

Manfred Gottwald

Die Erde

Raumreisen

SACHBUCH

 Springer

Die Erde

Manfred Gottwald

Die Erde

Raumreisen

 Springer

Manfred Gottwald
Worpswede, Deutschland

ISBN 978-3-662-68221-0 ISBN 978-3-662-68222-7 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-68222-7>

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

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2023

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 allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

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.

Einbandabbildung: © Md. Rakib Rayhan / Generated with AI / Stock.adobe.com
Die Erde um 15:00 UTC aus der Sicht des über dem Äquator stehenden EUMETSAT-Satelliten Meteosat-9 am 28. August 2010. Über dem Atlantik haben sich mehrere Hurrikans gebildet. (Foto: Maximilian Reuter, IUP-IFE, Universität Bremen / Rohdaten: EUMETSAT).

Planung/Lektorat: Caroline Strunz
Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature. Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Das Papier dieses Produkts ist recyclebar.

Für Bärbel.

Mit ihr reise ich seit Jahrzehnten um die Sonne.

„Wenn wir die Erde sehen wie sie wirklich ist, wie sie klein und blau und wunderschön in dieser ewigen Stille treibt, dann sehen wir uns als Reisende auf der Erde, Gefährten auf dieser strahlenden Schönheit in der ewigen Kälte – Gefährten, die jetzt wissen, dass sie wahrhaftig Gefährten sind.“

Nach Archibald MacLeish (amerikanischer Dichter und Politiker 1892-1982)

Prolog

Seit der Mitte des letzten Jahrhunderts konnte man sich als astronomisch Interessierter wie im wissenschaftlichen Schlaraffenland fühlen. Immer größere Teleskope erlaubten immer tiefere Blicke ins Universum; mit Hilfe der Theorie konnten wir uns weiter an den Zeitpunkt des Urknalls herantasten und neuartige Instrumente, durch die Raumfahrt über die Erdatmosphäre gebracht, zeigten den Himmel in Wellenlängenbereichen wie sie bisher nicht zugänglich waren. Das heutige astronomische Weltbild ist das Ergebnis eines enormen Erkenntnisgewinns der letzten Jahrzehnte, lässt aber immer noch unzählige Fragen unbeantwortet. Das Weltall bleibt weiterhin ein grandioses Labor für Generationen zukünftiger Wissenschaftler.

Es hat sich aber nicht nur unser Blick an den Rand des Universums geschärft, auch die Erde rückte wieder ins Zentrum wissenschaftlicher Neugier – eine Art von moderner „Geozentrik“ stellte sich ein. Dazu trugen mehrere Ursachen bei: Raumfahrt erlaubte uns, den uns am nächsten gelegenen Teil des Universums, das Sonnensystem, direkt vor Ort zu erkunden. Dabei erkannten wir Welten, die sich grundlegend von unserer unterscheiden. Vor allem wurde uns bewusst, wie einzigartig die lebensfreundliche Umgebung ist, die unser Heimatplanet bietet. Gleichzeitig begann man, die Erde als System zu begreifen, deren verschiedene Komponenten wie Erdinneres und Erdkruste, Ozeane, Eis und Atmosphäre in komplexer Weise zusammenwirken und die Existenz von Leben ermöglichen.

Dieses gewandelte Verständnis der Erde spielt sich aber nicht nur in den Köpfen ab, man kann es auch direkt erleben. Was früheren Generationen verborgen blieb, kann man heute jederzeit sichtbar machen; die Erde als farbiger Hort von Leben in einem sonst ziemlich leeren und dunklen Weltall. Wer sich mit Raumfahrt beschäftigt, stößt unweigerlich auf solche Darstellungen der Erde. Entweder werden auf ihnen aus unmittelbarer Nähe wunderbare Details sichtbar oder sie reduziert sich aus großen Entfernungen zu einer kleinen bläulich

schimmernden Kugel, deren Anblick begeistert und den Betrachter staunen läßt.

Das vorliegende Buch hat drei Geburtshelfer: einmal einen längeren Artikel von mir zu diesem Thema in der *Astronomiezeitschrift Sterne und Weltraum* sowie Vorträge, bei denen ich immer wieder feststellen konnte, wie interessierte Zuhörer gebannt eine Reise weg von der Erde, aber immer zurückblickend zu ihr, verfolgten und schließlich noch eine Ausgabe des *National Geographic Magazins* vom Mai 1936, in dessen großformatiger Beilage erstmalig die Krümmung des Erdhorizonts zu sehen war. Dieses Bild hängt in meinem Arbeitszimmer und erinnerte mich ständig daran, das Buch zu schreiben.

Die Erde – Raumreisen beschreibt in Etappen, die sich immer weiter in den Raum hinaus begeben, wie unsere Erde immer mehr als Teil des Universums erscheint. Wir beginnen unsere Exkursion im zweiten Kapitel, nach einem einleitenden historischen Rückblick und Überlegungen, was wir überhaupt auf dieser Reise erwarten können bei den allerersten Versuchen, sich überhaupt so weit über die Erdoberfläche zu erheben, dass man die Kugelgestalt der Erde anhand der Krümmung des Erdhorizonts erahnen konnte. Das Raumfahrtzeitalter lag damals noch in weiter Ferne. Dieses nimmt Gestalt im dritten Kapitel an, als erstmals Raketen den erdnahen Weltraum erreichten ohne bereits in eine Erdumlaufbahn einschwenken zu können. Jetzt begann man, die Erde aus wirklich großen Höhen zu betrachten und erkannte auch den Nutzen für viele Bereiche des täglichen Lebens wie beispielsweise der Wettervorhersage. Nur wenige Jahre nach dem Start des ersten künstlichen Erdsatelliten im Jahr 1957 schickten bereits Wettersatelliten die Bilder unseres Planeten zu den Bodenstationen. Damit begann eine bis heute andauernde Weiterentwicklung immer fortschrittlicherer Satellitenplattformen und darauf installierter Instrumente, die uns nun enorm detailreiche Aufnahmen der Erdoberfläche übermitteln. Dieser Werdegang wird im vierten Kapitel erläutert.

