

ZURÜCK ZUM MOND

DER NÄCHSTE

GROSSE SCHRITT

FÜR DIE

MENSCHHEIT

JOSEPH SILK

© des Titels »Zurück zum Monde« von Joseph Silk (ISBN 978-3-95972-675-7)
2023 by FinanzBuch Verlag, Münchner Verlagsgruppe GmbH, München
Nähere Informationen unter: <http://www.finanzbuchverlag.de>

VORWORT

Woher kommen wir? Und sind wir allein im weiten Weltall? Das sind Fragen, die sich meines Erachtens nur mithilfe einer Mondplattform klären lassen. Wir brauchen eine neue, auf Wissenschaft und Forschung bezogene Vision für die Menschheit, die die Erkundung und Erschließung des Mondes begleitet. Für das Bestreben, das in den nächsten Jahrzehnten zusammen mit kommerziellen Unternehmen zu erwarten ist, wäre eine derartige Vision unendlich wertvoll. Die nötige Inspiration in Form einer Vision könnte es der Wissenschaft ermöglichen, klar definierte und überzeugende Ziele zu erreichen. Genau das ist das Anliegen dieses Buches. Projekte unter wissenschaftlicher Leitung werden die ultimativen Visionen der Astronomie und der Kosmologie begleiten, der ältesten Wissenschaften der Welt, die vor etwa 5000 Jahren ihren Anfang nahmen.

Die Erforschung des dunklen Zeitalters, das vor dem schwachen Leuchten des ersten Lichts im All liegt, ist die letzte große Herausforderung der Astronomie. Primordiale Wasserstoffwolken sind gleichermaßen Bausteine der Zukunft wie Zeugnisse der Vergangenheit. Die Radioastronomie, die mit sehr niedrigen Frequenzen arbeitet, ermöglicht es uns auf einzigartige Weise, diese Zeugnisse vom Anbeginn der Zeit einzufangen. Dazu müssen wir jedoch die Entschlossenheit aufbringen, Radioteleskope für niederfrequente Strahlung auf der Rückseite des Mondes zu installieren – dem Ort im inneren Sonnensystem mit der geringsten Radiostörstrahlung. Niederfrequente Radioantennen, die sich über weite Teile der Mondoberfläche erstrecken, könnten die Strahlung aus der dunkelsten Ära unserer kosmischen Geschichte einfangen und es uns ermöglichen, die Geheimnisse zu entschlüsseln, die im Anfang des Universums liegen.

Den Heiligen Gral der Astronomie verkörpert jedoch ein zusätzliches Ziel: die Suche nach Anzeichen außerirdischen Lebens über die Beobachtung von Planeten, die nahe Sterne umkreisen. Nur ein Megateleskop auf dem Mond kann die Signale der Tausenden und möglicherweise Millionen lebensfreundlichen Exoplaneten einfangen, die wir untersuchen müssen, um eine reelle Chance zu haben, auch die schwächsten Zeichen primitivster Formen außerirdischen Lebens zu entdecken und letztlich auch nach Spuren höher entwickelter Lebensformen zu suchen, die unsere eigenen Fähigkeiten übersteigen. Die Vorteile, die sich aus der Nutzung der Mondressourcen und dem Aufbau einer wissenschaftlichen Infrastruktur auf dem Mond ergeben, sind nicht zu unterschätzen.

Unsere Weltraumteleskope haben enorm vom NASA-Programm für bemannte Raumfahrt einschließlich der Entwicklung des Space Shuttles und des Aufbaus der Internationalen Raumstation (International Space Station, ISS) profitiert. Ein ähnlicher Effekt ist auch bei der Erschließung des Mondes zu erwarten. Eine funktionierende Infrastruktur auf dem Mond könnte die Kosten ansonsten nicht finanzierbarer Projekte senken, etwa die Suche nach Anzeichen fernen Lebens mithilfe von Megateleskopen, die bis zu hundertmal größer sind als optische Teleskope, die sich auf der Erde errichten lassen.

Der Mond ist vor etwa vier Milliarden Jahren aus einem gigantischen Zusammenstoß mit einem Himmelskörper von der Größe des Mars entstanden. Durch die Suche nach Bodenschätzen auf dem Mond können wir uns ein noch genaueres Bild von seiner Entstehung machen. Wir können in Regolith bohren, Mondgestein datieren und die Zusammensetzung des Gesteins in unterschiedlichstem Terrain untersuchen – nur so werden wir viele Erkenntnisse zum Mond sammeln und die Geschichte des Mondes rekonstruieren können. Das Wissen um die Ursprünge unseres nächsten Nachbarn wird Licht in das Dunkel um die Entstehung der Erde bringen. Und es gibt weitere Rätsel zu lösen, die uns letztlich Hinweise auf die Entstehung des Sonnensystems selbst liefern werden.

Die Erkundung des Mondes ist der erste ernsthafte Vorstoß der Menschheit ins All. Der Aufbau einer bewohnbaren Infrastruktur auf unserem nächsten Nachbarn wird das Tor zu einer neuen Ära der Welt-

raumforschung sein. Die Errichtung einer dauerhaften Präsenz auf dem Mond ist mit dem entsprechenden Zusammenspiel zwischen Mensch und Roboter technisch möglich. Ein derartiger Außenposten bietet uns eine einzigartige Ausgangsbasis für die weitere Suche nach außerirdischem Leben und die Erforschung der Anfänge des Universums. Diese Vision kann die nächsten fünfzig Jahre prägen, eine aufregende Zeit, in der sich die großen internationalen Raumfahrtbehörden einen Wettstreit um den für ihre Zwecke geeigneten Raum auf dem Mond liefern. Wir dürfen gespannt sein, was die Forschung aufdecken wird!

