

Arne Sönnichsen

Raumfahrt und Politik

Titelbild: Astronaut Bruce McCandless II schwebt ohne Sicherungsleine aber mit dem Raketenrucksack MMU ungesichert während einer Außenbordaktivität der 41B-Mission einige Meter von der erdumkreisenden Raumfähre Challenger entfernt. McCandless war damit der erste Mensch, der völlig frei im Welt- raum schwebte, 1984. Foto: NASA S84-27562

Dr. Arne Sönnichsen ist promovierter Politologe und Experte für internationale Raumfahrt- und Technologiepolitik sowie für Science-Fiction und politische Utopien. Er arbeitet als wissenschaftlicher Berater beim Institut für qualifizierende Innovationsforschung und -beratung GmbH (IQIB), einer 100%igen Tochter des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V., an Projekten mit einem Raumfahrtbezug.

Diese Veröffentlichung stellt keine Meinungsäußerung der Landeszentrale für politische Bildung Thüringen dar. Für inhaltliche Aussagen trägt der Autor die Verantwortung.

Landeszentrale für politische Bildung Thüringen
Regierungsstraße 73, 99084 Erfurt
www.lztthueringen.de
2025

ISBN: 978-3-910740-48-8

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	5
Geografie des erdnahen Raumes	7
Gestern	
Von der Idee zur Rakete	13
Space Race	16
Space Diplomacy	25
Nationale Raumfahrtspolitik	30
Blick in den Weltraum, Blick auf die Erde	34
Fazit	37
Heute	
Kommerzialisierung	
Frühe Kommerzialisierung	39
Kommerzialisierung als Problemlösung	42
Classic Space vs. New Space	44
Miniaturisierung und Massenfertigung: Konstellationen	49
Weltraumtourismus	51
Fazit	53
Demokratisierung	
Ausweitung von Raumfahrtaktivitäten	53
Weltraumschrott	54
Fazit	56
Militarisierung	
Beginn der Militarisierung	57
Weltraumwaffen	57
Weitere militärische Weltraumsysteme	61
Verwundbarkeiten und Resilienz	62

Der Russland-Ukraine-Krieg – ein Space War	64
Space Race 2.0	65
Fazit	66
Morgen	
Rückkehr zum Mond	67
Zukunft der Raumfahrt: Science-Fiction?	71
Should I stay or should I go?	74
Fazit	77
Literatur zum Weiterlesen	79

Einleitung

Seit Menschendenken weckt der Blick in den Nachthimmel eine Sehnsucht, mehr über den Kosmos zu erfahren. Aus der Sehnsucht wuchsen Ideen, Ideen einer Reise zu den Sternen. Und aus der Idee wurde eine Erfahrung. Der erste Mensch, der die Idee zu einer Erfahrung machte, war Neil Armstrong, der am 21. Juli 1969 als erster Mensch den Mond betrat und sprach: »That's one small step for a man, one giant leap for mankind.« (»Das ist ein kleiner Schritt für einen Menschen, ein riesiger Schritt für die Menschheit«) Dieser erste Schritt wäre nicht möglich gewesen ohne eine lange Auseinandersetzung der Menschheit mit dem, was auch als Weltall, als Kosmos, oder als Universum bezeichnet wird. Neil Armstrong steht für die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit den Sternen, für die technischen Anstrengungen und für Tausende Wissenschaftler, Ingenieure, Manager, die im 20. Jahrhundert an einen friedlichen Schritt in den Weltraum glaubten. Und es sollte auch nicht die letzte Reise hinaus in den Weltraum bleiben, schließlich, wie einst Konstantin Ziolkowski 1911 in einem Brief schrieb: »Der Erde ist die Wiege der Menschheit, aber die Menschheit kann nicht ihr ganzes Leben in der Wiege bleiben.«

Raumfahrt umfasst heute die bemannte Raumfahrt, die robotische Raumfahrt, den Bau von Satelliten und den Bau und Start von Raketen (der so genannten Upstream-Sektor) sowie die Nutzung des Weltraums, beispielsweise in Form von Satellitendienstleistungen (der so genannte Downstream-Sektor). Seit einigen Jahren hat ein Transformationsprozess mit neuen Ideen, neuen Technologien, neuen Utopien die Raumfahrt ergriffen. Warum gerade jetzt diese Prozesse eine solche Dynamik erzeugen, davon handelt dieses Buch. Doch es geht

auch darum die historischen Entwicklungslinien der Raumfahrt nachzuvollziehen, die gegenwärtigen Trends und Herausforderungen zu kennen, und zu überlegen in welche Richtung eine Entwicklung weisen könnte. Mark Twain wird (vermutlich fälschlicherweise) ein Zitat zugeschrieben: »History doesn't repeat itself, but it often rhymes« (Geschichte wiederholt sich nicht, aber sie reimt sich.). Es gilt daher auch aus der Geschichte und dem Zusammenspiel von Gestern, Heute und Morgen zu lernen.

Meine These ist, dass erst fantastische Ideen und Utopien die Voraussetzung schaffen, um neue Räume und Technologien zu denken und diese Technologien wiederum die Nutzung dieser Räume ermöglichen, die dann wieder neue Ideen und Utopien denkbar machen. Technologien lassen sich nicht nur als technisches Artefakt verstehen. Sie sind eingebettet in gesellschaftliche Kontexte. Ein Auto ist nutzlos ohne Straßen, Werkstätten und Tankstellen. Und je mehr Menschen ein Auto nutzen desto eher benötigt es auch Regeln, etwa das Verkehrsrecht. Ebenso ist ein Smartphone nutzlos ohne Mobilfunknetze. Wenn daher ein leerer Raum, eine *Terra Nullis*, vorgefunden wird, füllen Menschen diesen Raum mit Sehnsüchten, mit Ideen, sie schaffen Technologien und sie ergreifen und ordnen den Raum. Der utopische Raum als Nicht-Ort wird damit zu einem Ort. So wie ein Verkehrsraum zunehmend gefüllt wurde, um entfernte Orte miteinander zu verbinden wurde auch der Cyberspace erdacht und mit Technologie erlebbar gemacht. Und ebenso findet dieser Prozess auf die Raumfahrt Anwendung. Ohne die Vorstellungskraft wäre der Mensch verdammt in seiner Wiege zu bleiben, oder wie der US-Astronom Carl Sagan sprach: »Imagination will often carry us to worlds that never were, but without it we go nowhere.« (Unsere Vorstellungskraft führt uns oft in Welten, die es nie gab, aber ohne diese brechen wir niemals auf.)

Geografie des erdnahen Raumes

Das Universum, auch als Kosmos und Weltall bezeichnet, umfasst die Gesamtheit an Raum, Zeit, Materie und Energie und wird oft als unendlich wahrgenommen. Bei einem genauen Blick ist der für den Menschen nutzbare Weltraum – im Wesentlichen der Raum um die Erde – jedoch endlich. Für die Raumfahrt, d. h. aller bemannten wie robotischen Aktivitäten der Menschheit in diesem Raum, verkompliziert dies die Herausforderungen, da die Gefahr für Zusammenstöße und Kollisionen steigt. Von der Sonne aus gesehen werden die vier ersten Planeten – Merkur, Venus, Erde, Mars, allesamt Gesteinsplaneten – zu den inneren Planeten gezählt. Abgegrenzt durch den Asteroidengürtel finden sich die äußeren Planeten Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun, allesamt Gasplaneten. Dahinter folgt lediglich Pluto als Zwergplanet und anschließend der aus kleineren Objekten bestehende Kuipergürtel. Hinter dem Kuipergürtel, an dem die Sonnenstrahlung der Sonne, die Heliosphäre, endet, folgt das interstellare Medium, oder auch *Deep Space*.

Die Grenze zwischen Luftraum und Weltraum markiert den Übergang von aerodynamischen zu astrodynamischen Kräften. Die Grenze ist nicht scharf. Es gibt sowohl technische sowie physikalische Begründungen dafür, wo sie liegen könnte. Eine technische Begründung bezieht sich auf Luftfahrzeuge. Dort, wo die Dichte der Luft in der oberen Atmosphäre zu gering ist, aerodynamischen Auftrieb zu erzeugen und wo keine aerodynamische Steuerung mehr möglich ist, ist demnach der Übergang vom Luftraum zum Weltraum. Physikalisch nimmt die Bedeutung aerodynamischer Kräfte insbesondere der Luft ab, einzig astrodynamische Kräfte wie Geschwindigkeit und Schwerkraft spielen dann eine Rolle für die Fortbewegung.

Gemäß der nach Johannes Kepler (1571–1630) genannten Keplerschen Gesetze laufen Objekte um ein anziehendes Zentrum im Allgemeinen auf Ellipsen. Die Schwerkraft wirkt in Richtung des Mittelpunktes des Zentrums. Bei einem elliptischen Orbit wirkt das massereichere Objekt als Brennpunkt, während bei einem (nahezu) kreisförmigen Orbit das massereiche Objekt im Zentrum steht. Diese Dynamik wirkt nicht nur auf Sterne und ihre Planeten, Planeten und ihre Monde, sondern auch auf z. B. Satelliten und Raumfahrzeuge und die Erde. Auch wenn die Erde wie eine perfekte Kugel aussieht, gleicht die Verteilung ihrer Masse eher einer Kartoffel was wiederum Einfluss auf Objekte in ihrem Orbit nimmt. Satelliten, Raumstationen oder Raumfähren »fallen« um die Erde herum, da sie schnell genug sind, um nicht in die Atmosphäre einzutreten und abzustürzen. Aber die Fliehkraft ist nicht hoch genug, um aus dem Orbit befördert zu werden. Auch wirken der Mond und die Sonne durch ihre Masse auf die Erde und Raumfahrzeuge. Am geläufigsten erkennen wir die Wirkung des Mondes an Ebbe und Flut der Meere. Doch auch die Strahlen der Sonne »drücken« mal stärker und mal weniger stark auf das Erdmagnetfeld und die Atmosphäre und ebenso auf Raumfahrzeuge.