Automatische Sonden liefern exakte und nach entsprechender Bearbeitung oftmals auch sehr ästhetische Bilder. Was ihnen fehlt sind in solchen Aufnahmen enthaltene persönliche Eindrücke. Sie kommen ins Spiel, wenn uns Astronauten ihre Empfindungen schildern. Die Fotos, die sie von bemannten Flügen um die Erde mitbringen, sind Zeugen ihrer Begeisterung. Kapitel fünf berichtet davon. Existierten anfangs noch Bestrebungen, solche Aufnahmen auch wissenschaftlich zu nutzen, blieb davon nur noch die Absicht, dem auf der Erde zurückgebliebenen Betrachter die Schönheit der Erde von oben zu zeigen. Das folgende sechste Kapitel führt uns erstmals in den Bereich, in dem die Erde als Ganzes freischwebend im Weltraum zu erkennen ist. Es sind hauptsächlich geostationäre Wettersatelliten, die seit mehr als fünf Jahrzehnten uns inzwischen wohlbekanntere Ansichten der Erde und ihres Wettergeschehens liefern. Jetzt zeigt die Erde auch Phänomene, welche man aus einfachen himmelsmechanischen Tatsachen wie Rotation um ihre geneigte Achse oder jährliche Bewegung um unser Zentralgestirn ableiten kann.

Immer wieder einzigartig ist der Anblick der Erde von einem anderen Himmelskörper. Diesen konnte man erstmals erleben, als automatische Mondsonden ihre Kameras aus fast 400000 km Entfernung auf die Erde richteten. Sie war zu einer kleinen im Wechsel der Phasen beleuchteten Scheibe geworden. Kapitel sieben führt aus, wie im Zuge der Vorbereitung des bemannten Mondlandeprogramms Roboter den Mond erkundeten und bei Gelegenheit mit ihren Kameras die Erde anvisierten. Nachdem der Mond nach erfolgreichem Abschluss des Apolloprogramms zunächst nur mehr wenig wissenschaftliches Interesse hervorrief, bahnte sich später eine Renaissance unbemannter Mondmissionen an. Ihre Erdansichten übertrafen diejenigen der ersten Erkundungsphase bei weitem. Wie schon im Falle erdnahe Umlaufbahnen, trugen die Astronauten der Apollo-Mondflüge ihre persönlichen Eindrücke bei. Sie kommen im Kapitel acht zu Wort. Was mit dem spektakulären Flug von Apollo 8 im Dezember 1968 begann, endete bereits vier Jahre später im Jahr 1972. Seitdem hat kein Mensch mehr den Mond betreten und kann vom wunderbaren Anblick der Erde aus lunarer Perspektive berichten.

Seit Kurzem gibt es eine neue Etappe auf unserer Reise weg von der Erde. Es handelt sich

um den inneren Lagrangepunkt zwischen Erde und Sonne in 1.5 Millionen Kilometer Entfernung, an dem sich ein kleines, massearmes Objekt kräftefrei aufhalten kann und sich wie die Erde in einem Jahr um die Sonne bewegt. Dort wurde vor mehreren Jahren ein Satellit platziert, welcher sich vor allem um den Sonnenwind, dem beständig von der Sonne ausgehenden Strom an geladenen Teilchen kümmert. Er besitzt außerdem eine Kamera, die aus dieser Position zurück Richtung Erde blickt und erstmals ihre ständig von der Sonne beschienene Tagseite zeigt.

Wenn man die Frage nach dem größten Erfolg der Raumfahrt stellen würde, stünde nach meinem Empfinden die Erkundung des Sonnensystems sehr weit vorne. Die interplanetare Raumfahrt machte sicht- und erfahrbar, was uns Astronomie vom Boden aus nie ermöglicht hätte. Als Nebenprodukt fielen dabei aus ganz neuen Perspektiven erscheinende Ansichten unseres Heimatplaneten ab. In den meisten Missionen zu Planeten, Asteroiden oder Kometen wurden hochauflösende Kameras mitgeführt, die uns erstmals Einblicke in diese Welten gewähren sollten. Sie sandten gelegentlich auch Bilder der Erde zu dieser zurück. Wie und wann dies geschah ist das Thema des zehnten Kapitels. Anders als in den vorangegangenen Kapiteln geschieht dies nicht chronologisch, sondern nach Reiszelen geordnet. Am Ende stehen schließlich Aufnahmen aus den fernen Regionen unseres Sonnensystems, in dem die Erde nur noch als schwach leuchtender Punkt erscheint. Daraus kann man nicht mehr erkennen, dass sich Milliarden Bewohner dieses, ihr „Raumschiff“, teilen.

Den bei Weitem größten Fundus an Erdansichten liefern die beiden Etappen des erdnahe Weltraums in Kapitel vier und fünf. Sowohl unbemannte als auch bemannte Missionen haben inzwischen Myriaden an Daten und daraus extrahierte Bilder oder Fotos zur Erde gebracht. Davon eine absolute Auswahl zu treffen ist unmöglich. Meine Auswahl in diesem Buch soll das System Erde mit all seinen Facetten zeigen. Dazu gehören die Lithosphäre, d.h. die feste Oberfläche, die Welt des Eises in Form der Kryosphäre sowie die uns schützende Lufthülle als Atmosphäre. Diese drei Bereiche findet man auch auf anderen Planeten und Monden im Sonnensystem – natürlich gekennzeichnet durch andere Eigenschaften. Bisher einzigartig für die

Erde ist die Hydrosphäre, die Welt des Wassers. Sie ist auch Voraussetzung dafür, dass sich in einer mehrere Jahrmilliarden währenden Evolution die Biosphäre der Erde entwickeln konnte. Aus dieser ging schließlich der moderne Mensch hervor, dessen Umgestaltung der Erdoberfläche inzwischen als Anthroposphäre sichtbar ist.

Die Leserschaft wird sich vielleicht fragen, weshalb Bildmaterial, das aus US-amerikanischen Einrichtungen stammt, überproportional vertreten ist. Dies hat zwei Gründe: Raumfahrt war jenseits des Atlantik seit ihrem Beginn ein intensiv betriebenes Feld. Darüber hinaus hat man dort solche Unternehmungen schon immer sehr offen gehandhabt und mit wenig Geheimhaltung belegt. Früher wurden ihre Ergebnisse in Printmedien der Öffentlichkeit bekannt gemacht, heute findet man sie in den Weiten des Internet. NASA bemüht sich zusätzlich, historische Dokumente einschließlich fotografischer Darstellungen nicht der Vergessenheit anheimfallen zu lassen sondern sie geeignet aufzubereiten, sodass man heute auch mit modernen Mitteln darauf zugreifen kann. Die Raumfahrt der früheren UdSSR hat in ihren ersten Jahrzehnten sicher ähnlich ehrgeizige Missionen durchgeführt. Leider existiert davon deutlich weniger Material und der Zugang zu dieser geringen Menge gestaltet sich oft schwierig.