EINLEITUNG

EIN TRABANT MIT VERLOCKENDEM POTENZIAL

Ich meine, unsere Nation sollte es sich zum Ziel setzen, noch in diesem Jahrzehnt einen Menschen auf dem Mond landen zu lassen und wieder sicher zur Erde zurückzubringen.

John F. Kennedy, 1961

Die Rückkehr zum Mond ist ein wichtiger Schritt für unser Raumfahrtprogramm. Ein Außenposten auf dem Mond könnte die Kosten für die weitere Weltraumforschung erheblich senken und zunehmend ambitioniertere Missionen ermöglichen. Die Beförderung von schweren Raumfahrzeugen und Treibstoff aus dem Gravitationsfeld der Erde heraus ist kostspielig. Raumfahrzeuge, die auf dem Mond montiert und ausgerüstet werden, könnten das wesentlich schwächere Gravitationsfeld des Mondes mit weitaus weniger Energie und zu deutlich geringeren Kosten verlassen. Außerdem ist der Mond reich an Ressourcen. Unter der Mondoberfläche liegen Rohstoffe, die abgebaut und zu Raketentreibstoff und Atemluft verarbeitet werden könnten. Wir können unsere Zeit auf dem Mond nutzen, um neue Ansätze, Technologien und Systeme zu entwickeln und zu testen, die uns helfen, in anderen, noch schwierigeren Umgebungen zurechtzukommen. Der Mond ist ein logischer Schritt auf dem Weg zu weiterem Fortschritt und Erfolg.

George W. Bush, 2004

Die silbrig-weiße Scheibe am Himmel hat die Menschheit seit jeher fasziniert. Der Mond treibt die Gezeiten an, und auf einer eher gefühlsbezogenen und weniger materiellen Ebene ist er eine Quelle der Inspiration, des Staunens und sogar des Wahnsinns. Als Vollmond leuchtet er im reflektierten Sonnenlicht, als Neumond reflektiert er den matten Erdschein. Er besitzt keine Atmosphäre und es gibt kein Leben auf dem Mond. Auf seiner Oberfläche sind Krater, Berge, Hochlandregionen und Tiefebenen sowie Relikte von Einschlägen und Lavaströmen zu erkennen. Die Meteoriten und Asteroiden, deren Einschlägen der Mond seit Jahrmilliarden ausgesetzt ist, haben seine Oberfläche geformt. Geblieben ist eine verwitterte Landschaft, die von der langen Geschichte des Mondes mit Kollisionen und Vulkanausbrüchen erzählt. Spuren menschlicher Aktivitäten sind selten und weit verstreut. Sie beschränken sich auf vereinzelte Landeplätze. Das dürfte sich in den nächsten Jahrzehnten ändern, wenn Erkundung und Erschließung des Mondes Fahrt aufnehmen.

Als unser nächster Himmelskörper nimmt der Mond eine Sonderstellung ein. Seit jeher gibt er Anlass zu Spekulationen über die Möglichkeit außerirdischen Lebens. Aus jahrzehntelanger Mondforschung wissen wir, dass der Mond alles andere als einladend ist, aber der Mensch hat gelernt, Umgebungen seinen Bedürfnissen anzupassen. Die Chancen stehen gut, dass in den nächsten Jahrzehnten Mondsiedlungen gebaut werden.

Ein halbes Jahrhundert nach Neil Armstrongs großem Schritt für die Menschheit hat ein neuer Wettlauf ins All begonnen. Um den Weg für die Zukunft bemannter Raumflüge zum Mond zu ebnen, wurden zahlreiche Mondlandungen durchgeführt. Gegenwärtig plant die NASA in Zusammenarbeit mit den Raumfahrtbehörden Europas (ESA), Japans (JAXA) und Kanadas (CSA) den Aufbau einer als Lunar Gateway bezeichneten Raumstation im Mondorbit, die als Koordinationszentrum für die Erschließung des Mondes und als Startbasis für die Erkundung des Sonnensystems dienen soll. Die internationalen Raumfahrtbehörden planen die Errichtung von bewohnbaren Mondsiedlungen. Es gibt zudem Pläne, kommerzielles Interesse zu fördern, um luxuriöse Hotelanlagen

zu errichten. Angesichts des zunehmenden Mangels an Metallen der seltenen Erden und Halbleitermaterialien wird auch der Abbau von Rohstoffen auf dem Mond in Betracht gezogen. Und nicht zuletzt werden wir mit auf dem Mond erzeugtem Raketentreibstoff viel tiefer in das Sonnensystem vordringen können.

Die für die Erkundung des Mondes errichteten bewohnbaren Anlagen werden die Erschließung von Mondressourcen ermöglichen und dazu beitragen, das nächste große Kapitel in der interplanetaren Forschung zu realisieren, das uns zum Mars und tiefer in den Weltraum führen wird.