Der Übergang zwischen Luftraum und Weltraum ist daher ein breiterer Bereich. Dies ist wichtig, da diese Grenze bestimmt, ob das Luftfahrtrecht oder das Weltraumrecht Anwendung findet. Verschiedene Institutionen verwenden dabei unterschiedliche Ziffern als Grenzlinie. Häufig genannt werden die Grenze von 80 km und 100 km. Insbesondere die 100-km-Grenze ist als »von Kármán«-Linie bekannt geworden, nach dem Physiker Theodore von Kármán (1881–1963), der die Grenze des Weltraums durch die abnehmende Bedeutung aerodynamischer Kräfte definierte. Diese Definition wird von der Internationalen Aeronautischen Vereinigung vertreten, während die US-amerikanischen Streitkräfte, die NASA und die FAA (Federal Aviation Administration) 80 km (circa 50 Meilen) als Grenze nennen. Raumflüge sind solche oberhalb von 100 km. Flüge, die weder dem Schwerfeld der Erde entkommen noch

eine Umlaufbahn erreichen fallen zurück in die Atmosphäre und gelten als »suborbitale« Raumflüge – auch wenn diese auf einem elliptischen Kurs die 100 km Marke übertreten können. Diese Art der Flüge in den Weltraum trifft auf die Mehrheit der derzeitig durchgeführten weltraumtouristischen Flüge, etwa von Virgin Galactic oder Blue Origin, zu.

Oberhalb von 80–100 km beginnt die niedrige Erdumlaufbahn (engl. LEO, Low Earth Orbit).¹ Der LEO reicht von etwa 100 bis 2000 km – allerdings ist eine vollständige Erdumrundung in 100 km Höhe praktisch unmöglich, da die Objekte gleich wieder in die Atmosphäre zurückfallen. Der niedrigste vollständige Orbit liegt daher bei etwa 150 km. Ab 2000 km beginnt der mittlere Erdorbit (engl. MEO, Medium Earth Orbit). Auf 35.786 km (über dem Äquator) liegt der geostationäre Orbit (engl. GEO, Geostationary Orbit). Objekte über dem Äquator halten ihre Geschwindigkeit relativ zur Rotationsgeschwindigkeit der Erde bei und bleiben gewissermaßen über der Erde stehen. Gefangen durch das Erdmagnetfeld befinden sich im Raum von 700 bis 6.000 km und in der Höhe von 16.000 bis 58.000 km besonders viele geladene Teilchen (v. a. Protonen und Elektronen), die den so genannten Van-Allen-Strahlungsgürtel bilden. Wenn die Teilchen dieser auf Moleküle der Hochatmosphäre treffen, erzeugen sie die Polarlichter. Die Strahlungsgürtel schützen die Erde vor dem Strahlungsbombardement durch die Sonne. Während ihre Durchquerung (etwa auf dem Weg zum geostationären Orbit oder zum Mond) weitgehend unproblematisch ist, ist der dauerhafte Aufenthalt für Mensch und Technik aufgrund der Strahlungsintensität schädlich. Die Orbits selbst werden sehr unterschiedlich genutzt. Im geostationären Orbit über dem Äquator bleiben die Satelliten relativ zur Erde stets am selben Ort und ermöglichen eine kontinuierliche Beobachtung der Erde. Das ist wichtig etwa für Kommunikations- oder für Wettersatelliten. Im MEO befinden

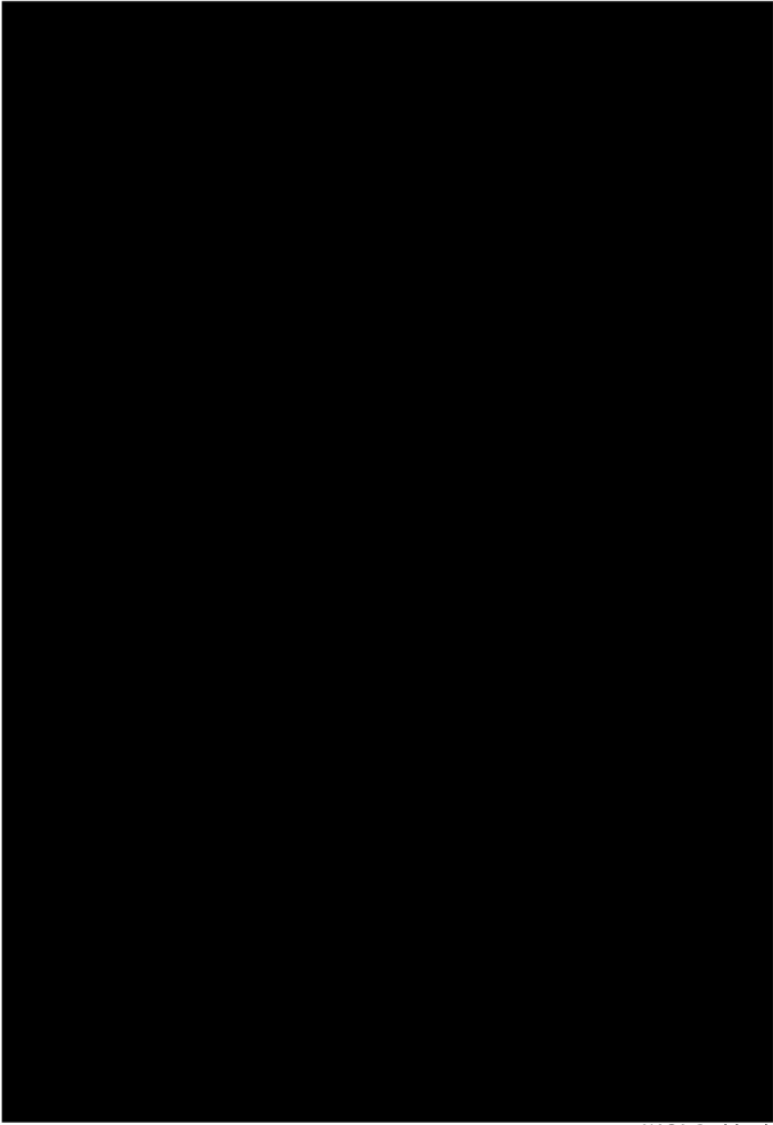
1 Siehe auch: https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Types_of_orbits

sich eine Reihe von Kommunikations- und Navigationssatelliten. Der niedrige Erdorbit ist der am stärksten frequentierte Orbit. Diese Orbits sind energiearm zu erreichen und die Kommunikation ist vergleichsweise unkompliziert mit einer niedrigen Latenz. Eine Erdumrundung dauert ca. 90–100 Minuten. Genutzt wird hauptsächlich der Bereich bis 1.200 km, da der Van-Allen-Strahlungsgürtel schnell zu Schäden an Raumfahrzeugen führen kann oder entsprechende weltraumgehärtete Ausrüstung erfordert. Damit schrumpft der nutzbare niedrige Erdorbit auf 150-1.200 km, und dort finden rund 90 % der derzeitigen Raumfahrtaktivitäten statt, inklusive der bemannten Raumfahrt (Internationale Raumstation ISS: rund 400 km) sowie einer Reihe weiterer Satellitenanwendungen, etwa für Astronomie (z. B. Hubble-Weltraumteleskop, 540 km), Spionage (z. B. Keyhole der USA), Kommunikation (wie Iridium und Starlink) und viele weitere Erderkundungs- und Beobachtungsaufgaben.

Dazu kommt eine Reihe spezieller Orbits. Ausgediente Satelliten in einem geostationären Orbit werden in einem Friedhof-Orbit geparkt, ca. 300 km über dem geostationären Orbit, da die Rückholung und ein kontrollierter Absturz in die Erdatmosphäre zu aufwändig sind. Hoch-elliptische Orbits oder Molnija-Orbits (russ. »Blitz«) sind Orbits, bei denen sich Satelliten an einer Seite nahe an die Erde heranbewegen (man nennt diesen Punkt Perigäum) und sich auf der anderen Seite weit von der Erde entfernen (Apogäum). Bei den meisten Orbits sind Perigäum und Apogäum nahezu gleich und variieren nur um einige Kilometer. Bei einem hoch-elliptischen Orbit können Perigäum und Apogäum zwischen 200 und 15.000 bzw. 50.000 und 400.000 km liegen. Sie eignen sich, um polare Regionen der Erde zu beobachten oder mit Kommunikation zu versorgen, was aus einem geostationären Orbit über dem Äquator nicht möglich ist. Sie werden auch verwendet um Satelliten in eigenem geostationären Orbit zu platzieren (engl. GTO, Geostationary Transfer Orbit) oder Raumfahrzeuge bspw. zum Mond zu befördern.

Lagrange-Punkte beschreiben zusätzlich relevante Punkte relativ zu zwei massiven Objekten, bspw. in Relation zu Erde und Mond oder Erde und Sonne. An diesen Punkten gleichen sich die Gravitationskräfte zweier massereiche Objekte aus. Das Raumfahrzeug kann an diesem Punkt einen winzigen Orbit beschreiben und relativ gesehen stehen bleiben. Es gibt zwischen Erde, Mond und Sonne fünf LaGrange Punkte, die mit L1, L2 usw. bezeichnet werden. Bspw. ist das James-Webb-Weltraumteleskop, der Nachfolger von Hubble, seit 2022 am Lagrange-Punkt 2 platziert, ebenso das ESA-Teleskop Euclid (seit 2023). Der L2 befindet sich in einer Linie hinter Sonne-Erde-Mond.

Der geostationäre Orbit ist nur ein Kreis über dem Äquator, so sind die Positionen begrenzt. Die Praxis des »first come, first serve« hat in der Vergangenheit bereits für erhebliche Spannungen gesorgt, unter anderem als acht äquatoriale Länder Ecuador, Kolumbien, Brasilien, Kongo, Zaire (1997 in Demokratische Republik Kongo umbenannt), Uganda, Kenia und Indonesien 1976 im Rahmen der Bogota-Deklaration erklärten, dass ihrer Interpretation nach der geostationäre Orbit als Verlängerung der Landesgrenzen in den Weltraum ihnen eine alleinige Nutzung zustehe. Der niedrige Erdorbit ist hingegen zum Ziel privat-kommerzieller Raumfahrtinteressen geworden, und die Zahl der Operationen in diesen Bereichen nimmt kontinuierlich zu.



NASA Goddard

Bau des Weltraumteleskops James Webb, das seit 2021 den Weltraum beobachtet.

Gestern

Von der Idee zur Rakete

Seit jeher übt der Weltraum und die Sterne eine gewaltige Faszination auf die Menschheit aus. Sonne, Mond und Sterne beeinflussten schon seit der Stein- und Bronzezeit den Alltag, die jeweilige Kosmologie und Religionen. Lange Zeit bestimmte das geozentrische, in Europa auch das nach Claudius Ptolemäus (100–160 n. Chr.) genannte ptolemäische Weltbild, das Denken über den Kosmos. Demnach steht die Erde angeblich im Zentrum des Universums um das sich die Planeten drehen. Dieses Weltbild geriet zunehmend in Bedrängnis, als die europäischen Mächte die Welt entdeckten und als im Zuge der Renaissance spätantikes Wissen wiederentdeckt wurde und die frühe Wissenschaft befeuerte.