Die Qualität der hier gezeigten Bilder variiert. Vor allem in früheren Perioden, als die Kameras in ihrer Leistung oft limitiert waren und es noch

keine Digitaltechnik gab, entstanden Aufnahmen, die heutigen Ansprüchen nicht mehr genügen. Es gibt manchmal Vorhaben, die versuchen, solch altes Material zu restaurieren und falls möglich, sogar ihre Verbesserung zu erreichen. Die Wiederaufbereitung von Lunar Orbiter Daten im siebten Kapitel ist hierfür ein schönes Beispiel. Bei der Beschreibung schon lange zurückliegender Missionen handelt es sich aber auch um einen Blick in die Vergangenheit. Aufnahmen aus dieser Zeit besitzen zu Recht eine gewisse Patina; sie kommen in diesem Buch deshalb in ihrem antiquarischen Aussehen immer dann vor, wenn eine künstliche Auffrischung nicht angebracht wäre.

Das Buch *Die Erde – Raumreisen* ist weder Lehrbuch noch Bildband. Auch ist es kein vollständiges Fotoalbum terrestrischer Aufnahmen, gewonnen in mehr als sechs Jahrzehnten Raumfahrt. In den Archiven von Raumfahrtagenturen und wissenschaftlichen Instituten schlummern noch weit mehr Darstellungen der Erde, die man mit Hilfe von Satelliten und Sonden gewonnen hat. Alle hier gezeigten Aufnahmen sind frei zugänglich und es bedarf keines besonderen Expertenwissens, um vor allem mit den Mitteln des Internets auf sie zugreifen und sie bewundern zu können. Wenn *Die Erde – Raumreisen* bei der Leserschaft das Interesse weckt, die in ihm skizzierte Reise weg von der Erde selber nachzuvollziehen, hat es seinen Zweck sicher erfüllt.

Manfred Gottwald, Worpswede
August 2023

Dankesworte

Die Erde – Raumreisen hätte nicht entstehen können ohne die freundliche Unterstützung verschiedener Raumfahrtagenturen, staatlicher und multinationaler Institutionen, wissenschaftlicher Einrichtungen sowie kommerzieller Anbieter. Die von ihnen initiierten und durchgeführten Unternehmungen lieferten die Bilder, die uns in diesem Buch auf einer Reise von der Erde bis weit in das Sonnensystem hinausgeführt und dabei die Einzigartigkeit unseres Heimatplaneten vermittelt haben. Ihnen allen gilt mein Dank.

Im Einzelnen möchte ich besonders die US-amerikanische Raumfahrtbehörde NASA

nennen. Ihr reicher Fundus an Fotos aus dem All bestreitet den Großteil dieses Buches. Auch die US-amerikanische Behörde NOAA, die sich unter anderem um Satellitenmeteorologie kümmert, ist vor allem mit Aufnahmen aus der Frühzeit der Raumfahrt und dem geostationären Orbit vertreten. Fotos aus der geostationären Umlaufbahn sind auch von EUMETSAT, der Agentur, welche sich in Europa mit Meteorologie aus dem Weltraum befasst, beigesteuert. Ebenso ist in diesem Kapitel JMA, das japanische Äquivalent zu EUMETSAT vertreten genauso wie die russische Agentur Roscosmos, deren Darstellungen der

Erde auch von Vitaliy Egorov attraktiv aufbereitet sind. Europas Raumfahrtagentur ESA liefert Bilder von verschiedenen Etappen unserer Reise, angefangen im niedrigen Erdorbit und endend im interplanetaren Raum. Aus den Bildergalerien des Labors für Angewandte Physik der Johns Hopkins Universität finden sich Fotos aus den Kindertagen der Raumfahrt sowie seiner Beteiligung an interplanetaren Flügen. Die japanische Raumfahrtagentur JAXA trägt vor allem die herausragenden Aufnahmen ihrer Kaguya-Mondmission bei aber auch einige Darstellungen interplanetarer Missionen. Ebenfalls das Kapitel der unbemannten Mondflüge bereichert die chinesische Einrichtung CNSA, die für die Durchführung der nationalen Raumfahrtunternehmungen verantwortlich ist, sowie die indische Organisation für Raumforschung ISRO. Dankend erwähnen möchte ich in diesem Zusammenhang meinen früheren DLR-Kollegen Jian Xu, der mir half, die Rechte an den Fotos der chinesischen Mondsonden zu klären.

Die Spider Collaboration der Princeton Universität hat das Foto zur Verfügung gestellt, das die Krümmung des Erdhorizonts aus der Perspektive eines Forschungsballons hoch über der Antarktis zeigt. Mein Dank gilt auch Laura Fissel von der Queens Universität in Kanada, die diese Abbildung vermittelt hat. Münchens European Space Imaging, eine Firma die sich mit dem Vertrieb höchstauflösender Satellitendaten beschäftigt, steuerte die sehr detailreiche Aufnahme von München bei. Schließlich ist noch NRO, ein US-amerikanisches Amt für die Satellitenaufklärung zu nennen. Ihre öffentlich freigegebenen Fotos zeigen, was bereits in den Anfängen der Raumfahrt aus der nahen Erdumlaufbahn möglich war.

Auch Einzelpersonen sind für interessantes Material verantwortlich. Gerade das Foto von Explorer II mit dem erstmaligen Blick auf den gekrümmten Erdhorizont stellte eine besondere Herausforderung dar. Mit Unterstützung von Alexander Wittmann von United Archives gelang es, auch dieses einmalige Bilddokument zu zeigen. Maximilian Reuter vom Institut für Umweltphysik

der Universität Bremen hat seine Meteosat-Bilder zur Verfügung gestellt. Diese sind in einem speziellen Verfahren aus den ursprünglichen Daten verarbeitet und vermitteln einen einzigartigen natürlichen Bildeindruck. Eine dieser Abbildungen ziert den Titel. Don P. Mitchell, ein Wissenschaftler, der früher unter anderem in Princeton und für AT&T Bell gearbeitet hat sowie Ted Stryk vom Roane State Community College haben das Kapitel der unbemannten Mondmissionen mit ihren Erddarstellungen russischer Sonden der späten 60-er und frühen 70-er Jahre bereichert. Tobias Schüttler vom School_Lab des Deutschen Zentrums für Luft und Raumfahrt hat Aufnahmen eines Stratosphärenballons über den bayerischen Alpen beigesteuert. Sie zeigen ein beliebtes Ausflugsgebiet aus ungewohnter Perspektive. Ebenfalls bayerisches Flair vermittelt das vom Luitpoldgymnasiums in München bereitgestellte Foto mit weitem Blick über Bayern. Es entstand im Mai 2019 als das P-Seminar des Gymnasiums einen Ballon in die Stratosphäre schickte.