Wenn sich unsere Annahmen über die Ursprünge des Mondes erst einmal bestätigt haben, wird die Geologie des Mondes uns dabei helfen zu verstehen, wie die Urerde entstanden ist. Die führende Theorie geht von einer gewaltigen Kollision mit einem Himmelskörper von der Größe des Mars aus, die sich vor etwa 4,5 Milliarden Jahren ereignet hat. Dabei wurden Gesteinsbrocken ins All geschleudert, die sich nach und nach zum Mond verdichteten. Durch die Kollision wurde vermutlich auch die Rotationsachse der Erde verändert. Dieser um 23,5 Grad gekippten Achse verdanken wir die Jahreszeiten und einen Schutz vor extremen Klimaschwankungen. Die Suche nach Bodenschätzen auf dem Mond wird unser Wissen über die Entstehung des Mondes vertiefen und darüber hinaus sogar zu neuen Erkenntnissen über die Entstehung der Erde und sogar des Sonnensystems führen.

Für alle, die davon träumen, die Erde hinter sich zu lassen, ist der Mond das erste Ziel. Nur etwa 400 000 Kilometer von uns entfernt ist er bereits in drei Tagen zu erreichen. Und zumindest im Moment ist der Mond noch nahezu unberührtes Gelände.

Seitdem der letzte Mensch einen Fuß auf den Mond gesetzt hat, ist ein halbes Jahrhundert vergangen. Nach der Ära der gigantischen Saturn-V-Raketen wurde die bemannte Erforschung des Mondes abrupt eingestellt. Aufgrund kommerzieller und internationaler Interessen werden jedoch allmählich wieder Startressourcen bereitgestellt, und mehrere Länder arbeiten an der Entwicklung von Trägerraketen für ultraschwere Lasten. In wenigen Jahren werden die Weichen für eine neue Phase der bemannten Monderkundung gestellt sein.

Mondmissionen waren immer vom Stand des Raumfahrt- und Weltraumforschungsprogramms und vor allem von den bereitgestellten Haushaltsmitteln abhängig. Heute erleben wir einen Stimmungswandel in der Politik, und die internationalen Raumfahrtbehörden setzen neuerdings in verschiedener Hinsicht große Erwartungen in ihre Mondprojekte. Die meisten Vorhaben sind kommerziell orientiert, einige sind jedoch rein wissenschaftlicher Natur. Für Wissenschaft und Forschung sind das gute Nachrichten, denn die geplanten Aktivitäten auf dem Mond dürften neue Möglichkeiten für die Erkundung des Universums eröffnen.

Die unwahrscheinliche Verkettung von Ereignissen, die zur Entstehung des Mondes geführt haben, lässt vermuten, dass Leben, wie wir es auf der Erde kennen, im Universum sehr selten ist. Die Wahrscheinlichkeit derartig spezieller Konstellationen lässt sich jedoch erst abschätzen, wenn wir gezielt nach ihnen suchen. Und der Mond könnte der ideale Ausgangspunkt für unsere Suche im nahen Universum sein.

Die ersten zaghaften Schritte eines Kleinkinds markieren den Übergang in die nächste Phase der menschlichen Entwicklung. Einen ähnlichen Übergang in der biologischen Evolution stellen die ersten Vertreter des *Homo sapiens* dar, dessen Entwicklung bis hin zum modernen Menschen etwa 200 000 Jahre dauerte. Aus kosmischer Perspektive ist das eine so kurze Zeitspanne, dass sich dieser Prozess in den vergangenen Milliarden Jahren auch an anderen Orten in unserer Galaxie abgespielt haben könnte. Wie wahrscheinlich das ist, lässt sich jedoch schwer abschätzen. Dafür sind die biologischen Vorgänge einfach zu komplex. Die einzige Möglichkeit, die uns bleibt, ist die Suche nach ähnlichen Entwicklungen im Kosmos.

Der Mond bietet uns die Möglichkeit, mithilfe der entsprechenden Infrastruktur in Kombination mit außergewöhnlich leistungsfähigen Teleskopen neue Wege in der Weltraumforschung zu beschreiten. Mit Sicherheit werden sich auf dem Trabanten Standorte finden lassen, von denen aus Sonden zur Erkundung des Sonnensystems gestartet werden können. Weltraumbahnhöfe auf dem Mond und im Mondorbit sind für Schwerlastträgersysteme von entscheidender Bedeutung. Bemannte Raumflüge zur Erkundung des Sonnensystems sind von der Erde aus realistisch

gesehen nicht durchführbar: Die Kosten für den Treibstoff zum Überwinden der Erdanziehungskraft sind zu hoch. Der Mond wird einen praktisch unbegrenzten Nachschub an lokalem Treibstoff liefern, wie er für Erkundungsflüge im Sonnensystem benötigt wird. Die Errichtung einer permanenten Mondbasis wird der erste zaghafte Schritt der Menschheit auf dem Weg zu den Sternen sein.