Für die Fahrt über die Meere werden nicht nur Schiffe benötigt, sondern auch Orientierung – und im wahrsten Sinne des Wortes richtungsweisend war das Firmament. Während Polynesier bereits früh die Fähigkeit entwickelten, mithilfe ihrer Hand die Sterne zu vermessen und dadurch fähig waren den Pazifik zu überqueren, blieben die meisten europäischen Seefahrer in Küstennähe. Es gab wenige hochseetaugliche Schiffe, die Navigationsfähigkeiten waren eingeschränkt und es gab kaum Möglichkeiten, genießbaren Proviant für längere Seereisen mitzuführen. Eine wichtige Figur in dem aufkommenden Zeitalter der Entdeckungen war der Portugiese Infante Dom Henrique de Avis (1394–1460), schlicht »Heinrich der Seefahrer« genannt. Dieser ließ alles Wissen zu Kartographie, Seekunde und Schiffbau zusammenführen. Ergebnis waren der

Schiffstyp der Karavelle, der zwischen dem 14. und 16. Jahrhundert erst die Entdeckungsfahrten in Richtung Amerika und Indien ermöglichte und auch den europäischen Kolonialismus einläutete. Dadurch setzten die europäischen Seefahrer entscheidende Impulse für die präzise Himmelsbeobachtung und Navigation, kurz: die Astronomie.

Die Renaissance, eingeleitet durch den Fall Konstantinopels 1453, führte zu einer Wiederentdeckung spätantiken Wissens. Mit der Renaissance entstand auch die Denkrichtung des Humanismus des 15. und 16. Jahrhunderts, die auch als Wegbereiter der Aufklärung gilt. Dies führte zu Entwicklungsschritten hin zu einer Praxis systematischen Sammelns von Erkenntnissen auf Grundlage von Kausalzusammenhängen und dem werturteilsfreien Prüfen von Theorien und Annahmen, eine Praxis, die wir heute Wissenschaft nennen. Anders als in der Scholastik galt es nach Denkern wie Francis Bacon (1561–1626) nicht christliche Dogmen zu erklären, sondern die Welt zu verstehen, wie sie ist.

Nun war der Weg für die älteste *Naturwissenschaft*, die Astronomie, gelegt. Nikolas Kopernikus (1473–1543) beschrieb 1543 erstmals ein neues Weltbild, das heliozentrische, nach dem nicht die Erde im Mittelpunkt des Universums steht, sondern die Sonne. Die bereits erwähnten Keplerschen Gesetze lieferten die Erkenntnis, dass die Planeten sich in Ellipsen um die Erde bewegen und Isaac Newton (1643–1727) ergänzte das Gravitationsgesetz. Galileo Galilei (1564–1643) entwickelte die naturwissenschaftliche Methode und insbesondere die Astronomie mittels moderner Teleskope fort – und geriet wie etliche andere in Konflikt mit der Kirche. Diese mussten ihren Erkenntnissen abschwören und ihre Bücher landeten auf dem Index, schließlich widersprachen viele der Erkenntnisse den Glaubenssätzen des Christentums. Doch auch wenn die religiösen Dogmen mit aller Macht verteidigt wurden, geriet die Kirche zunehmend in die Defensive. Die Saat der Erkenntnis war gelegt.

Einen Schub in eine neue Richtung führte zunehmend zu Spekulationen über Welten und Utopien hinter dem Horizont.

So entdeckte Giovanni Schiaparelli (1835–1910) 1877 feine Linien auf dem Mars, die er als »canali« bezeichnete. Diese wurden nicht als natürliche »channels« ins Englische übersetzt, sondern als »canals« – und wurden deshalb als Kunstbauten einer Marszivilisation gedeutet. So entstand der Mythos über eine mögliche Zivilisation auf dem Mars, die von H. G. Wells 1898 in »Der Krieg der Welten« verarbeitet wurde. Der Fortschritt in der Astronomie inspirierte neben H. G. Wells (1866–1946) eine Reihe weiterer Autoren, wie Jules Verne (1828–1905) und Kurd Laßwitz (1848–1910), die heute als Ikonen der Science-Fiction gelten. Ihre Werke trugen zu der enormen Popularität der Science-Fiction bei, und leisteten einen wichtigen Beitrag den Traum von der Raumfahrt zu formen. Die Idee, ja die Utopie der Raumfahrt, war geboren.

Das astronomische Wissen als Grundlage für die Raumfahrt war da. Die Idee und die Utopie, dass ganze Welten auf die Menschheit warteten, war ebenfalls geboren und zunehmend wurden jene Technologien denkbar, die eine Raumfahrt in den Bereich des prinzipiell Möglichen rückten. Maßgeblich trugen drei Raketenpioniere dazu bei: Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski (1857–1935), Robert Goddard (1882–1945), Hermann Oberth (1894–1989). Alle drei waren von der Science-Fiction inspiriert und wirkten teilweise selbst als wissenschaftliche Berater bei Filmproduktionen mit. Oberth wirkte beispielsweise bei Fritz Langs »Frau im Mond« (1928/1929) als wissenschaftlicher Berater und prägte den charakteristischen Countdown, der heute jeden Raketenstart begleitet. Alle drei leiteten unabhängig voneinander die Grundformel für die Raumfahrt mittels Raketen her, die »Raketengrundgleichung«. In ihrer Zeit mitunter belächelt, gelten sie als Väter der modernen Raumfahrt, die mit ihren Arbeiten zu Raketentriebwerken erst den Weg in den Weltraum ermöglichten – aus einer Sehnsucht wurden Ideen geboren, die sich zunehmend in Technologien niederschlugen.

Eine ambivalente Karriere verfolgte der bekannteste Raketenpionier: Wernher von Braun (1912–1977). Von Braun ließ

sich nicht nur von Verne und Laßwitz inspirieren, er las auch Oberths »Die Rakete zu den Planetenräumen« von 1922. Gemeinsam mit Oberth und anderen Raumfahrtenthusiasten forschte er im Verein für Raumschiffahrt ab 1927 auf einem Schießplatz in Berlin an den Voraussetzungen für die Raumfahrt. Ab 1932 trat von Braun als ziviler Mitarbeiter in das Raketenprogramm des Heereswaffenamtes ein und ersann zunächst auf dem Truppenübungsplatz Kummersdorf und ab 1936/1937 in Heeresversuchsanstalt Peenemünde auf Usedom das erste menschengemachte Objekt, das in den Weltraum vorstoßen sollte.

Space Race

Der 3. Oktober 1942 markiert den Beginn des Raumfahrtzeitalters, als eine Aggregat 4, in der Sprache der nationalsozialistischen Propaganda auch V2 (»Vergeltungswaffe 2«), die Grenze von 84,5 km Höhe erreichte und damit als das erste menschengemachte Objekt im Weltraum gilt. Der strategische Effekt im Krieg war unbedeutend, doch die Alliierten erkannten den Wert des Waffensystems. Nach dem Krieg wurden ein Teil der deutschen Ingenieure unter von Braun im Rahmen der Operation Paperclip in die USA, ein anderer Teil im Rahmen der Aktion Ossawakim in die Sowjetunion gebracht. Dort entwickelten sie die Raketentechnik weiter.

In die breite Öffentlichkeit drang die Raumfahrt im Zuge des Geophysikalischen Jahres 1957–1958, als sowohl die USA wie auch die Sowjetunion sich darum bemühten ein Objekt in den Weltraum zu bringen. Am 4. Oktober 1957 gelang es der Sowjetunion Sputnik I (russ. für Begleiter oder Satellit) in einen Orbit zu bringen, damit dieser sein charakteristisches Signal aussenden konnte. Der Start von Sputnik führte zu einem »Sputnik-Schock« in den USA, der retrospektiv überzeichnet wird, aber dennoch dazu beitrug das Thema Raumfahrt auf die Agenda zu setzen. Raketen galten nicht nur als Mittel für die

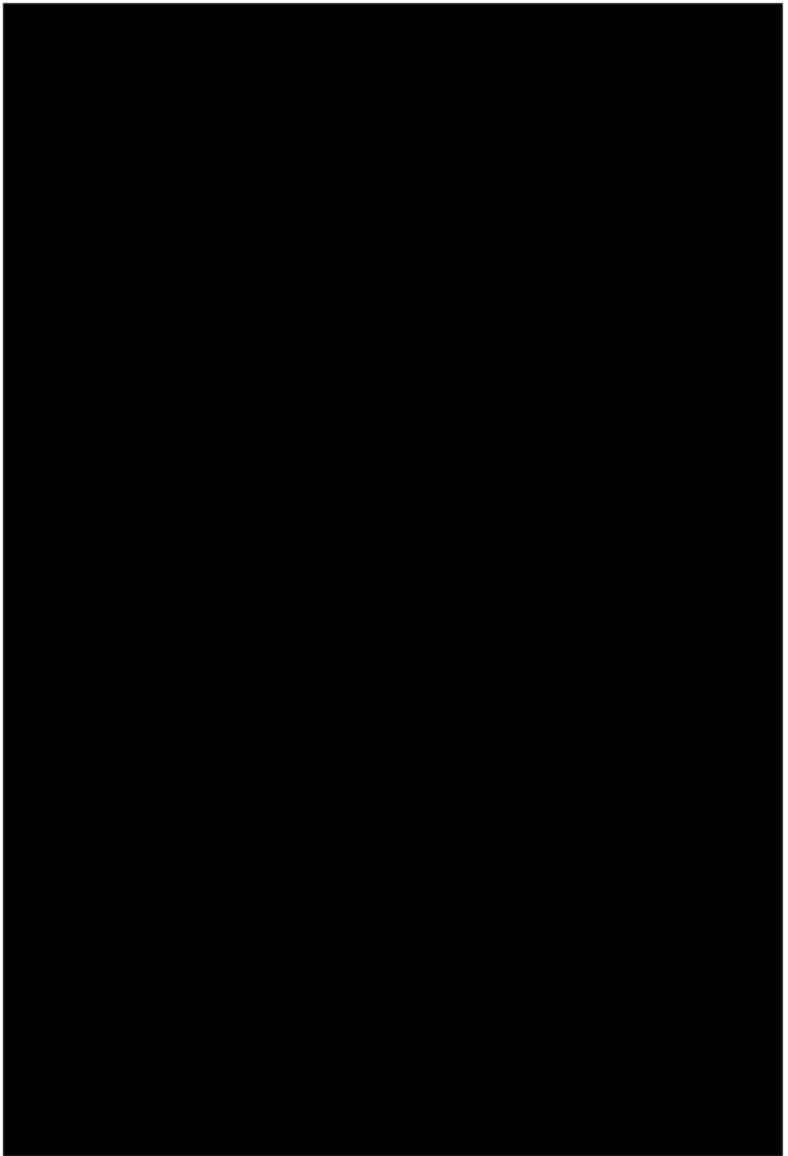
Raumfahrt, die grundsätzliche Technologie ermöglichte auch den Bau von Interkontinentalraketen, die mit einer atomaren Nutzlast ausgerüstet einen nuklearen Schlag ermöglichten. Hier zeigt sich die Fähigkeit von Raumfahrttechnologien, die sowohl für zivile als auch militärische Zwecke eingesetzt werden können. Im Präsidentschaftswahlkampf 1958 argumentierte John Fitzgerald Kennedy (JFK) mit dem *Missile Gap*, der unterstellte, dass die Sowjetunion ein größeres nukleares Arsenal als die USA habe. Dies entsprach nicht der Wirklichkeit, doch hinsichtlich der Raumfahrttechnik hinkten die USA in der Tat hinterher – ein echter *Space Gap*.