Daneben gibt es noch mehrere im Raumfahrtbereich tätige Firmen, wissenschaftliche Institutionen und auch Einzelpersonen, die vor allem zusammen mit NASA und ESA am Gelingen zahlreicher Fotos beteiligt waren. Die Leserinnen und Leser finden sie jeweils in den entsprechenden Bildunterschriften genannt. Sehr hilfreich war auch der freie Zugang zu den Daten der Copernicus Sentinel-2 Mission, der es erlaubte, zahlreiche Darstellungen selbst zu erstellen.

Meinem Kollegen Eckhart Krieg sei Dank geschuldet für die Mühe des Korrekturlesens, das den hier enthaltenen Texten den letzten Schliff gegeben hat. Last but not least möchte ich noch meinen früheren Arbeitgeber, das Deutsche Zentrum für Luft und Raumfahrt nennen. Während meiner jahrzehntelangen Tätigkeit im DLR war ich an zahlreichen Erdbeobachtungsmissionen beteiligt und konnte auch das Sonnensystem zu meinem Forschungsfeld machen. Ohne diesen reichen Erfahrungsschatz wäre das Buch *Die Erde – Raumreisen* nicht möglich gewesen.

1. Erdansichten - Von der Fiktion zur Realität	1
2. Nahe am Weltraum - Aller Anfang ist schwer	5
3. Ballistische Flüge - Weg von der Erde	17
4. Unbemannter niedriger Erdorbit - Unter ständiger Beobachtung	25
5. Bemannter niedriger Erdorbit - Schöne Aussichten	63
6. Geostationärer Orbit - Ein Blick fürs Ganze	99
7. Unbemannte Mondmissionen - Aus kosmischer Nähe	117
8. Bemannte Mondmissionen - Die Männer am Mond	139
9. Innerer Lagrange-Punkt - Im Gleichschritt um die Sonne	159
10. Interplanetare Reisen - Besuche bei unserer kosmischen Nachbarschaft	171
Epilog	203
Gebäuchliche Abkürzungen	204
Index	205

1. Erdansichten - Von der Fiktion zur Realität

„Die Erde ist eine Kugel und bewegt sich innerhalb eines Jahres um die Sonne, wobei sie sich in 24 Stunden einmal um ihre Achse dreht“. Diese Erkenntnis gehört heute zum naturkundlichen Grundwissen. Bei größerem Interesse weiß man vielleicht noch, dass der Durchmesser der Erde annähernd 12750 km beträgt und sie die Sonne in einem Abstand von 150 Millionen km umrundet.

Was heute trivial und logisch erscheint, war es lange Zeit nicht. Erst seit Beginn des modernen naturwissenschaftlichen Denkens in der Renaissance hat sich dieses Bild der Erde im Laufe der letzten Jahrhunderte etabliert. Von den beiden grundlegenden Tatsachen – Kugelgestalt und Bewegung um die Sonne – war die Kugelgestalt auch im Mittelalter in gebildeten Kreisen durchaus akzeptiert. Nur die Tatsache, dass die Erde nicht das Zentrum des Universums sein sollte, fand aus religiös-philosophischen Gründen keine Anhänger bis Nikolaus Kopernikus die wissenschaftliche Bühne betrat. Sein heliozentrisches Weltbild konnte nicht mehr einfach ignoriert werden und leitete den Anfang vom Ende der geozentrischen Betrachtungsweise ein. In der Folgezeit, das Teleskop war erfunden, gelang es allmählich, Näheres über unser Sonnensystem in Erfahrung zu bringen. Auch erlaubte die sich entwickelnde Physik, die Bewegung von Planeten und Monden innerhalb dieses Systems zu verstehen und schließlich stellte die moderne Astronomie die Sonne und ihre Planeten in den korrekten kosmischen Zusammenhang.

Schon bald nachdem Kopernikus, Kepler und Galilei die Grundlagen unseres Weltbildes geschaffen hatten, erschienen Beschreibungen über Reisen weg von der Erde zu anderen Körpern des Sonnensystems. Dazu zählt Johannes Kepler selbst mit seinem Werk *Der Traum (Somnium)*, in dem der Autor eine Reise zum Mond träumt. Etwas später begibt sich der französische Schriftsteller Cyrano de Bergerac Mitte des 17. Jahrhunderts in seinen beiden utopischen Romanen *Die Staaten und Reiche des Mondes* bzw. *Die Staaten und Reiche der Sonne* ebenfalls auf den Weg zu unseren Nachbarn. Viel naturwissenschaftlicher geprägt waren danach

im 19. Jahrhundert die Berichte von Ausflügen in den Weltraum von Schriftstellern wie Jules Verne mit seinen Werken *Von der Erde zum Mond* sowie *Reise um den Mond* oder Edward Hale, der in *Brick Moon* erstmals einen bemannten künstlichen Erdtrabanten entstehen lässt. In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts war schließlich das Genre der Science-Fiction endgültig etabliert und führte die Erde als einen von unzähligen bewohnten Orten im Universum ein, der Ausgangspunkt und Ziel interstellarer Raumfahrt war. Der Blick auf die ferne Erde wurde zur Gewohnheit – wenngleich immer nur in Erzählungen utopischer Natur.

Wie sah es aus wissenschaftlicher Sicht aus? In der Einleitung des ersten Bandes seines Buches *Das Antlitz der Erde*, veröffentlicht 1883, schrieb der österreichische Geologe Eduard Suess „Könnte ein Beobachter aus dem Himmelsraume unserem Planeten sich nähernd, die rötlichbraunen Wolkenzonen unserer Atmosphäre bei Seite schieben und die Oberfläche des Erdballes überblicken, wie sie, unter seinen Augen rotierend, sich im Laufe eines Tages ihm darbietet, so würde vor allen anderen Zügen der südwärts keilförmig sich verengende Umrisse der Festländer ihn fesseln.“ Dieser Text gilt als einer der ersten Versuche, einen außerirdischen Standpunkt auszunutzen, um daraus etwas über die Erde zu erfahren, das ansonsten nicht oder nur schwer zu erkennen wäre. In einer Zeit ohne Raumfahrt blieben solche Überlegungen rein spekulativ.