Langfristig werden sich auch Wege für die interstellare Erkundung finden. Ob durch Kryokonservierung oder gentechnische Wiedergeburt, die hundertjährige Reisezeit zu den nächsten Sternen wird für künftige Generationen von Astronauten kein Hindernis mehr darstellen. Sobald Computer dem menschlichen Gehirn an Leistungsfähigkeit weit überlegen sind, wird die Grenze zwischen Mensch und Maschine zunehmend verschwimmen. Die Rechenleistung scheint derzeit aufgrund immer neuer Entwicklungen ins Unermessliche zu wachsen. Es wäre töricht, jetzt vorschnell rote Linien in unserem Denken zu ziehen, die unseren zukünftigen Möglichkeiten im Hinblick auf Erforschung und Besiedlung des Weltalls Grenzen auferlegen.

Die geringe Anziehungskraft auf der Mondoberfläche wird den Aufbau bewohnbarer Anlagen erleichtern. Bereits jetzt wird am Entwurf von Gebäuden gearbeitet, die in der Nähe des Südpols auf dem Mond errichtet werden könnten. Dort liegt das schattige Innere der zahllosen tiefen Krater in permanenter Dunkelheit. An den Polen sind die Krater vor Sonnenlicht geschützt, da die Sonne durch ihren niedrigen Stand nicht über den Kraterstand steigt. Die Temperaturschwankungen fallen an den Polen geringer aus als am Äquator des Mondes, an dem die Temperaturen zwischen minus 180 Grad Celsius und plus 130 Grad Celsius liegen. Die permanent beschatteten Krater enthalten große Mengen an Eis.

Am Boden der Krater führt die ständige Beschattung zu konstanten Temperaturen um minus 200 Grad Celsius. Zum Vergleich: Die kälteste jemals auf der Erde gemessene und aufgezeichnete Oberflächentemperatur beträgt minus 90 Grad Celsius und wurde an der Wostok-Station in der Antarktis gemessen, während die höchste Temperatur mit rund 70 Grad Celsius im Death Valley in Kalifornien aufgezeichnet wurde. Die Temperaturen auf dem Mond erlauben den Einsatz von Robotern;

Menschen könnten sich dagegen nur mit entsprechenden Schutzvorrichtungen auf dem Mond aufhalten. Energiequellen für lokales Heizen und Kühlen stehen bereit. Die Ränder der Krater werden fast ununterbrochen von der Sonne beschienen und liefern in den langen Mondnächten einen unerschöpflichen Vorrat an Sonnenenergie.

Der nächste Schritt könnte die Einrichtung von bewohnbaren, über die Mondoberfläche zugänglichen Stationen in den breiten Lavaröhren sein. Diese Kavernen bieten möglicherweise sogar genug Raum für ganze Städte und einen natürlichen Schutz vor lebensbedrohlichen, durch die Sonne ausgelösten Prozessen. Städte in großen Lavaröhren hätten den Vorteil, dass sie vor Meteoriteneinschlägen geschützt sind und die gelegentlich auftretenden heftigen Sonneneruptionen und das Bombardement durch Mikrometeoriten unbeschadet überstehen.

Der Abbau von Rohstoffen auf dem Mond könnte einen unbegrenzten Vorrat an seltenen Erden sicherstellen. Durch einen robotergestützten Abbau und die Entsorgung giftiger Abfälle im All ließe sich die mit dem Abbau verbundene Umweltbelastung in Grenzen halten.

Durch die Möglichkeit zur lokalen Treibstoffherzeugung sind der Mond und der Weltraum zwischen Mond und Erde hervorragend als zukünftige Abschussbasen für interplanetare Raumsonden geeignet. Für die Treibstoffherzeugung ist eine Extraktion von flüssigem Wasserstoff und Sauerstoff geplant. Diese Komponenten könnten aus Eisablagerungen in den kalten Kratern an den Polen gewonnen werden.

Um von all diesen geplanten Vorhaben profitieren zu können, müssen Forschung und Wissenschaft als ein entscheidendes Ziel bei der Erkundung des Mondes gefördert werden. In dieser einzigartigen Umgebung, deren geringe Anziehungskraft und fehlende Atmosphäre Projekte in einer Größenordnung ermöglichen, die auf der Erde undenkbar ist, können wir viel über die Entstehung des Mondes und die Entstehung des Sonnensystems lernen.

Die Lebensbedingungen auf der Erde verschlechtern sich rapide. Erd erwärmung, Pandemien, Umweltzerstörung, Ressourcenverknappung, Überbevölkerung und Kriege fordern ihren Tribut. Da liegt es nahe, sich anders zu orientieren. In den vergangenen Jahrhunderten hat Europa die

Grenzen seines Einflussbereichs nach Afrika, nach Amerika und darüber hinaus verschoben – mit fatalen Folgen für die ursprünglichen Bewohner. Früher oder später werden wir gezwungen sein, nach lohnenden Zielen außerhalb der Erde zu suchen. Der Mond ist nicht der ideale Ort für eine Besiedlung mit hoher Bevölkerungsdichte, aber er kann der Menschheit als Vorposten dienen, um sich auf eine Zukunft mit beispiellosen Erkundungsmöglichkeiten und auf die Folgen potenziell verheerender Katastrophen vorzubereiten.

