf der Erde entwickelt und getestet wird.

Um also den Bau eines Raumschiffs überhaupt in ökonomisch vertretbarem Rahmen halten zu können, ist das grundlegende Designprinzip stets: Das einfachste, unkomplizierteste, robusteste und billigste Verfahren wird benutzt.

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über viele Subaspekte des Raumschiffbaus, in dem immer wieder dieses selbe Konzept auftreten wird, von der Außenhülle über die Triebwerke bis hin zu Möbeln und Innenausstattung.

2.2 Die Hülle

Der Weltraum ist kalt, luftleer, erfüllt von Strahlung, voller kleiner sowie großer Meteoroiden. Möchte man sich als Mensch in dieser Umgebung aufhalten, so ist es absolut unerlässlich, sich zunächst Gedanken darüber zu machen, wie man die Unannehmlichkeiten des Weltraums außerhalb und die lebenswichtigen und angenehmen Dinge wie Luft und Wärme innerhalb des Raumschiffs hält. All diese Funktionen erfüllt die Hülle des Raumschiffs. Die große Herausforderung ist, diese Anforderungen optimal zu erfüllen und gleichzeitig eine leichtestmögliche Konstruktion zu erreichen, denn letztendlich ist jedes Kilogramm Hülle, das man mehr mitnimmt, ein Kilogramm Nutzlast, das man weniger transportieren kann.

Das gängigste Baumaterial für Raumkapseln ist Aluminium, wie es auch in Flugzeugen verwendet wird. Es hat den Vorteil, dass die Bearbeitungstechniken aus der Luftfahrt sehr ausgereift sind, es sich leicht in beliebige Formen biegen, gießen und zerspanen lässt und aufgrund seiner guten Wärmeleitfähigkeit thermische Spannungen schnell von selbst abbaut. In jüngster Zeit kommen jedoch vermehrt auch Verbundwerkstoffe aus Kohlefasern zum Einsatz, z. B. im SpaceShipOne und SpaceShipTwo der Firma Scaled Composites.

Eine besondere Form des Einpersonenraumschiffs ist der Raumanzug: Auch hier erfüllt die Hülle den Zweck, den Menschen vor den Einflüssen des Weltraums zu schützen, mit der Besonderheit, dass sie aus elastischen, formbaren Materialien bestehen muss. Häufig erfüllt hierbei Kevlar (bekannt aus schusssicheren Westen) die Funktion der Schutzschicht gegen Mikrometeoroiden, Mylarfolie die vakuumdichte Versiegelung und spezielle Unterwäsche mit eingearbeiteten Flüssigkeitsschläuchen die Thermoregulation (vgl. [Abschn. 4.5](#))

Da die Materialentwicklung bei Raumanzügen über viele Jahrzehnte optimiert und verfeinert wurde, stellen inzwischen Raumschiff- oder Raumstationsmodule, die aus denselben flexiblen Materialien hergestellt sind, eine echte Alternative zu starren Aluminiumkonstruktionen dar. Die von der amerikanischen Firma Bigelow Aerospace gefertigten, aufblasbaren Raumstationsmodule (bspw. das BEAM-Modul an der internationalen Raumstation) sind die wohl bekanntesten Beispiele hierfür.

Strahlung, Hitze, Meteoroiden

Die Sonne ist die Licht-, Wärme- und Strahlungsquelle im Zentrum des Sonnensystems. Permanent erreichen 1.6 kW/m^2 an Strahlungsleistung die Erde, ein Großteil davon in Form von infrarotem, sichtbarem und ultraviolettem Licht. Die Erdatmosphäre (insbesondere die Ozonschicht) schützt uns auf der Erde vor einem Großteil der UV-Strahlung und absorbiert ebenfalls einen Teil des sichtbaren und infraroten Lichtes, sodass hiervon auf der Erdoberfläche noch etwa 1 kW/m^2 übrigbleiben. Fliegt man näher an die Sonne heran, nimmt die Strahlungsleistung der Sonne pro Quadratmeter im selben Maße zu, wie sich die Sonnenscheibe aus der Sicht des Raumschiffs vergrößert; fliegt man in die äußeren Bereiche des Sonnensystems, nimmt die Strahlungsleistung im gleichen Maße ab.

Im extremen Gegensatz zur Sonne sind alle anderen Richtungen, in die man im Weltraum schauen kann, sehr, sehr dunkel und kalt. Vergleicht man das Lichtspektrum des Weltalls mit dem eines aufgrund seiner eigenen Wärme leuchtenden schwarzen Körpers, so ergibt sich eine Temperatur, die gerade mal $2,73 \text{ Kelvin}$ über dem absoluten Temperaturnullpunkt liegt, also bei $-270^\circ \text{ Celsius}$. Während die sonnenzugewandte Seite eines Raumfahrzeugs also permanent aufgeheizt wird, strahlt die sonnenabgewandte Seite ihre Wärme in das kalte

Weltall hinaus ab. Es ist daher notwendig, sich über Wärmeleitung im Raumschiff sowie eventuelle Kühlung oder Heizung Gedanken zu machen – tut man das nicht, können Materialverspannungen auftreten, es kann zu Materialermüdung kommen und die Hülle könnte undicht werden.