In für die Allgemeinheit geschriebenen Astronomiebüchern tauchten Ende des 19. Jahrhunderts vermehrt Darstellungen auf, die den Anblick der Erde vom Mond visualisierten, beispielsweise im vom französischen Astronom Camille Flammarion veröffentlichten Buch *L'Astronomie populaire, der Populären Astronomie*. Je weiter man sich hypothetisch von der Erde wegbewegte, umso phantastischer wirkten damals solche Ausführungen. Eine ganz weite Reise unternahm Bruno H. Bürgel in seinem Buch *Aus fernen Welten – Eine volkstümliche Himmelskunde*, das in unterschiedlichen Auflagen von 1910 bis

1958 publiziert wurde. Darin gibt es das Kapitel „Die Erde als Stern“, später umbenannt in „Der Planet Erde“, in dem sich der Autor die Frage stellt, wie wohl die Erde von anderen Planeten aus erscheint. Auf einer fiktiven Reise begibt sich Bürgel über den Mond, Venus und Mars bis zum Saturn. Jedes Mal beschreibt er, wie die Erde von deren Oberflächen aussehen würde. Schließlich stellt er im etwas blumigen Stil des frühen 20. Jahrhunderts fest „Jenseits des Saturn kennt man deine Erde nicht mehr, du kleiner Mensch; sie ist versunken im Lichtmeer der Sonne, ist unter ihre Strahlenflügel geschlüpft, und kein noch so mächtiges Fernrohr der Uranus- oder Neptunbewohner könnte sie sichtbar machen. Noch nicht an den Grenzen des Sonnensystems und schon versunken und vergessen, unbekannt, wie wir nichts wissen von den Erden anderer Sonnen.“ Eine interessante Feststellung, nicht nur im Hinblick auf das Erscheinungsbild der Erde sondern auch was die Existenz exosolarer Planeten betrifft. Wir werden im Laufe dieses Buches beiden Aussagen wieder begegnen.

Die Entfernungen, die Bürgel überbrückt, sind nur mit den Mitteln der Raumfahrt zu bewältigen. Als *Aus fernen Welten* zum ersten Mal erschien, hatte Konstantin Ziolkowski kurz zuvor die Grundlagen der Raketentechnik veröffentlicht und damit dem Zugang zum Weltraum wissenschaftlich-technisch den Weg gewiesen. Diesen Weg gingen dann – um nur zwei zu nennen – Pioniere wie Robert Goddard in den USA oder Hermann Oberth in Deutschland. Mit seinem 1923 erschienen Buch *Die Rakete zu den Planetenräumen* hatte Oberth maßgeblich Anteil daran, dass die Möglichkeit, fremde Himmelskörper zu erreichen, ernsthaft in Betracht gezogen werden konnte. Es dauerte danach noch 35 Jahre bis die erste Raumsonde tatsächlich den Anziehungsbereich der Erde verließ und den interplanetaren Raum erreichte.

Wie erscheint uns die Erde aus dem Weltraum? Es kommt natürlich darauf an, wie weit wir uns von ihr entfernen. Je weiter wir an den Rand des Sonnensystems reisen, umso kleiner wird sie uns vorkommen. Wir werden auf solch einer Reise Distanzen erreichen, aus denen wir die Erde annähernd so sehen, wie Nachbarplaneten in Teleskopen moderater Größe von der Erdoberfläche aus wirken. Vielleicht können wir sogar einen Abstand erreichen, von dem aus, wie Bürgel vorhersagte, die Erde kaum mehr

sichtbar ist. Für jeden Interessierten erschwingliche Teleskope besitzen heutzutage Durchmesser von 15 cm und mehr. Entweder visuell bei ruhiger Luft oder mit Hilfe schneller Digitalkameras und geeigneten Computerprogrammen lassen sich damit überraschend detailreiche Planetenansichten realisieren. Auf Mars erkennt man Oberflächenstrukturen aber auch großräumige Stürme in seiner Atmosphäre. Jupiter zeigt seine farbigen Wolkenbänder und wird von seinen hellsten Monden umkreist, die nicht mehr als dimensionslose Lichtpunkte erscheinen. An Saturn faszinieren die Ringe, welche im Laufe der Jahre ihre Stellung gegenüber dem Erdbeobachter ändern. Dazu sind in der Saturnatmosphäre ebenfalls, wenn auch moderater als bei Jupiter, Wolkenbänder auszumachen. Sogar Venus erscheint nicht mehr als gleißend helles Objekt; inzwischen ist es sogar möglich, mit Amateuerteleskopen Details in ihrer dichten Atmosphäre aufzuspüren.