Angesichts des kommerziellen Hintergrunds stehen die Chancen gut, dass auf dem Mond auch erhebliche Mittel für die Forschung bereitgestellt werden. Die Vorteile von Mondteleskopen liegen auf der Hand. Die Kosten sind überschaubar, die neuen Perspektiven, die sich für die Forschergemeinschaft ergeben, sind jedoch immens wertvoll. Unterstützt von Robotern können Menschen Mondteleskope von bisher nicht gekannter Größe und Empfindlichkeit bauen, deren Leistungsfähigkeit die sämtlicher erdgebundener und weltraumgestützter Plattformen übertrifft. Aufgrund der fehlenden Atmosphäre beziehungsweise Ionosphäre sind auf der Mondoberfläche stabile Plattformen für neue Generationen von Riesenteleskopen vorstellbar, die tief in die entlegensten Winkel des Universums blicken und auch Bilder von nahen Planetensystemen liefern können.

Eine der grundlegendsten Fragen in Bezug auf das Universum ist, ob wir allein im Universum sind. Wenn Leben im Universum verbreitet ist, warum sind wir dann noch nicht auf Außerirdische gestoßen? Es gibt Milliarden erdähnlicher Planeten in unserer Galaxie und wir wissen, dass etwa 50 Prozent von ihnen älter als die Erde sind, da ihre Zentralgestirne Milliarden Jahre vor unserer Sonne entstanden sind. Allerdings sind unsere Teleskope derzeit noch zu klein, um diesen potenziell riesigen Schatz an Informationen zu anderen Planeten auch nur annähernd zu heben. Wir wissen, wonach wir suchen müssen: nach dem reflektierten Glitzern von Ozeanen, dem grünen Schimmer von Wäldern, dem Vorhandensein von Sauerstoff in der Atmosphäre und nach komplexeren und subtileren Anzeichen für intelligentes Leben wie einer (hoffentlich vorübergehenden) industriellen Verschmutzung der Atmosphäre eines Planeten.

KAPITEL 1

DER NEUE WETTLAUF INS ALL

[Die Raumfahrt] wird den Menschen von seinen restlichen Fesseln befreien, den Fesseln der Schwerkraft, die ihn immer noch an diesen Planeten binden. Sie wird ihm die Tore des Himmels öffnen.

Nach Wernher von Braun

Das ultimative Ziel der Raumfahrt ist es, der Menschheit nicht nur wissenschaftliche Entdeckungen und gelegentlich eine spektakuläre Show im Fernsehen zu liefern, sondern auch eine echte Erweiterung unseres Geistes.

Freeman Dyson

DAS LETZTE HALBE JAHRHUNDERT

Im Jahr 1961 beschloss der US-amerikanische Präsident John F. Kennedy, dass die National Aeronautics and Space Administration (NASA) bis zum Ende des Jahrzehnts Menschen auf den Mond bringen sollte. Seine Entscheidung war nicht zuletzt eine Reaktion auf den ersten Flug im All um die Erde durch den sowjetischen Kosmonauten Juri Gagarin. Die Vereinigten Staaten mussten dem etwas entgegensetzen. Die Sowjets

hatten bereits einen Vorsprung bei der Planung einer Raumstation und Erdumrundungen im All. Eine bemannte Landung auf dem Mond war der am ehesten durchführbare Schritt, den die Vereinigten Staaten machen konnten, um ihre Überlegenheit im Weltall zu bestätigen. Überdies waren Fragen der nationalen Sicherheit ganz gewiss ein Faktor bei der Entscheidung des Präsidenten.

Kennedy nahm den Fehdehandschuh ein Jahr später, am 12. September 1962, in einer Rede an die Nation auf:

Wir haben uns entschlossen, noch in diesem Jahrzehnt zum Mond zu fliegen und noch vieles andere zu tun, nicht weil es leicht ist, sondern weil es schwer ist; weil dieses Ziel dazu dienen wird, das Beste unserer Tatkraft und Fähigkeiten zu organisieren und zu messen, weil wir diese Herausforderung bereitwillig annehmen, nicht aufschieben möchten und vorhaben zu gewinnen.

Und damit begann das Apollo-Programm, das 1963 vom Kongress genehmigt wurde, um amerikanische Astronauten auf den Mond zu schicken. Kennedy erlebte tragischerweise nicht mehr, dass sein Versprechen an die Nation wahr gemacht wurde.

Etlliche amerikanische Präsidenten hatten schon vor Kennedy großen Wert auf die Weltraumforschung gelegt. Dwight Eisenhower reagierte als Erster auf den überraschenden Start von Sputnik im Jahr 1957 durch die Sowjets. Er beschloss, die US-amerikanische Weltraumforschung einer zivilen Behörde zu unterstellen. Der Öffentlichkeit versicherte er zwar, dass Sputnik »nur ein kleiner Ball in der Luft« sei, sorgte aber dennoch dafür, dass ein Jahr später die NASA gegründet wurde. Die Entwicklung von Raumfahrzeugen und Startvorrichtungen wurde organisiert. Das Mercury-Programm wurde ins Leben gerufen, um die Machbarkeit bemannter Flüge in erdnahe Umlaufbahnen als Vorläufer für einen tieferen Vorstoß ins All zu prüfen. Das Programm erreichte mit den ersten bemannten Suborbitalflügen, also nicht vollständigen Erdumkreisungen, seinen Höhepunkt.