Die sowjetische R-7 wurde als Interkontinentalrakete gebaut, Chruschtschow zufolge war diese für diesen Zweck jedoch völlig ungeeignet. Das lag daran, dass die R-7 chemische Flüssigtreibstofftriebwerke verwendete. Dieser Antriebstyp lässt sich jederzeit an- und abschalten und führt den Treibstoff in flüssiger Form mit. Allerdings ist der Treibstoff flüchtig, muss gekühlt werden und kann deshalb erst kurz vor dem Start in die Tanks gepumpt werden. Solche Raketen lassen sich nicht dauerhaft im Alarmzustand lagern, und noch viel weniger in geschützten Silos. Moderne Interkontinentalraketen sind Feststoffraketen, die den Treibstoff kontinuierlich abbrennen. Die Reaktion lässt sich nach der Zündung nicht stoppen, ähnlich einer Silvesterrakete. Dafür können die Raketen dauerhaft betankt gelagert werden – etwa in Silos oder U-Booten. Die ersten Raketen wie die R-7 oder die Atlas, waren daher als Interkontinentalraketen nicht zu gebrauchen, für die Raumfahrt jedoch hervorragend geeignet. Nach dem Sputnik-Schock suchte US-Präsident Dwight D. Eisenhower einen Weg, um eine weitere Militarisierung des Weltraums zu vermeiden und gründete am 29. Juli 1958 die NASA, die National Aeronautics and Space Agency, um die friedliche, zivile Raumfahrt zu stärken.

Zunächst blieb die Sowjetunion führend im Weltraum: wie mit dem ersten Menschen im Weltraum Yuri Gagarin am 12.04.1961 oder der erste Weltraumspaziergang von Alexei

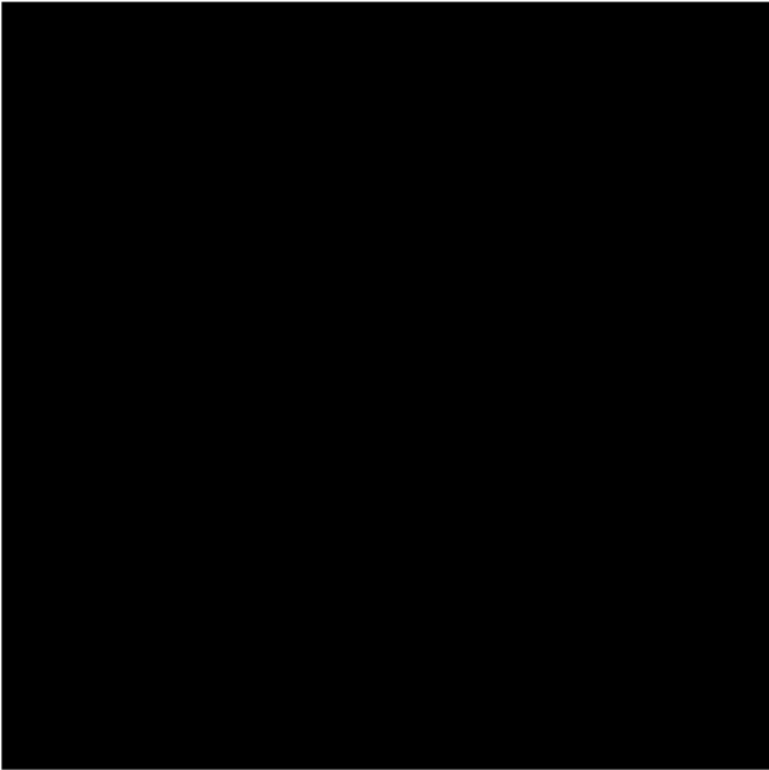
Leonow am 18.03.1965. Brisant für die USA, denn es war unterschiedenes Ziel, dass sich die USA als technologische Großmacht positionierte, Kennedy brauchte einen Sieg über die Sowjetunion. Berater sahen in der Mondlandung die einzige Option, bei der die USA die Sowjetunion ausstechen könnte. JFKs Rede im Senat am 25.05.1961 wurde mit vergleichsweise verhaltenem Applaus begrüßt. Anders verhielt es sich mit der immer noch hörenswerten Rice Speech, die Kennedy am 12. September 1962 an der Rice University hielt. Diese Rede gilt noch immer als richtungsweisend um die USA auf den *Space Race* einzuschwören. Darin kondensierte Kennedy die menschliche Geschichte, beschwor den im Gründungsmythos der USA genannten Pioniergeist, und umriss die möglichen Fortschritte durch die Raumfahrt. Raumfahrt wurde greifbar, nicht nur für Amerikaner, die Rede sprach ebenso Menschen jenseits der USA an.

Mit dieser Rede stiegen die USA öffentlich in den Wettlauf zum Mond, der bedeutendsten Episode des *Space Race*, ein. In der Folge pumppte die USA, Stand 1973, 25.4 Milliarden US-Dollar in das Apollo Programm. Inflationsbereinigt betrüge die Summe 2023 257 Milliarden US-Dollar. Zwischenzeitlich erhielt das Raumfahrtprogramm rund 4 % des Staatshaushalts. Zum Vergleich: Das 2023 Budget der NASA liegt bei rund 27 Milliarden US-Dollar und hat gerade einmal einen Anteil von 0,28 % des Staatshaushalts. Die Anstrengungen sollten sich auszahlen: Am 20. Juli 1969 landeten die beiden Astronauten Neil Armstrong und Edwin »Buzz« Aldrin auf dem Mond, im *Mare Tranquillitatis*. Fünf weitere Mondlandungen sollten folgen und insgesamt 12 Astronauten auf den Mond bringen. Die USA hatten ihre technologische Überlegenheit bewiesen und die wichtigste Episode des *Space Race* gewonnen. Die Raumfahrtbegeisterung trug die USA nicht nur zum Mond, sie fand ihren Niederschlag auch in der Popkultur. Science-Fiction wie die Serie Star Trek boomte. Mit dem Googie-Stil schlug sich auch in der Architektur und im Automobil-Design die Zukunftsbegeisterung mit Anleihen bei der Raumfahrt und der Atomkraft nieder.



Wikipedia/NASA

John F. Kennedy hält seine berühmte Rede zur Raumfahrt an der Rice University, 12. September 1962.



Wikipedia/NASA

Apollo 16: Astronaut Sean Young springt und salutiert der US-Flagge, 1972.

Nach der Mondlandung flaute das Interesse an der Raumfahrt ab. Schon die späteren Apollomissionen wurden mit weitgehendem Desinteresse verfolgt und so endete das Apollo Programm mit der Landung von Apollo 17 im Dezember 1972. Mit dem Ende der Mondlandungen schwand auch die Raumfahrtbegeisterung. Soziale Probleme ließen die Aufmerksamkeit für die Raumfahrt sinken. Und der technische Fortschrittsglaube, der auch die Mondlandungen begleitet hatte, wurde durch den Vietnamkrieg erschüttert. Schließlich erklärte US-Präsident Richard Nixon die Mondlandungen für beendet. Übriggebliebene Hardware des Apollo-Programms wurde weiterverwendet, etwa

für die Raumstation Skylab 1973, oder das amerikanisch-sowjetische Kooperationsprojekt Apollo-Soyuz Test Projekt 1975. Danach wandte sich die NASA dem Space-Shuttle und der robotischen Raumfahrt zu.

Zwar steht in der historischen Erinnerung die Mondlandung von Apollo 11 für das Ende des *Space Race*. Faktisch bestand der Wettlauf zwischen USA und Sowjetunion fort, wenn auch weniger öffentlichkeitswirksam. Während die Mondlandung als ein Symbol für den Sieg der USA in die Geschichte einging hatte die amerikanische Raumfahrt schon bedeutend früher die Führung im *Space Race* übernommen. Das sowjetische Raumfahrtprogramm hatte mit dem Tod des Chefkonstruktors Sergei Pawlowitsch Koroljow am 14. Januar 1966 einen herben Rückschlag erlitten. Koroljow war es vorher gelungen die vielen konkurrierenden Designbüros des sowjetischen Raumfahrtsektors zielführend zu managen. Mit dem Tod von Koroljow brachen diese Konflikte erneut aus, was zu Verzögerungen und Unstimmigkeiten führte. Ferner fehlte dem sowjetischen Raumfahrtprogramm leistungsstarke Triebwerke für ihre im Vergleich kleinere Mondrakete N1 – die USA hatten bereits früh mit der Entwicklung der legendären F-1 und J-2 Raketentriebwerke begonnen, die in der im Vergleich deutlich größeren Mondrakete Saturn V verbaut wurden. Zwischen 1969 und 1974 wurden vier sowjetische Raketenstarts der N1 versucht, die alle in einem vollständigen Verlust der Rakete, teilweise zu erheblichen Schäden des Weltraumbahnhofs führten und in vielen hundert Kilometern mittels Erdbebenüberwachungsinstrumenten gespürt wurden. Bei der Saturn V gab es keinen einzigen Verlust. 1974 wurde das sowjetische Mondprogramm eingestellt.