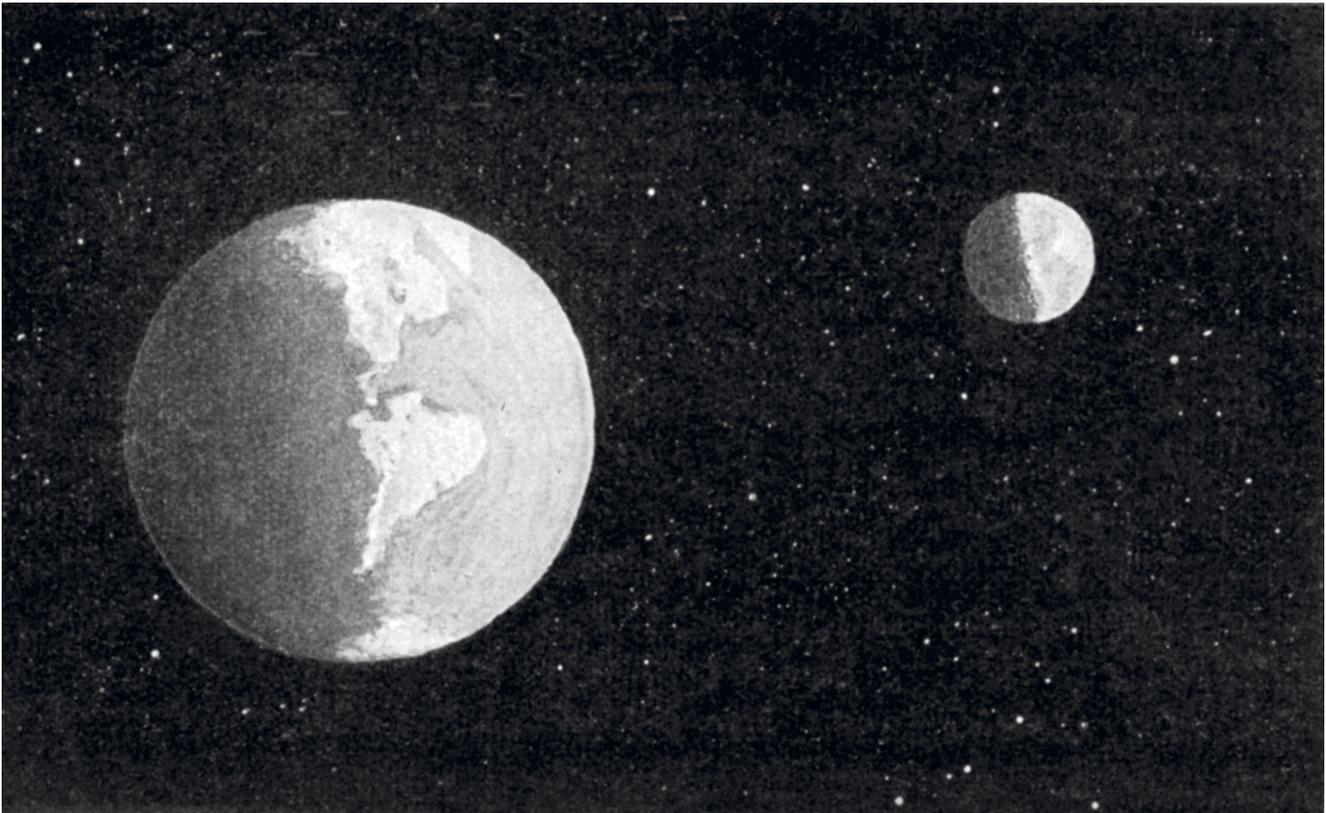
Da die Erde annähernd zweifachen Marsdurchmesser besitzt, wird sie uns vom Mars auch doppelt so groß erscheinen wie der Rote Planet von unserem Heimatplaneten aus. Verglichen mit Jupiter oder Saturn weist die Erde dagegen nur etwa 1/10 deren Größe auf, so dass wir sie aus Jupiter- bzw. Saturnentfernung zehnmal kleiner sehen als die beiden Gasriesen von der Erde. So wie alle Planeten, auch die größten, bei Beobachtung mit bloßem Auge nur als sehr helle Lichtpunkte am Nachthimmel stehen, wird es nicht ausreichen, von einem interplanetaren Raumfahrzeug aus großer Entfernung einfach Richtung Erde zu blicken um auf ihr Details zu erkennen. Dies gelingt noch aus der Mondumlaufbahn, die Erde erscheint von hier dreieinhalbfach größer als der Mond von der Erde, darüber hinaus wird das sichtbare Erdscheibchen immer kleiner, bis es schließlich nur noch ein schwach leuchtender Punkt geworden ist. Wir benötigen auch auf den Raumsonden optische Hilfsmittel in Form von Kameras, Teleskopen und Aufzeichnungsmedien, um räumlich aufgelöste Bilder zu erzeugen. Welche Abbildungsmaßstäbe und Auflösungen erreicht werden können, hängt von den Eigenschaften der Optik ab wie Durchmesser und Brennweite sowie Anzahl der zur Verfügung stehenden Bildpunkte. Ein Teleskop mit 15 cm Öffnung kann im grünen Licht grob gerechnet noch einen kleinsten Winkel von 1 Bogensekunde trennen. Welchen linearen

Dimensionen dies entspricht, hängt nun von der Entfernung zwischen Teleskop und Aufnahmeobjekt ab. In einer Entfernung von 400000 km (Mond) stellt 1 Bogensekunde eine Strecke von 1.9 km dar, bei 60 Millionen km (Mars in Erdnähe) sind es bereits 290 km und bei 1.4 Milliarden km (Saturn) schließlich 6800 km. Aus Mondabstand könnte deshalb ein kleines Teleskop dieser Größe auf der Erdoberfläche Details im Bereich von etwa zwei Kilometern erkennen. Vom Mars aus wären damit Strukturen auf der Erde nachweisbar, die wenige hundert Kilometer messen und aus Saturnentfernung könnte man gerade noch nachweisen, wie die Erde als kleines, ausgedehntes Scheibchen erscheint. Jenseits des Saturns würden nur noch Großteleskope zeigen, dass die Erde einem Beobachter eine reich strukturierte Oberfläche

darbietet. Solche Optiken werden wir jedoch niemals ins äußere Sonnensystem transportieren.

Interessant würde einem externen Beobachter sicher die Ausmaße unseres ständigen Begleiters erscheinen. Die Erde besitzt für ihre Dimensionen einen ziemlich großen Trabanten; in allen anderen Fällen im Sonnensystem überwiegt der Planetendurchmesser den Durchmesser der jeweiligen Monde deutlicher. Zusammen mit dem Mond wirkt unser Heimatplanet von außen gesehen eher wie ein „Doppelplanet“. Wir können deshalb erwarten, Erde und Mond als unzertrennliches Paar bisweithinaus ins Sonnensystem verfolgen zu können.

Bevor wir jedoch in diese Bereiche vorstoßen, müssen wir uns in ersten Etappen von der Erdoberfläche lösen. Dies war nicht einfach.



1 Erde und Mond in einer Darstellung von Bruno H. Bürgel. Diese Zeichnung bildete die Einleitung zum Kapitel *Die Erde als Stern* in seinem Buch *Aus Fernen Welten - eine volkstümliche Himmelskunde* aus dem Jahr 1920.

2. Nahe am Weltraum - Aller Anfang ist schwer

Wo wollen wir unsere Reise weg von der Erdoberfläche hin zum Planeten Erde beginnen? Es bietet sich an, als erste Etappe einen Schritt zu wählen, der nicht zu weit führt und eigentlich mit relativ wenig Aufwand durchgeführt werden kann. Wir werden deshalb in der ersten Etappe nur versuchen in Höhen zu gelangen, aus der man zumindest die Kugelgestalt unseres Heimatplaneten anhand der Krümmung des Horizonts erkennen kann. Um diese Krümmung nachzuweisen, sind einige Voraussetzungen zu erfüllen. Wir benötigen einen erhöhten Standpunkt und die Horizontlinie sollte flach und nicht durch Berg- oder Hügelketten moduliert sein. Dazu kommt eine möglichst klare Sicht ohne Eintrübung, damit die Grenze Erde/Himmel klar definiert ist. Und schließlich brauchen wir ein weites Gesichtsfeld, damit das Absinken des Horizonts links und rechts vom höchsten Punkt in der Mitte deutlich hervortritt. Wendet man nur geometrische Überlegungen an, ergibt sich natürlich, dass sich praktisch bei jeder Position des Beobachters über dem Horizont dieser sich links und rechts krümmt. Bringt man aber einen Empfänger wie das menschliche Auge oder den Sensor einer Kamera ins Spiel, kann das Absinken des Horizonts erst ab einer gewissen Höhe registriert werden. Gerade bei Kameras sind dabei optische Bildfehler, die horizontale Linien verbiegen, auszuschließen. Wären alle Bedingungen optimal erfüllt – was in der Realität kaum vorkommt, sollte sich die Krümmung des Erdhorizonts dem menschlichen Auge ab einer Höhe von etwas mehr als 10 km präsentieren, einer absolut perfekten fotografischen Aufnahme gelänge dies womöglich schon aus etwas niedrigerer Distanz. Bei 10 km Höhe befindet sich der Horizont dabei in einer Entfernung von ungefähr 400 km.