Als Eisenhower 1958 die NASA gründete, wurde der Wettlauf ins All eröffnet. Bemannte Erdumkreisungen gaben das Tempo für menschliche

Reisen ins Weltall vor. Im Jahr 1961 war Juri Gagarin der erste Mensch im Weltall, als sein Raumschiff Wostok rund 108 Minuten brauchte, um die Erde einmal zu umkreisen, bevor es mit einem Fallschirm in der Sowjetunion landete. Kaum einen Monat später folgte der erste suborbitale Weltraumflug eines Amerikaners, Alan Shepard, in einer Mercury-Kapsel, die nur 15 Minuten in der Luft blieb.

Wie der Weltraumpionier Wernher von Braun damals sinngemäß prognostizierte: Um Schritt zu halten, müssen die USA wie der Teufel rennen.

Wenig später folgten von Mercury unterstützte Orbitalflüge. Die Mercury-Missionen führten zu bemannten Erdumkreisungen. Der erste Flug umfasste im Jahr 1962 drei Erdumkreisungen durch John Glenn, der später 25 Jahre als Senator für Ohio dienen sollte. Im Jahr 1963 erreichte das Programm mit einem Flug über 24 Stunden durch den Astronauten Gordon Cooper einen Höhepunkt. Darauf folgte 1965 und 1966 die Raumsonde Gemini, die zwei Astronauten in eine erdnahe Umlaufbahn für längere Weltraummissionen beförderte. Die Menschheit bereitete sich darauf vor, über die Erde hinaus zu reisen.

Die Vereinigten Staaten waren entschlossen, die Sowjetunion einzuholen und zu überholen, und der Mond war eindeutig das nächste Ziel. Eisenhower zögerte jedoch, bei der Raumfahrt mit der Sowjetunion zu konkurrieren. Erst als Präsident Kennedy im Jahr 1961 die Herausforderung aussprach, begann der Wettlauf ins All richtig. Sein Ziel war klar: die Landung von Menschen auf dem Mond. Bis zu Kennedys Eingreifen, das zur Gründung des Apollo-Programms führte, war der Mond ein ferner Traum für bemannte Missionen geblieben.

Selbstverständlich machten Weltraumflüge von Robotern auf den Mond den Anfang. Die Sowjetunion startete die erste Reihe robotergestützter Mondlandungen, die Serie Luna, die von 1959 bis 1976 lief. Insgesamt gab es sieben weiche Luna-Landungen. Das sowjetische Raumfahrtprogramm gipfelte zum großen Teil deshalb nicht in bemannten Landungen, weil die Sowjets es versäumten, rechtzeitig ein Raumschiff für schwere Lasten zu entwickeln, um mit der NASA zu konkurrieren. Die sowjetische Raumfahrtbehörde hatte mit einem großen Vorsprung

bei erdnahen Orbitalflügen begonnen, konnte jedoch mit den Apollo-Landungen von 1969 bis 1972 nicht mithalten. Als die technische Kluft zwischen den beiden Ländern wuchs, wurden politische Überlegungen in der Sowjetunion wichtiger. Ihr bemanntes Mondprogramm wurde im Jahr 1974 eingestellt.

Die bemannten Mondmissionen der USA erfolgten in mehreren Phasen. Zuerst wurde eine Reihe von Robotermissionen ausgeschiedt, um das Projekt vorzubereiten. Das Mondprogramm Ranger der NASA begann 1961 mit einem Raumschiff, das mit Fernsehkameras ausgestattet war, um mögliche Landstellen zu erkunden. Nach einer Reihe gescheiterter Mondlandungen wurde es fünf Jahre später durch das Mondprogramm Surveyor abgelöst. Dieses Raumschiff landete weich auf dem Mond und untersuchte die Zusammensetzung seiner Oberfläche. Noch im selben Jahr begann der Start einer neuen Reihe von Mondsonden, um nach möglichen Landeplätzen für künftige bemannte Missionen zu suchen.¹

Das Apollo-Programm feierte 1969 mit den ersten bemannten Mondlandungen einen großen Triumph. Alle Apollo-Landungen erfolgten mit Saturn-V-Startraketten. Das dreistufige Raumfahrzeug vom Typ Saturn-V war 110 Meter hoch und hatte ein Gesamtgewicht von fast 3000 Tonnen. Über 90 Prozent des Gewichts machte der flüssige Treibstoff aus. Die dritte Stufe wurde von einer erdnahen Umlaufbahn aus gezündet und kapultierte die Raumkapsel Apollo zum Mond. Sie hatte eine 50 Tonnen schwere Fracht an Bord, darunter die Mondfähre. Außerdem gehörte das Kommandomodul dazu, das in einer Mondumlaufbahn blieb, um die Astronauten sicher zur Erde zurückzubringen. Der Höhepunkt der ersten Phase der bemannten Mondforschung war die Landung von Apollo-11 im Jahr 1969 im Mare Tranquillitatis (lateinisch für »Meer der Ruhe«). Neil Armstrong und Buzz Aldrin vollführten vor einem weltweiten Publikum die ersten Mondspaziergänge.

Insgesamt landeten sechs bemannte Apollo-Missionen auf dem Mond. Jede beförderte drei Astronauten gut 384 000 Kilometer durch das Weltall und brachte sie sicher wieder zurück. Auch wenn die Vereinigten Staaten die Mondforschung noch jahrzehntelang dominierten, wurde das Pro-

gramm bemannter Mondlandungen nach nicht einmal vier Jahren beendet. Die letzte bemannte Mission zum Mond fand 1972 statt. Saturn-V flog 1973 zum letzten Mal, als sie die Rakete Skylab auf eine Umlaufbahn brachte, einen Vorläufer zur ISS.