In den 1970er-Jahren wurden bedeutend weniger bemannte Raumfahrtoperationen durchgeführt. Statt geopolitischem Ringen begann eine Phase einer geräuschloseren, wissenschaftlichen Raumfahrt. Von den 12 Astronauten, die auf dem Mond landeten, war lediglich der Apollo17-Astronaut Harrison Schmitt Wissenschaftler, nämlich Geologe, aber eben auch

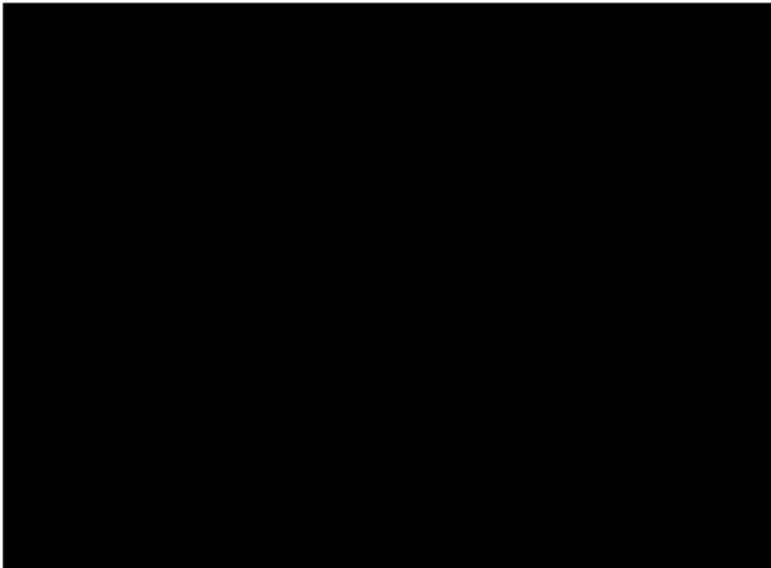
Pilot, was damals als wichtigstes Kriterium galt. Bei der Auswahl der Astronauten war wenige wissenschaftliche Expertise gefragt. Auf der US-Raumstation Skylab wurde während den Missionen zwischen 1973 und 1974 aktiv geforscht und zunehmend sind deutlich mehr Wissenschaftler als Astronauten unterwegs, teilweise auch als »mission specialists« für nur einen Teil eines Experiments oder einer Operation.

In den Folgejahren wurden Raumsonden, Orbiter und Rover gestartet, insbesondere in das äußere Sonnensystem, zum Mars, oder zu weiteren solaren Himmelskörpern. Als besonderer Erfolg gelten die Sonde Voyager 1 und 2, die 1977 starteten. Das sind die Sonden, die mit dem »Golden Record« ausgerüstet wurden, einer Schallplatte mit Aufnahmen menschlicher Sprachen und Musik. Die Sonden haben erst vor wenigen Jahren die Heliosphäre verlassen. Jenen Raum also, in dem vor allem die Sonnenwinde wirksam sind und das interstellare Medium verdrängen. Von dort werden sie noch weitere rund 40.000 Jahre bis zum nächsten Sternensystem brauchen. Trotz einer abnehmenden Energieleistung ihrer Radionuklidbatterien liefern immer noch einige Instrumente Messdaten – seit fast 50 Jahren!

Auch abseits des Orbits entwickelte sich die Raumfahrt weiter. Ab den 1970er-Jahren verfolgte die NASA ihr Orbiter-Konzept, das als Space Transportation Service, oder kurz: Space-Shuttle, ab 1981 verwirklicht wurde. Es sollte regelmäßig zwischen Erde und dem niedrigen Erdorbit verkehren und sowohl militärische, wissenschaftliche und kommerzielle Bedürfnisse bedienen. Durch die Wiederverwendbarkeit des Orbiters sollte der Betrieb besonders günstig sein. Faktisch erfüllte das Space-Shuttle keines dieser Kriterien. Ein angedachter monatlicher Start war ausgeschlossen, nach jeder Landung mussten die 30.000 Hitzeschutzkacheln und die Triebwerke aufwändig inspiziert werden. Der gewaltige Treibstofftank fiel einfach ins Meer, immerhin konnten die seitlichen Feststoffbooster wiederverwendet werden. Dennoch war die Wartung aufwändig und dauerte, sodass die anvisierten 24 Flüge pro

Jahr deutlich unterschritten wurden. Über die Dienstzeit der Space-Shuttle fanden durchschnittlich nur vier Flüge pro Jahr statt. Anvisiert waren Startkosten von 200 US-\$ pro kg, diese Zielmarke konnte das Space-Shuttle nie halten. Zuletzt betragen die Kosten rund 60.000 US-\$ pro kg. Zum Vergleich: bei der Mondrakete Saturn V betragen die US-\$/kg inflationsbereinigt rund 5.000 US-\$. Um alle möglichen Nutzer wie die NASA, das US-Militär und privat-kommerzielle Interessen zufrieden zu stellen, war das Space-Shuttle in Designhinsicht wenig fokussiert. Die Fähigkeit, Satelliten aus dem Orbit zu holen, um diese auf der Erde instand zu setzen, wurde durch den Verfall der Kosten für Raketenstarts überflüssig. Auch ein militärischer Einsatz dieser Fähigkeit wurde nie ernsthaft erwogen. Für private Flüge war das Shuttle zu teuer. Mehr noch, es blockierte einen substanziellen Teil des Budgets der NASA, wodurch eine günstigere Raumfahrt nachhaltig verhindert wurde. Auch wenn das Space-Shuttle ein technisches Wunderwerk war, nannten es manche Analysten auch »ein Raumschiff auf der Suche nach einem Einsatzprofil« oder sogar einen politischen Fehler.

Zum Ende des Kalten Krieges sollte auch die Raumfahrt als geopolitischer Spielball noch einmal eine erhöhte Aufmerksamkeit erfahren. Die Reagan-Administration kündigte 1983 ihr Strategic Defense Initiative (SDI), oder »Star Wars«-Programm an, bei dem durch im Weltraum stationierte Waffenplattformen die USA unangreifbar werden sollte. Der Versuch der Sowjetunion, mit den USA zu konkurrieren, trug zu dem rapiden Kollaps der Sowjetunion bei, die nicht zuletzt durch die Reaktorhavarie von Tschernobyl im Jahr 1986 zusätzliche ökonomische Schwierigkeiten hatte. Mit dem Kollaps der Sowjetunion wurde das Star Wars-Programm weitgehend fallengelassen. Geopolitische Rivalitäten schienen nahezu vollständig aus der Raumfahrt verbannt zu sein und in den 1990er-Jahren konnte in der Raumfahrt das größte ingenieurs- und wissenschaftstechnische Diplomatieprojekt umgesetzt werden, als die USA und Russland 1993 den Bau der Internationalen



NASA

Wissenschaftsdiplomatisches Erfolgsprojekt: die ISS als Vorposten der Menschheit im Weltraum.

Raumstation ISS beschlossen. 1998 wurde mit dem Bau der ISS begonnen, die 2001 ihren Routinedienst aufnahm. Seit 2009 gilt die Raumstation als fertiggestellt und ist durchgängig mit sechs Personen besetzt. Auf dem, laut der europäischen Raumfahrtagentur ESA, »Vorposten der Menschheit im Weltraum« können außergewöhnliche Experimente in Schwerelosigkeit und Vakuum durchgeführt werden, und unter den einzigartigen Strahlungsbedingungen des niedrigen Erdorbits in rund 400 km Höhe. Der Zahn der Zeit nagt jedoch an der Station. Nicht nur wird die Station bereits über ihre ursprünglich gedachte Operationsdauer betrieben, auch treten immer wieder technische Schwierigkeiten auf. Kleinere Lecks gelten als normal, doch gerade in den russischen Modulen machen sich scheinbar zunehmend die Sanktionen infolge des Ukraine-Krieges bemerkbar, da die Lecks zunehmen.

Space Diplomacy

Während des *Space Race* standen sich USA und Sowjetunion unversöhnlich gegenüber, drohten einander offen mit einem nuklearen Schlagabtausch. Der Einsatz von Nuklearwaffen hätte eine nicht abzuschätzende Zerstörung nach sich gezogen. Die militärische Doktrin lautete *Mutually Assured Destruction*, die gegenseitig zugesicherte Vernichtung. Hinter dieser Doktrin verbarg sich die Idee, dass wenn Staat A einen Atomangriff auslöst, Staat B ausreichend Zeit hätte, um sein eigenes Arsenal abzufeuern: wer zuerst schießt, stirbt als zweiter. 1961 und 1962 zeigten sich die Gefahren eines solchen Nuklearkrieges. Eine Serie von Ereignissen stellen atmosphärische Atomwaffentests dar. Die Sowjets testeten mit dem »K Projekt« eine Reihe von Atomwaffen in der Atmosphäre, die USA folgten im Rahmen von Operation Fishbowl. Der elektromagnetische Impuls-Effekt (EMP) des Waffentests K3 am 22. Oktober 1962 zerstörte Tausende Kilometer Strom- und Telefonleitungen und ein Kraftwerk in Kasachstan. Der US-amerikanische Test Starfish Prime am 9. Juli 1962 hatte Auswirkungen auf den Van Allen Strahlungsgürtel, legte die Energieversorgung in Hawaii lahm und zerstörte eine Reihe amerikanischer, einen britischen und einen sowjetischen Satelliten. Darauf begannen USA und Sowjetunion Verhandlungen und schlossen 1963 schließlich den Vertrag über das Verbot von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre, im Weltraum und unter Wasser, der atmosphärische Atomwaffentests untersagte. Zugleich kam die Welt einem nuklearen Krieg während der Kuba-Krise 1962 besonders nahe. Die Kuba-Krise konnte mithilfe einer Seeblockade und Geheimdiplomatie gelöst werden. In der Folge wurde ein direkter Draht zwischen dem Weißen Haus und dem Kreml eingerichtet – kulturell durch das »Rote Telefon« symbolisiert (welches es so niemals gab). Die Kuba-Krise konnte dadurch friedlich beendet werden und läutete eine Phase der Entspannung zwischen den Supermächten ein. Die USA und die Sowjetunion begannen eine Reihe von Abrüstungs- und Rüstungskontrollverträgen,

etwa den Atomwaffensperrvertrag von 1968 oder die erste und zweite Runde der Gespräche zur Begrenzung strategischer Rüstung von 1972 bzw. 1979.

Auch in der Raumfahrt standen die Zeichen gut für eine friedliche Nutzung. Schon 1959 wurde der UN COPUOS, das Committee on the Peaceful Use of Outer Space gegründet (UN Ausschuss für die friedliche Nutzung der Raumfahrt), dem 2024 102 Mitglieder angehörten. Es handelt sich um das zentrale Forum für weltraumrechtliche Belange und wird unterstützt von UNOOSA, dem United Nations Office for Outer Space Affairs, dem Büro der Vereinten Nationen für Weltraumfragen. Eines der zentralen Vertragswerke, das auch im COPUOS verhandelt wurde, stellt der Weltraumvertrag mit dem sperrigen Titel Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies (Vertrag über die Grundsätze zur Regelung der Tätigkeiten von Staaten bei der Erforschung und Nutzung des Weltraums einschließlich des Mondes und anderer Himmelskörper), kurz Weltraumvertrag (WRV, im Englischen: Outer Space Treaty, OST) von 1967 dar. Durch den WRV wurde die Stationierung von Massenvernichtungswaffen im Weltraum in Artikel IV verboten. Wie auf Erden so im Himmel: Dem nuklearen Tiger wurden die Krallen gezogen.