Der Nachweis der Krümmung des Erdhorizonts war in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts tatsächlich ein Ziel wissenschaftlicher Expeditionen. Flugzeuge, die sich ständig in Höhen von 10 km bewegten waren noch selten. Weiter nach oben gelangte man nur mit gasgefüllten Ballonen. 1934 hatte sich die National Geographic Society

zusammen mit dem Vorgänger der amerikanischen Luftwaffe zum Ziel gesetzt, mit 24 km einen neuen Höhenrekord für Ballone aufzustellen. Der erste Versuch unter dem Namen Explorer I, gestartet aus dem Stratobowl, einer schüsselförmigen Senke in den Black Hills von South Dakota, misslang. Trotz Verlust des Ballons und Absturz der Gondel konnte sich die Besatzung sicher retten. Ein zweiter Aufstieg, nun als Explorer II, gelang am 11. November 1935. Zur zweiköpfigen Besatzung gehörte Albert W. Stevens, einer der fähigsten Luftbildfotografen der damaligen Zeit. Explorer II erreichte die Rekordhöhe von 22 km. Unter den mitgeführten wissenschaftlichen Instrumenten befanden sich auch zwei Kameras, eine für den Blick nach unten, die andere seitlich zum Horizont. Infrarotmaterial garantierte eine bessere Durchsicht zum mehr als 500 km entfernten Horizont. Es entstanden erstmals Aufnahmen, die das Potenzial von Erddarstellungen aus großen Höhen erahnen ließen. Darunter ein Blick auf den mehr als 200 km entfernten Startplatz in den Black Hills und noch weiter dahinter der eindeutig gekrümmte Erdhorizont. Dieses Foto erfuhr eine weite Verbreitung – 1936 erschien es als 43 × 61 cm große Beilage zur Mai-Ausgabe des National Geographic Magazins. Auch weil der Aufstieg von Explorer II gut vorbereitet und dokumentiert war, gilt diese Darstellung als erster unzweifelhafter Nachweis der Erdkrümmung.

Zwanzig Kilometer über der Erde bewegt man sich bereits in der Stratosphäre. Man hat den größten Teil der Masse der Atmosphäre hinter sich gelassen und beim Blick nach oben fällt der tiefblaue, fast schwarze Himmel auf. Es beginnt der Bereich des „Near Space“ – übersetzt etwa „Nahe am Weltraum“, der sich bis 100 km Höhe erstreckt. Dieser Wert definiert die obere Grenze der Atmosphäre und den Übergang zum Weltraum. In der Realität reicht unsere Lufthülle natürlich noch weiter, aber bei 100 km ist sie bereits so dünn, dass ein Flugkörper nicht mehr von aerodynamischen Kräften getragen werden kann. In den Jahren nach Explorer II rückte das

Interesse an immer größeren Ballonhöhen in den Hintergrund. Die aufkommende Raketentechnik versprach, in den Weltraum vorstoßen zu können und war damit weitaus attraktiver. Heute werden Stratosphärenballone aber weiterhin genutzt. Sie dienen dazu, wissenschaftliche Instrumente in große Höhen zu tragen, um dort beim Blick in den Weltraum der störenden Erdatmosphäre zu entgehen oder um unsere Lufthülle weit entfernt von der Erdoberfläche in ihren höheren Stockwerken zu untersuchen. Solche Ballonkampagnen sind heutzutage aufwändige Unternehmungen, genauso wie 1935 beim Start von Explorer II aus dem Stratobowl.

Man kann aber derartige Ballonausflüge in den „Near Space“ inzwischen sogar mit relativ wenig Aufwand betreiben. Alles was man dazu benötigt ist ein kleiner heliumgefüllter Wetterballon, eine Digitalkamera und ein GPS-Modul zum leichteren Auffinden der wieder niedergegangenen Nutzlast. Die Digitalkamera hängt gut geschützt am Ballon und belichtet in regelmäßigen Abständen während des Aufstiegs. Das Ergebnis sind Bilder, wie man sie fast von niedrigfliegenden Satelliten kennt: ein schwarzer Himmel über einer tief unten liegenden Erdoberfläche mit gekrümmten Rand. Mit solchen Experimenten begeistern inzwischen viele Schulen ihre Schülerinnen und Schüler für Naturwissenschaften.

Bemannte Ballonaufstiege gab es nach dem Erfolg von Explorer II weiterhin. Insbesondere

versuchte man, Fallschirmsprünge immer weiter in die Stratosphäre zu verlegen um zu untersuchen, wie potentielle Piloten auf diese extremen Bedingungen reagieren. Die beteiligten Personen ähnelten immer mehr Astronauten. Im August 1960 war Joseph Kittinger in 31 km Höhe aus einer Ballongondel ausgestiegen und mittels Fallschirm zur Erdoberfläche zurückgekehrt. Sein Rekord blieb bis 2012 bestehen, als Alex Baumgartner die Bestmarke um 8 km übertraf und nur zwei Jahre später gelang Alan Eustace ein Absprung aus fast 41.5 km. Automatische Kameras hielten diese Momente fest.

Auch Flugzeuge erreichen Höhen, die mit dem Rekord von Explorer II aus den 30-er Jahren des 20. Jahrhunderts vergleichbar waren. Zwanzig Jahre nach dem Start von Explorer II fand der Jungfernflug des US-amerikanischen Aufklärungsflugzeuges Lockheed U-2 statt. Es konnte bis zu einer Höhe von 27 km aufsteigen. In ähnlichen Regionen operierte auch das Nachfolgemodell Lockheed SR-71. Ziviler Natur sind dagegen die beiden von der amerikanischen Raumfahrtagentur NASA betriebenen zwei Lockheed ER-2 Höhenforschungsflugzeuge.

Es ist jetzt fast neunzig Jahre her, dass die erste Etappe in den „Near Space“ gelang. Vom gekrümmten Erdhorizont bis zu einer Erddarstellung aus dem äußeren Sonnensystem ist es aber noch ein weiter Weg. Zunächst muss die Schwerkraft der Erde überwunden werden.