Die Bahn von Skylab nahm langsam ab, und im Jahr 1979 löste sich die Raumstation beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre auf. Der Hagel von Trümmern erstreckte sich über den Westen Australiens und Teile des Indischen Ozeans. Der Nachfolger, die ISS, sollte erst im Jahr 1998 in eine erdnahe Umlaufbahn gebracht werden. Die ISS zeichnet eine noch heute anhaltende internationale Zusammenarbeit aus. Russland startete das erste Modul der ISS von Baikonur in Kasachstan aus auf einer Rakete vom Typ Proton, und Monate später unternahm die Sonde Endeavour, das fünfte und letzte Raumschiff des NASA-Programms Space Shuttle, den ersten bemannten Flug zur ISS. Aufenthalte über einen längeren Zeitraum begannen im Jahr 2000.

Das Apollo-Programm hatte mit sechs erfolgreichen Mondlandungen von Astronauten seinen Höhepunkt erreicht, doch die Unterstützung für das Programm hielt nicht an. Lyndon Johnsons Programm »Great Society« hatte Vorrang vor den Ausgaben für die Raumfahrt, zumindest was die bemannte Mondforschung anging. Somit ließ sich das riesige Budget für Weltraumforschung nicht rechtfertigen. Mit dem Ende der Ära schwerer Trägerraketen erwies sich Saturn-V als ein zu heikles und kostspieliges Projekt, um es weiterzuverfolgen. Nichtsdestotrotz hatten die Vereinigten Staaten nur zwölf Jahre nach der Erdumkreisung durch Sputnik, knapp 500 Kilometer über der Erde, den Wettlauf zum Mond gewonnen.

RÜCKKEHR ZUM MOND

Heute forcieren die großen Raumfahrtbehörden die Rückkehr zum Mond. Sie werden jahrzehntelang die Oberfläche untersuchen und wollen anschließend zur Nutzung der Ressourcen übergehen. Werden die damit verbundenen enormen Kosten das Mondforschungsprogramm behindern oder einschränken? Sind wissenschaftliche Projekte zum Scheitern

verurteilt, sollte es zu Kürzungen bei der staatlichen Finanzierung kommen? Werden militärische Vorrechte den Ausschlag geben? Kommerzielle Ziele werden vermutlich überwiegen, und die Mondforschung wird unweigerlich darunter leiden, aber hier ist das letzte Wort noch nicht gesprochen. Der Raum auf der Mondoberfläche ist zwar begrenzt, zumindest die Plätze mit der für große Teleskopprojekte nötigen Qualität, doch der verfügbare Raum müsste ausreichen.

Dank der internationalen Konkurrenz um Bodenschätze werden nunmehr ernsthaft Pläne für die Rückkehr auf den Mond in Betracht gezogen.² Nach einer optimistischen Perspektive dieses Wettbewerbs werden Wissenschaft und Aktivitäten wie Weltraumtourismus und Bergbau gemeinsam die lunaren Ressourcen nutzen, und die Wissenschaft wird letztlich von der dafür erforderlichen Infrastruktur profitieren. Damit es zu dieser Komplementarität kommt und damit die unberührte Mondumgebung erhalten bleibt, sind internationale Abkommen jedoch unerlässlich.

Ein US-Präsident nach dem anderen rühmte zwar den Wert der Erforschung des Weltalls, beschränkte sich jedoch auf robotergestützte Unternehmungen, die das Sonnensystem erkundeten. Die Kosten waren das alles beherrschende Thema. Die Lage sollte sich erst ändern, als eine ernst zu nehmende internationale Konkurrenz auf die Bühne trat. Mit dem Mitbewerber China werden nunmehr wiederum militärische Überlegungen angestellt, doch vorerst liegen sie auf Eis, weil kommerzielle Aspekte überwiegen. Das enorme Interesse an Weltraumtourismus und lunaren Bergbauprojekten mag futuristisch erscheinen, es könnte am Ende aber durchaus heißen: Wer zuerst kommt, mahlt zuerst.

In dem Jahrzehnt nach den Apollo-Jahren gab es einen Moment echter internationaler Zusammenarbeit. Das Space Shuttle wurde während der Regierung Nixon entwickelt. Im Jahr 1984, unter Ronald Reagans Führung, begann dann die Planung und Konstruktion einer Raumstation in einer Umlaufbahn um die Erde. Deren Vollendung sollte über ein Jahrzehnt dauern.

Als die Kosten Anfang der 1990er-Jahre überhandnahmen, musste die neu angetretene Regierung von Bill Clinton und Al Gore eine schwierige Entscheidung treffen. Um das NASA-Budget zu schonen, beschlossen

sie, neue Partner ins Boot zu holen, und somit wurde die neue Raumstation zur International Space Station. Sowjetische und NASA-Astronauten teilten sich die Besatzung und die Transportkosten, und andere internationale Behörden, die Ambitionen in der Raumfahrt hegten, schlossen sich als Partner an, darunter Behörden in Europa, Kanada und Japan. Die erste gemeinsame amerikanisch-russische Besatzung lebte im Jahr 2000 in der ISS, und seither war sie ständig bemannt.