Neben dem in Art IV angelegten Verbot von Massenvernichtungswaffen, militärischen Einrichtungen und Waffentests im Weltraum ist der WRV als Prinzipienvertrag angelegt. Das heißt, dass Verbote und Gebote als Prinzip formuliert sind, nicht aber in der detaillierten Ausgestaltung. Das hat den Vorteil, dass der WRV flexibel an sich ändernde Anforderungen angepasst werden kann. Allerdings bedeutet dies: der Vertrag muss kontinuierlich mit der Realität, technischen Möglichkeiten und unterschiedlichen Interpretationen der unterzeichnenden Staaten interpretiert werden.

Kernprinzip ist, dass der Weltraum im Geiste gegenseitiger Unterstützung, Kooperation und unter friedfertigen Absichten erforscht werden soll («peaceful purposes»). Staaten sollen

sich nach Art. XI im Einklang mit internationalem Recht (Art. III) nicht in die Belange anderer Staaten einmischen. Auch nichtstaatliche Akteure, also z. B. Unternehmen, sind in Artikel IV mitgedacht. Art. V verpflichtet die Staaten, Raumfahrer als Botschafter der Menschheit zu sehen und im Notfall Unterstützung anzubieten. Die jeweiligen Staaten gelten als »launching state«, also startender Staat, und haften für Schäden durch Objekte, die unter ihrer Flagge gestartet wurden (Art. VII). Objekte sollen nach Art. VIII registriert werden.

Die Doppeldeutigkeit eines solchen Prinzipienvertrags wird jedoch schon im ersten Artikel deutlich. Artikel I spricht vom Weltraum als »province of all mankind«, als »Sache der gesamten Menschheit«. Diese Formulierung wurde immer wieder so gelesen, dass der Weltraum eine Art Commons darstellt – dabei handelt es sich um ein bestimmtes Rechtsregime, einen gemeinsamen Ort, den kein Staat in Beschlag nehmen darf und ein Ort frei von geopolitischem Geplänkel. Commons stellen eine besondere Form des Gemeinguts internationaler Art dar. Dass der Weltraum ein Commons darstellt, ist jedoch durch die wachsweiße Formulierung der »province of all mankind« lediglich eine Interpretation. Staaten wie die USA haben wiederholt erklärt, dass sie den Weltraum nicht als Commons verstehen. Während lange Zeit die Idee einer Raumfahrt frei von geopolitischen Konflikten vorherrschte, sorgen neue Ideen und Technologien zunehmend für eine Reinterpretation, den Raum doch zu seinem eigenen Vorteil zu nutzen. Es zeigt sich auch ein »first mover advantage« – wer den ersten Schritt (technisch) tun kann bestimmt die Regel.

Auch der Artikel II ist ambivalent. Dort steht, dass kein Staat sich einen Himmelskörper »aneignen« darf, im Englischen »non-appropriation«. 1967 war das unproblematisch, da es noch gar keine Technologie für dieses Vorhaben gab. Doch im 21. Jahrhundert sorgen technologische Fortschritte zunehmend für Herausforderungen, denn was genau bedeutet »non-appropriation« im Kontext eines möglichen Abbaus von Ressourcen auf Himmelskörpern? Erste Staaten wie die USA

(2015) und Luxemburg (2017) haben in nationalen Gesetzen die Interpretation vorgelegt, dass Mineralien, die im Weltraum gewonnen wurden, von den Unternehmen gehandelt werden dürfen. Auch in einem von den USA ausgehenden Verfahren zur Schaffung eines Regelwerks für die Raumfahrt mit mehreren beteiligten Staaten, den Artemis Vereinbarungen (eng. Artemis Accords), wird diese Interpretation zu grunde gelegt. Ebenso ambivalent ist der Art. IX, der verlangt, man möge Konsultationen mit jenen führen, wenn durch das eigene Handeln »potenziell gefährliche Beeinträchtigungen« entstehen könnten, im Englischen: »potentially harmful interference«. Diese Formulierung ist derart weich, dass im Grunde jegliches Handeln irgendwelche Auswirkungen haben könnte – es ist keine große Überraschung das es bislang noch nie zu irgendwelchen Konsultationen gekommen ist.

Bei aller Ambivalenz stellt der WRV den Grundstein der internationalen Raumfahrtpolitik dar. Einige Staaten haben nationale Weltraumgesetze erlassen, um die Konventionen des WRV in nationales Recht zu übertragen. Das der WRV dennoch so lange genügt steht einerseits für die Weitsichtigkeit bei der Vertragslegung, andererseits markiert die Notwendigkeit der Interpretation die gewaltigen Veränderungen, vor denen die Raumfahrt steht. Auch Deutschland hat erst im Jahr 2024 Eckpunkte eines Weltraumgesetzes formuliert – 57 Jahre nach der Zeichnung des WRV.

Dem WRV folgten weitere, spezialisierte Konventionen. Dazu zählen:

- 1968: Weltraumrettungsübereinkommen (Agreement on the Rescue of Astronauts, the Return of Astronauts and the Return of Objects Launched into Outer Space)
- 1972: Weltraumhaftungsübereinkommen (Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects)
- 1976: Weltraumregistrierungsübereinkommen (Convention on Registration of Objects Launched into Outer Space)
- 1979: Mondvertrag (Agreement Governing the Activities of States on the Moon and Other Celestial Bodies)

Die drei ersteren präzisieren Aspekte des WRV und wurden umgehend ratifiziert. Einzig der Mondvertrag von 1979 hätte eine substanzielle Weiterentwicklung des WRV dargestellt, der die militärische Nutzung des Weltraums strikt verbietet. Auch verlangte der Mondvertrag die Schaffung eines Regimes welches die Nutzung des Weltraums gerecht für alle Staaten regelt. Schließlich wurde die Formulierung des »Gemeinschaftliches Erbe der Menschheit« (»Common Heritage of Mankind«) eingebracht, die den Weltraum klar als Commons benennt. Diese Diskussionspunkte führten dazu, dass der Mondvertrag von keinem raumfahrenden Staat ratifiziert wurde und heute als gescheitert gilt. Weitere Weltraumverträge haben bislang zu keinem Erfolg geführt, da es stets in zentralen Punkten zu Widerständen kommt.

Dass die zentrale Weltraumgovernance auf einem über 50 Jahre alten Vertrag aufbaut ist nicht zuletzt einem sich schnell entfaltenden Raumfahrtökosystem mit einer ebenso rasant ablaufenden Technologieentwicklung zurückzuführen – es ist schlicht nicht klar, was genau wie geregelt werden soll. Daher gibt es eine Reihe von nicht-bindenden Abmachungen, die die Debatte zumindest am Laufen halten:

- 2007 Space Debris Mitigation Guidelines
- 2018 Space Traffic Management (eine Art Vorfahrtsregeln im Weltraum)
- 2019 Long-Term Sustainability (LTS) of Outer Space Activities
- 2013 Group of Governmental Experts (GGE) on Transparency and Confidence Building Measures (TCBMs) in Outer Space
- 2023 Open-ended Working Group (OEWG) on Reducing Space Threats through Norms, Rules and Principles of Responsible Behaviour

Der Politik- und Rechtswissenschaftler Carl. Q. Christol schrieb 1964: »Science soars like an eagle, while Law drags on like a turtle.« (Die Wissenschaft steigt auf wie ein Adler, während sich die Gesetzgebung wie eine Schildkröte dahinschleppt.). Gerade für die Raumfahrt steckt in diesem Bonmot sehr viel

Wahrheit. Denn nicht zuletzt aufgrund des rapiden technischen Wandels wird über die Raumfahrt zwar aktiv diskutiert, doch hat sich noch kein Konsens herausgebildet. Dafür ist die technologische Seite weiterhin viel zu sehr im Wandel. So ist der WRV weiterhin der zentrale Vertrag der internationalen Raumfahrtpolitik, ergänzt durch eine Handvoll von Abmachungen zwischen den Staaten.

Nationale Raumfahrtpolitik

Unterhalb der internationalen Ebene wird Raumfahrtpolitik in den politischen Institutionen der Nationalstaaten formuliert, unterstützt durch die jeweilige technische Expertise, die häufig bei einer spezialisierten Institution, oft einer Raumfahrtagentur, einem Raumfahrtbüro oder in einer Abteilung in einem Ministerium angesiedelt ist. Aufgabe dieser Institution ist es die Forschungs- und die Raumfahrtaktivitäten zu organisieren. Die Fähigkeiten der Institutionen variieren stark. Eine voll ausgebildete Raumfahrtagentur hat eine höhere Eigenständigkeit in ihrem Handeln und größere Budgets. Typische Beispiele sind die NASA, die russische Roskosmos, die chinesische CNSA (Chinese National Space Agency) und CMSA (Chinese Manned Space Agency), das japanische JAXA (Japanese Aerospace Exploration Agency), das französische CNES (Centre National D'Études Spatiales) oder die Deutsche Raumfahrtagentur im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) und viele weitere. Auch die europäische Raumfahrtagentur ESA, die European Space Agency, ist eine Raumfahrtagentur, die hier jedoch nicht durch eine nationale Regierung, sondern durch mehrere nationalen Regierungen gegründet und unterhalten wird und deshalb als internationale Organisation gilt.

Raumfahrtagenturen haben eine Vielzahl von technischen Fähigkeiten, dazu gehört die Fähigkeit grundsätzliche Raumfahrtaktivitäten und -dienstleistungen zu nutzen, die Entwicklung von Startfähigkeiten, die Fähigkeit extraterrestrischer

Forschung und die Fähigkeit zur bemannten Raumfahrt. Nicht jeder Staat hat die eigenständige Fähigkeit im eigenen Staatsgebiet – die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR hat keine eigene Startfähigkeit, kann jedoch auf die europäische Ariane über ESA/Arianespace zurückgreifen. Andere Staaten unterhalten lediglich Raumfahrtbüros, etwa die Niederlande oder Belgien, und in wieder anderen Ländern wird die Raumfahrt aus einem Ministerium heraus organisiert, etwa in Finnland oder Irland. Der Begriff der Raumfahrtagentur ist allerdings nicht näher definiert oder geschützt und daher nur bedingt aussagekräftig. In der Tendenz hat eine Raumfahrtagentur dennoch eine größere Autonomie und Fähigkeiten. Für Deutschland organisiert die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR die nationale Raumfahrt. Die Deutsche Raumfahrtagentur ist keine staatliche Stelle, sondern Teil des DLR, das von der dt. Bundesregierung mit der Organisation der Raumfahrtaktivitäten auf Grundlage des Raumfahrtübertragungsgesetzes vom 08. Juni 1990 beauftragt wurde.