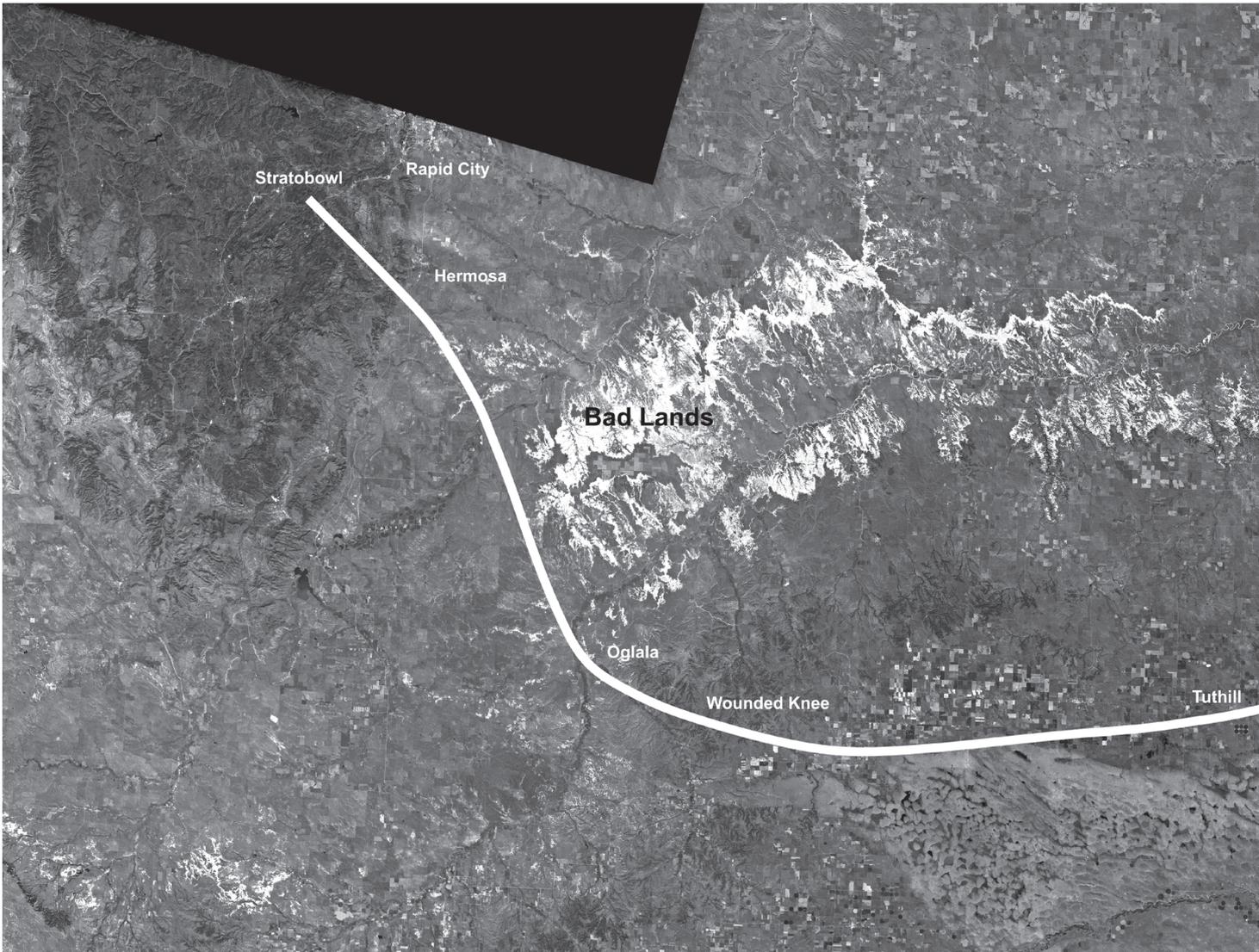
2 In dieser Ballongondel begann im November 1935 die Reise, die wir in *Die Erde – Raumreisen* bis weit ins Sonnensystem unternehmen werden. Die zweiköpfige Besatzung von Explorer II konnte durch kleine Fenster auf den Erdhorizont spähen, während die Kamera rechts neben der runden Ein- und Ausstiegs Luke in der Bildmitte nach draußen blickte und das in Abbildung 5 gezeigte Foto aufnahm. Mit einer zweiten Kamera wurde der Bereich direkt unterhalb der Gondel abgelichtet. (Foto: Smithsonian Air and Space Museum, CC0)



3 Ballonaufstiege in die Stratosphäre mit einfachen Mitteln gehören an manchen Schulen zu einem beliebten Experiment. Hier sieht man den Blick der Kamera aus 20 km Höhe, wie er Schülerinnen und Schülern des Münchner Luitpold-Gymnasiums im Mai 2019 gelang (oben). Der Ballon befand sich zum Zeitpunkt der Aufnahme über dem rechts unten sichtbaren Inn mit Blick nach Norden. Deutlich höher bewegte sich dagegen im Jahr 2014 ein Forschungsballon mit der Nutzlast *TELIS* in 36 km Höhe, der in Timmins in Kanadas Ontario gestartet war (unten). Seine Hauptaufgabe war, die Konzentrationen von Brom in der Stratosphäre zu messen. 2. Mai 2019 und 7. September 2014. (Fotos: Luitpold-Gymnasium und DLR)



4 Ein Ballonaufstieg im März 2017 vom Hohen Peißenberg in Bayern lieferte diese Fotos der Alpen aus einer Höhe von etwa 20 km. Oben geht der Blick nach Osten über den bayerischen Alpenrand mit Ammersee, Starnberger See sowie Chiemsee. Im unteren Bild reicht der Blick bis weit nach Österreich hinein. Die starke Krümmung des Erdhorizonts ist durch die Aufnahmeoptik bedingt. 27. März 2017 (Fotos: Team SatTec, LMU München)



5 Aus rechtlichen Gründen kann das Foto von Explorer II aus dem Jahr 1935 aus der Printausgabe, auf dem erstmals die Krümmung des Erdhorizonts sichtbar war, im E-Book nicht gezeigt werden. Stattdessen finden die Leserinnen und Leser des E-Books hier eine Darstellung der Bahn von Explorer II, beginnend mit dem Aufstieg im Stratobowl der Black Hills in South Dakota. Der Ballon driftete eine weite Strecke über South Dakota ostwärts. Seine Fahrt endete in der Nähe von Platte, wo er schließlich, mehr als 360 km östlich des Stratobowls, niederging. Der gesamte Flug dauerte 8 Stunden und 13 Minuten. Landsat-8, August 2023.





6 Ende 2014 stieg ein Forschungsballon über der Antarktis weit in die Stratosphäre. Die Kamera auf seiner Nutzlast blickte aus einer Höhe von 35 km nach unten auf das Ross-Schelfeis mit der Ross-Insel und dem Vulkan Mount Erebus. Am linken Bildrand erkennt man im Viktorialand dessen Trockentäler.