Doch die ISS, die auf einer erdnahen Umlaufbahn kreist, muss irgendwann abgelöst werden. Sie war schon immer ein hervorragendes Laboratorium für die Ausbildung von Astronauten auf fernere Weltraumabenteuer. Nach dem Auslaufen des Space-Shuttle-Programms im Jahr 2011 leistete die NASA einen Beitrag zur Wartung der Raumstation, indem sie Räume auf dem russischen Raumschiff kaufte. Damals wurden neue Pläne ausgearbeitet, und die Vereinigten Staaten hatten wiederum großartige Ambitionen. Präsident George W. Bush hatte im Jahr 2004 angekündigt, dass das bemannte Raumfahrtprogramm der NASA »mit der Rückkehr von Menschen auf den Mond bis zum Jahr 2020« starten werde, »zur Vorbereitung auf die bemannte Erkundung des Mars und anderer Ziele«.³

Unter aufeinanderfolgenden US-Regierungen ist der Zeitplan für die bemannte Raumfahrt immer wieder verlängert worden. Und als sich realistische Einschätzungen durchsetzten, galt dies auch für den Zeitplan für jeden Zielort jenseits des Mondes. Mit der Entwicklung kommerzieller Raumschiffe ist nunmehr ein gravierender Wandel eingetreten. Elon Musks Falcon 9 von der Firma SpaceX dockte als erstes kommerzielles Raumschiff an der ISS an. Der Einsatz eines Versorgungsraumschiffs mit Vorräten und Experimenten im Umfang von 3 Tonnen folgte wenig später. Das bemannte Raumschiff Dragon beförderte im November 2020 vier Astronauten zur ISS. Die kommerzielle Nutzung der bemannten Raumfahrt hat inzwischen begonnen, und kommerzielle Missionen zum Mond werden mit Sicherheit folgen.

Gleichzeitig hat China Pläne für den Bau einer neuen Raumstation in einer erdnahen Umlaufbahn angekündigt. Das ist keineswegs das einzige Ziel Chinas. Seine Nationale Raumfahrtbehörde strebt, neben anderen Mondprojekten, einen bemannten Außenposten auf dem Mond an.

Um nicht überholt zu werden, erklärte US-Präsident Donald Trump, die nächsten US-Astronauten, die abheben, würden zu unserem felsigen Trabanten fliegen. Im Jahr 2021 billigte sein Nachfolger Joe Biden das Programm Artemis der NASA, das den Betrieb einer umkreisenden

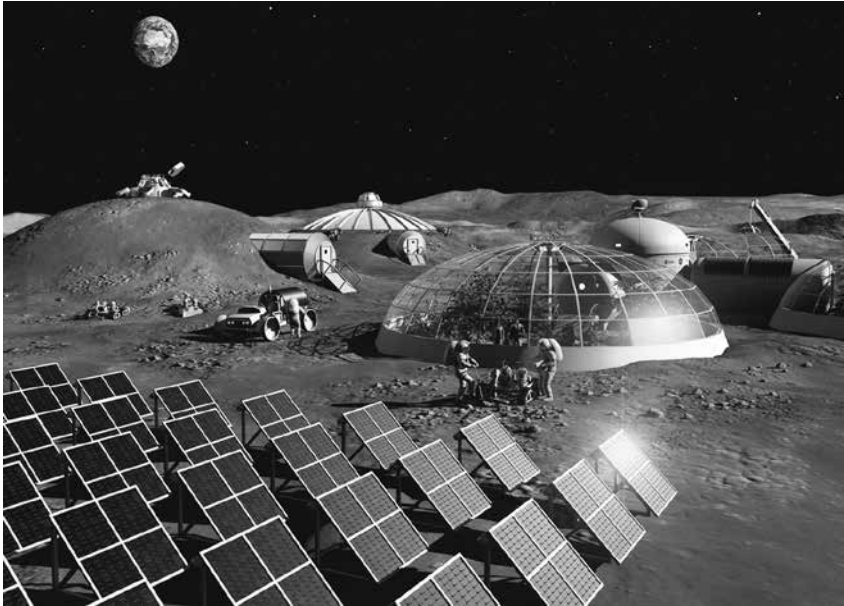


Abbildung 1: Wie Licht, Wasser und Aufbauten auf dem NASA-Basislager Artemis auf dem Mond beschafft werden. Amerikanische Astronauten werden ihre ersten Schritte in der Nähe des Südpols des Mondes machen, einer Region, wo es ewiges Sonnenlicht, eine extreme Kälte, gleichzeitig aber dunkle Stellen und gefrorenes Wasser gibt. Der nächste Sprung der NASA in den interplanetaren Raum wird von dort aus angetrieben, möglicherweise bereits 2026. Die Bauarbeiten werden über den Einsatz von Mondautos mit 3-D-Druckern geleistet, aus Solarzellen wird Energie gewonnen, und Lebensmittel werden in Treibhäusern produziert werden.

Bildnachweis: Bild von P. Carril, European Space Agency, »ESA Opens Oxygen Plant – Making Breathable Air out of Moondust«, 17. Januar 2020, <https://sci-techdaily.com/esa-opens-oxygen-plant-making-breathable-air-out-of-moondust/>.