Die Raumfahrtaktivitäten sind in sehr unterschiedliche ministerielle Kontexte eingebettet. Mal ist die Raumfahrt im Wirtschaftsministerium angesiedelt, mal im Wissenschaftsministerium, mal im Verteidigungsministerium. In Deutschland liegt die Hauptverantwortung im BMWK (Bundesministerium für Wirtschaft und Klima), doch auch das Wissenschafts- (BMBWF) und Verteidigungsministerium (BMVg) spielen eine Rolle. Und zu einem Teil auch das Auswärtige Amt (AA), und das Ministerium für Digitales und Verkehr (BMDV). Die französische CNES ist hingegen dem Wissenschafts- und Verteidigungsministerium unterstellt und genießt eine etwas höhere Autonomie. Raumfahrt ist ein echtes Querschnittsthema und deshalb hat bspw. die deutsche Bundesregierung die Funktionsstelle »Kordinator Luft- und Raumfahrt« geschaffen. Ähnliches findet sich auch in anderen Staaten, in den USA beispielsweise ein Gremium wie den National Space Council (NSC), der 2017 unter Trump wiederbelebt wurde und die verschiedenen Raumfahrtaktivitäten vernetzen und integrieren soll.

Die nationalen Raumfahrtbudgets sind sehr unterschiedlich. Nicht nur in der Höhe, sondern auch aus welchen Ressorts welche Raumfahrtaktivitäten finanziert werden. Systeme wie das US-amerikanische GPS werden aus dem Militärhaushalt finanziert, das europäische Galileo wird aus dem EU-Haushalt finanziert, jedoch hat die ESA bei der technischen Realisation mitgewirkt. Auch variiert der Wert pro eingesetztem US-\$. So kann ein Land wie Indien mit seinem Budget im Vergleich mehr erreichen, weil die Gehälter deutlich niedriger ausfallen. Gegenüber den USA stehen die Europäer gar nicht schlecht da, weil auch hier die Gehälter etwas niedriger ausfallen. Die Raumfahrtbudgets können daher für sich genommen nur eine begrenzte Aussage über die Effizienz des jeweiligen Programms aussagen. Es lässt sich jedoch ebenso festhalten, dass die Raumfahrt weltweit mit überschaubaren Budgets operiert. Pro Jahr und für jeden Europäer wird gerade einmal ein Betrag von rund 20 Euro investiert, in den USA liegen die Investitionen in die Raumfahrt bei rund 220 Euro pro Einwohner.²

Land / Institution	In Mrd. US-\$
USA	73
Japan	4,65
Frankreich	3,47
Deutschland	2,29
Indien	1,69

<https://www.statista.com/statistics/745717/global-governmental-spending-on-space-programs-leading-countries/>

Auszug Raumfahrtbudgets über alle Ressorts im Jahr 2023.

² Siehe dazu ein Interview mit ESA Generalsekretär Josef Aschbacher vom 13. September 2024: <https://de.euronews.com/2024/09/13/josef-aschbacher-europa-ist-auf-jeden-fall-zuruck-im-welt-raum>

Die USA investierten 2023 rund 73 Mrd. US-\$ in die Raumfahrt. Dabei entfällt auf die NASA gerade einmal 25,4 Mrd. US-\$, das entspricht einem Anteil am US-Haushalt von rund 0,28 %. Die Differenz ist in anderen Ressorts für die Raumfahrt veranschlagt, wie dem bereits erwähnten US-Militärhaushalt. Dennoch ist der Posten für das zivile Raumfahrtprogramm der NASA verhältnismäßig übersichtlich. Zum Vergleich: das US-Militär hat pro Jahr ein Budget von rund 700 Mrd. US-\$. Die ESA verfügt über ein Budget von rund 7,8 Mrd. US-\$. China hat ein Budget von rund 14,15 Mrd. US-\$, doch sind die Zahlen für China aufgrund der unsicheren Datenlage schwierig zu bewerten. Das deutsche Raumfahrtbudget setzt sich zum einen aus den Beiträgen für die ESA zusammen, das mit rund 1,1 Mrd. EUR den Löwenanteil ausmacht. Hinzu kommen noch einmal rund 300 Mio. EUR für das nationale Programm, sowie weitere Beträge, die in verschiedenen Programmen gebunden sind.

In manchen Staaten haben die Agenturen einen größeren Einfluss auf die Politikformulierung (z. B. CNES, NASA), in anderen ist der Einfluss etwas geringer. Im europäischen Kontext spielen weitere Faktoren eine entscheidende Rolle: bei der ESA, bestehend aus 23 Mitgliedstaaten, wird das Budget und die programmatische Ausrichtung alle 3-4 Jahre auf der Ministerratskonferenz festgelegt, die nächste findet 2025 statt. Die ESA hat außerdem eine industriepolitische Verpflichtung, den Staaten Industrieaufträge mindestens in Höhe ihrer Mitgliedsbeiträge zuzuteilen. Während die ESA eine rein zivil-wissenschaftliche Raumfahrt verfolgt, ist die EU mit ihrer 2014 gegründeten Raumfahrtagentur EUSPA (European Union Agency for the Space Programm) zuständig für Programme wie Copernicus und Galileo und tendenziell auch für die sicherheitssensiblen Themen.

Auf der nationalen Ebene ist in den letzten Jahren etwas in Bewegung geraten: es werden für den Weltraum Strategie-papiere und nationale Gesetze verabschiedet. In Bezug auf Deutschland ist die Bewegung bemerkenswert: Die Bundesregierung unter Olaf Scholz hat 2023 erstmals eine Nationale

Sicherheitsstrategie veröffentlicht. Ende 2023 folgte eine neue Raumfahrtstrategie. Angekündigt ist auch eine Weltraumsicherheitsstrategie und erstmals in der Geschichte der Bundesregierung gibt es seit 2024 Eckpunkte für ein Nationales Raumfahrtgesetz. Auch in der Politik wird der neuen Bedeutung der Raumfahrt Rechnung getragen.

Blick in den Weltraum, Blick auf die Erde

Der Beginn der Raumfahrt stand nicht im Zeichen der Entdeckungen, sondern geopolitischen Ringens. Abseits dieser hat der Weltraum und die Raumfahrt aber natürlich schon immer die Menschheit inspiriert, denn die Raumfahrt trägt dazu bei, dass die Menschheit über ihren eigenen Platz im Universum nachdenkt. Eine Vielzahl von Astronauten beschrieben den Blick auf die Erde, die hauchdünne Atmosphäre, die fehlenden Landesgrenzen, als radikale Erfahrung, die die Perspektive auf und die Verantwortung für die Menschheit, die Umwelt, und die Erde veränderte. Dieser Effekt wurde von Frank White 1987 als »Overview«-Effekt (eng. Überblick-Effekt) benannt. Neil Armstrong beschrieb einmal trefflich diesen Effekt: »It suddenly struck me that that tiny pea, pretty and blue, was the Earth. I put up my thumb and shut one eye, and my thumb blotted out the planet Earth. I didn't feel like a giant. I felt very, very small.« (Plötzlich realisierte ich, dass diese kleine Erbse, so schön und blau, die Erde war. Ich hob den Daumen, schloss ein Auge, und die Erde war verschwunden. Ich fühlte mich nicht wie ein Riese. Nein, ich fühlte mich sehr, sehr klein.)

Überhaupt ermöglichte erst die Raumfahrt den Blick auf die Erde – und trug maßgeblich zur Umweltbewegung bei. Eines der ersten dieser Bilder war das Bild »Earthrise«, das NASA-Foto AS8-14-2383HR, das am 24. Dezember 1968 von der Crew von Apollo 8 aufgenommen wurde. Nachdem Apollo 8 den Mond umrundete, eröffnete sich der Blick auf die Erde. Das Bild zeigt den Mond und dahinter, zur Hälfte von der Sonne

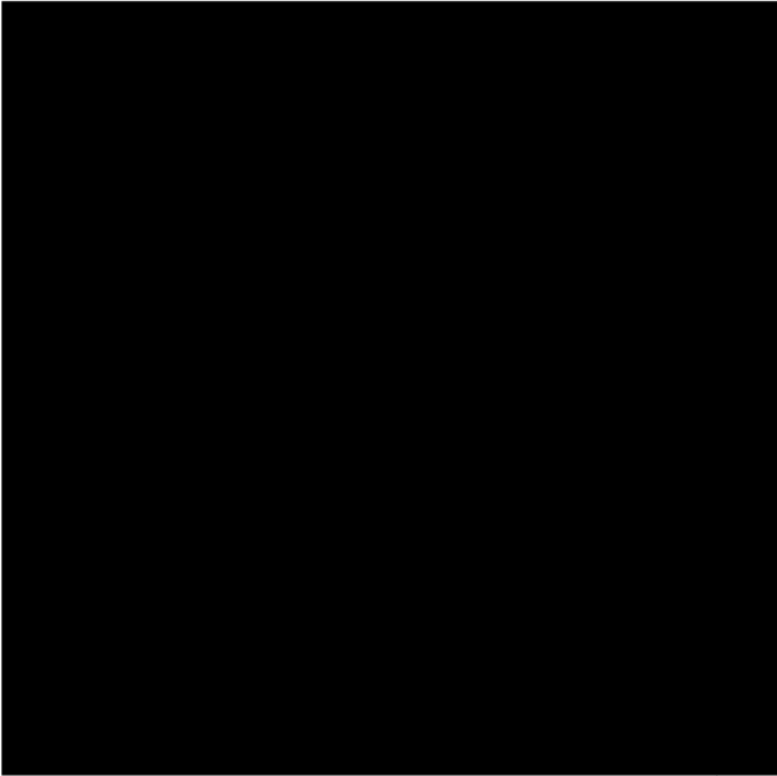


UPI / Alamy Stock Foto WOMNRF

Von der ISS aufgenommenes Foto mit Overview-Effekt: Astronauten haben berichtet, dass zwei Beobachtungen sie besonders berührten: zum einen die Zerbrechlichkeit der Atmosphäre, die sich hauchdünn am Horizont abzeichnet. Zum anderen die Abwesenheit von Staatsgrenzen, 2015.

beschienen, hängt die Erde als blau-grüne Kugel. Sterne sind durch die Helligkeit des Mondes nicht zu erkennen, wodurch der Effekt verstärkt wird, als schwebte die Erde allein in der Leere. Das Bild gilt als eine der 100 einflussreichsten Fotografien der Geschichte die auch nachhaltig die Bewegung des »Raumschiff Erde« (»Spaceship Earth«) formte.