Ist die Hülle nicht selbst ausreichend wärmeleitend, kann entweder ein flüssigkeitsbasiertes System zum Wärmetransport zum Einsatz kommen (in der Internationalen Raumstation arbeitet dieses System auf Basis von Ammoniak) oder verteilte Heiz- und Kühlelemente, die thermische Verspannungen des Materials durch temperaturbedingte Ausdehnung und Schrumpfung des Materials minimieren. Bei den Apollo-Flügen zum Mond hingegen nahm man sich der Problematik höchst pragmatisch an: In der ereignislosen Flugphase zwischen niedrigem Erdorbit und dem Erreichen der Mondumlaufbahn drehte sich die Raumkapsel einfach langsam um ihre Längsachse, um eine gleichmäßige Wärmeverteilung zu erreichen.

Für Raumfahrzeuge, die sich eine lange Zeit am Stück im Weltraum aufhalten sollen, sollte man zudem die Wirkung der ungefilterten solaren UV-Strahlung im Hinterkopf behalten: Nicht UV-resistente Farbstoffe werden von ihr rapide ausgebleicht und einige Plastiksarten können spröde werden. Beispielsweise sind die von den Apollo-Missionen auf dem Mond hinterlassenen amerikanischen Flaggen inzwischen vollkommen weiß, da die darin verwendeten Farbstoffe der 60er-Jahre der permanenten Sonnenstrahlung nicht standhielten.

Exkurs

Die Fenster der Internationalen Raumstation sind alle mit UV-Filtern ausgestattet. Bei einigen Fenstern im russischen Teil der Station sind die Filter jedoch getrennt wegklappbar, sodass die Fenster komplett UV-durchlässig gemacht werden können. Dies war ursprünglich für wissenschaftliche Zwecke vorgesehen, um bspw. die Erdatmosphäre mit UV-Instrumenten aus der Station heraus untersuchen zu können.

Sehr schnell zeigte sich jedoch: Wenn menschliche Haut mit ungefiltertem UV-Licht der Sonne in Kontakt kommt, bekommt man innerhalb weniger Sekunden wirklich schlimmen Sonnenbrand! Inzwischen werden die UV-Filter nicht mehr weggeklappt.

Doch Licht (ob sichtbar oder unsichtbar) ist nicht die einzige Sorte Strahlung, die ein Raumschiff abschirmen können muss, denn auch die *kosmische Strahlung*, die auf der Erdoberfläche quasi vollständig

von der Atmosphäre abgeschirmt wird, ist im Weltraum ständig präsent. Die Leistungsdichte dieser Strahlung liegt mit ungefähr einem Watt/cm^3 zwar deutlich unter der des Sonnenlichtes, sie ist jedoch aufgrund ihrer Eigenschaft, tief in Materie (und auch menschliches Gewebe) einzudringen, besonders schwer abzuschirmen (s. hierzu auch [Abschn. 5.7](#)).

Für Missionen im niedrigen Erdorbit dient das magnetische Feld der Erde als relativ effiziente Abschirmung, zumindest für niederenergetische geladene Teilchen. Diese folgen den Erdmagnetfeldlinien zu den magnetischen Polen und sind schließlich für die Erzeugung von Nordlichtern in der oberen Erdatmosphäre verantwortlich. Bewegt man sich jedoch außerhalb der Van-Allen-Strahlungsgürtel (zwischen 1000 und 60.000 km über der Erdoberfläche, s. [Abb. 2.3](#)), so hat das Erdmagnetfeld keine Abschirmungswirkung mehr. Wie auch auf der Erde gilt für die Abschirmung dieser Strahlung, dass eine möglichst dichte, möglichst dicke Wand vonnöten ist. Ideal wären hierbei Materialien wie Blei oder Wolfram, die jedoch aufgrund ihres großen

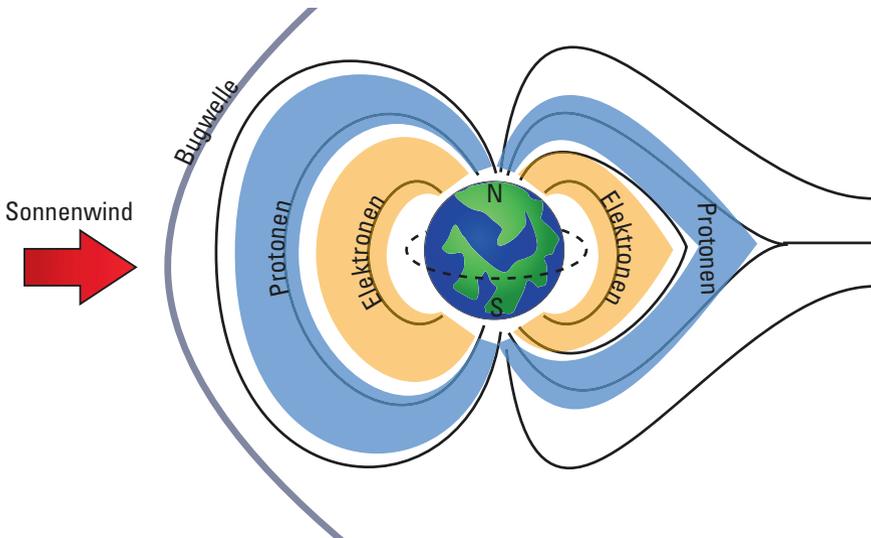


Abb. 2.3 Erdmagnetfeld und Van-Allen-Strahlungsgürtel (nicht maßstabsgetreu). Elektronen bevölkern den inneren Strahlungsgürtel (zwischen 1000 und 6000 km über der Erdoberfläche) und Protonen den äußeren Gürtel (zwischen 13.000 bis 60.000 km). Bemannte Raumfahrt im niedrigen Erdorbit (gestrichelte Linie) spielt sich unterhalb dieser Strahlungsgürtel ab und ist somit durch das Erdmagnetfeld abgeschirmt