Ähnliche ikonografische Einschläge erzeugten Aufnahmen wie »Blue Marble« (Blaue Murmel), die Apollo 17 im Jahr 1972 aufnahm und die erstmals die ganze Erde zeigte, oder auch die Aufnahme »Pale Blue Dot« (blassblauer Punkt). Diese Aufnahme entstand auf Anregung des Astronomen Carl Sagan und wurde von der Voyager 1 Sonde aufgenommen, die 1977 startete und am 14. Februar 1990 aus einer Entfernung von 6 Milliarden Kilometern die Erde aufnahm. Durch die Ringe des Saturn fotografiert, die wie hellbunte Streifen erscheinen, lässt



Wikipedia/ NASA

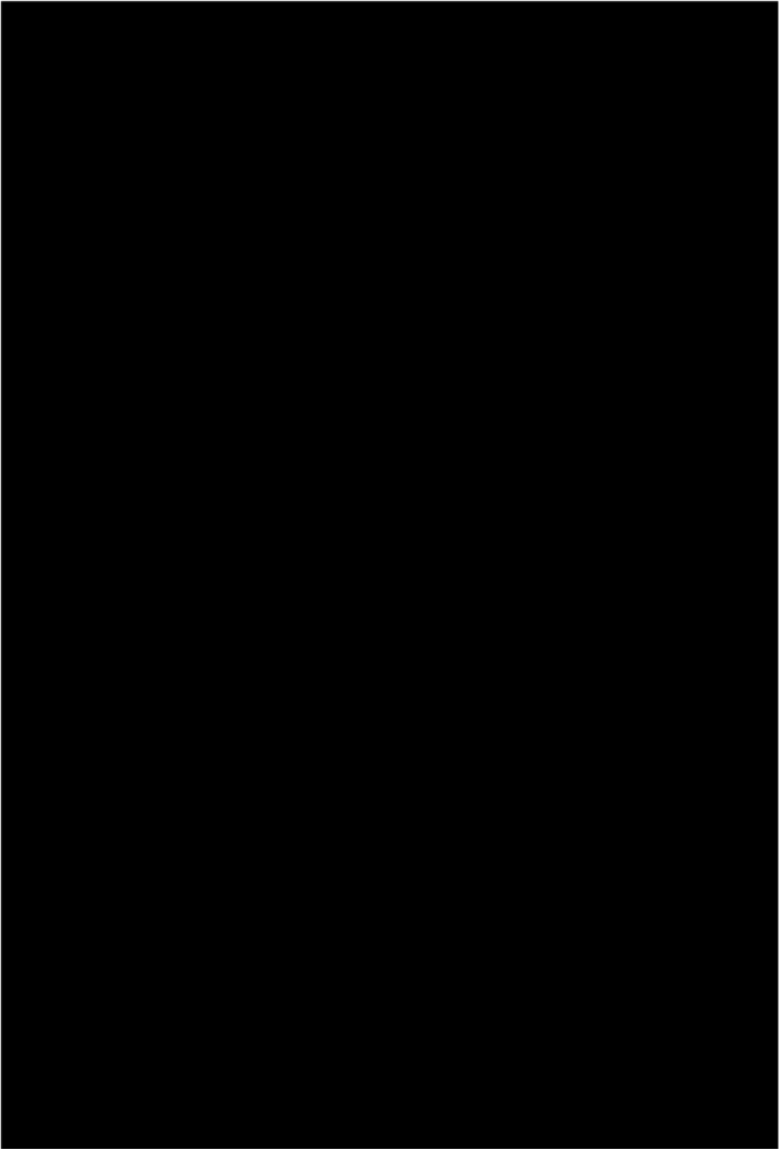
Das Bild »Earthrise« wurde am 24. Dezember 1968 von Apollo 8 aufgenommen. Das Bild wird häufig um 90 Grad gedreht abgebildet. Die hier gezeigte Orientierung entspricht der originalen Aufnahme.

sich die Erde lediglich als winziger verpixelter Fleck ausmachen. Carl Sagan schrieb in seinem philosophischen Werk »Pale Blue Dot« trefflich über die Erkenntnis, dass die gesamte Menschheit auf diesem kleinen Fleck in der kosmischen Dunkelheit lebt: »Look again at that dot. That's here. That's home. That's us. On it everyone you love, everyone you know, everyone you ever heard of, every human being who ever was, lived out their lives.« (Sieh dir diesen Fleck an. Das ist hier. Das ist Heimat. Das sind wir. Auf diesem Fleck leben alle Menschen,

die sie lieben, alle Menschen, die sie kennen, alle Menschen von denen du je gehört hast, jeder Mensch der je gelebt hat, hat hier gelebt.) Das Bild diente keinem wissenschaftlichen Zweck, geriet jedoch ähnlich ikonisch wie die bereits genannten Bilder.

Fazit

Die Beobachtung des Himmels, die Interpretation dieser Beobachtung oder der Wunsch diese Beobachtungen zu erklären bis hin zu der Frage welche Rolle der Mensch selbst im Universum spielt ist die Triebfeder, die Neugierde, die die Menschheit dazu anhielt, immer neue Ideen mit immer neuen Technologien weiterzuentwickeln und die die Menschheit befähigt haben in den Erdborbit und zum Mond zu reisen. Die Leistungen im Kontext der Raumfahrt sind daher nur der vorläufige Zwischenstand der Beziehung zwischen der Menschheit und dem Weltraum. Ideen und Utopien leiten die Menschheit auch weiterhin auf ihrem Weg zu den Sternen.



NASA, Dimitri Gerondidakis

Die öffentliche Vorstellung des Raumschiffs Dragon V2 im Space X-Hauptquartier in Hawthorne, Kalifornien, 2014.

Heute

Kommerzialisierung

Frühe Kommerzialisierung

Wenn über die Kommerzialisierung der Raumfahrt gesprochen wird, dann wird meist im selben Satz der Name Elon Musk und SpaceX genannt. Auch wenn der Upstream-Markt, und hier insbesondere der Launcher-Markt, verglichen mit anderen Feldern der Raumfahrt verhältnismäßig klein ist, steht er sinnbildlich für die utopische Zukunft der Menschheit im Welt- raum, denn ihm kommt eine Schlüsselrolle zu. Ohne den Start von Raumfahrzeugen kann es keine Raumfahrt geben und je günstiger diese werden, desto mehr Operationen im Weltraum werden möglich. Der Upstream-Markt ist daher der Flaschen- hals der Kommerzialisierung – und SpaceX transformiert die- sen radikal. Den Wandel dieses Marktes zu verstehen, schafft erst die Grundlage um den Hype um den sogenannten *New Space* zu verstehen.

Die Kommerzialisierung der Raumfahrt ist nicht so radikal neu, sondern begleitet diese seit Beginn des Raumfahrtzeit- alters. Der erste zivil-kommerzielle Satellit Telstar I wurde be- reits am 10. Juli 1962 als Gemeinschaftsprojekt der NASA und dem Telekommunikationsunternehmen AT&T gestartet. Bereits am 31. August 1962 unterzeichnete der US-Präsident John F. Kennedy den Communications Satellite Act, der private Satel- liten legalisierte. Der Downstream-Markt wurde in den 1980er- Jahren weiter liberalisiert und ist heute bei neuralgischen

Systemen wie Navigation (GNSS, Global Navigation Satellite Services) wie dem amerikanischen GPS, dem europäischen Galileo, dem russischen GLONASS und dem chinesischen Beidou in staatlicher Hand. Das betrifft ebenso Netzwerke zur Erdbeobachtung wie das europäische Copernicus. Doch die meisten Kommunikationsanwendungen werden von privaten Akteuren angeboten. Raketenstarts hingegen waren von Beginn eine Domäne des Staates. Gab es in der Sowjetunion gar keine kommerziellen Akteure, so gab es auch in den USA einen vom Staat bestellten Markt: die NASA bestellte die Raketen und Starts bei den US Luft- und Raumfahrtkonzernen Douglas Aircraft Corporation (Delta Raketenfamilie), General Dynamics Convair (Atlas Raketenfamilie) und Martin Marietta (Titan Raketenfamilie) und überwachte den Start.

Hinsichtlich privat-kommerzieller Raketenstarts kamen erstmals aus Europa Impulse. 1960 keimte mit der ESRO (European Space Research Organisation) und ELDO (European Launcher Development Organization) die europäische Raumfahrt, beide Organisationen wurden 1975 in der ESA zusammengeführt. Das Raketenprojekt Europa, unter ELDO entwickelt, schlug wegen mangelnder Zusammenarbeit der Partner fehl, wurde dann aber zur Grundlage der Ariane getauften Raketenfamilie, die am 24. Dezember 1979 erfolgreich getestet wurde. Die europäischen Staaten finanzierten die Entwicklung einer Trägerrakete, die dann durch ein Unternehmen, an dem die Staaten beteiligt sind, kommerziell vermarktet werden sollte. Am 26. März 1980 wurde das Unternehmen Arianespace mit diesem Ziel gegründet.

In den USA gab es unter Präsident Reagan 1984 Bestrebungen den Markt für kommerzielle Launcher zu liberalisieren und tatsächlich gab es in den 1980er-Jahren privat-kommerzielle Anstrengungen. Der erste vollständige privat-kommerzielle Start fand am 9. September 1982 statt, als das Unternehmen Space Services Inc. eine Conestoga I, eine umgebaute Minuteman Interkontinentalrakete, startete. Dennoch sollte es fast 20 Jahre dauern, bis die privat-kommerzielle Raumfahrt in

Schwung kam. Dabei waren weder die Ideen noch die Technologie das Problem. Das größte Hindernis war die NASA, denn diese wachte über sämtliche Raketenstarts mit hohen regulatorischen Hürden. Nach dem Ende des Mondprogramms drohte der NASA ein Bedeutungsverlust. Daher versuchte die NASA sich als alleiniger Anbieter im Upstream-Markt festzusetzen und jegliche Bedarfe – zivil, militärisch, kommerziell – abzudecken. Selbst das US-Verteidigungsministerium willigte widerstrebend ein. Das Ergebnis war das Space Transportation System, gemeiner bekannt als Space-Shuttle. Nach der Challenger-Katastrophe vom 28. Januar 1986, bei der sieben Astronauten starben, wurde dem Space-Shuttle für zwei Jahre die Flugerlaubnis entzogen. Eine Kommission kam zu dem Ergebnis, dass es in der Managementebene der NASA erhebliche Fehlkalkulationen von Risiken und allzu optimistische Projektionen gab. Auch offenbarte das Unglück eine zu große Abhängigkeit von einem einzigen Raumfahrzeug. Kommerzielle Raketenstarts wichen nun auf die europäische Ariane aus, die in der Folge zum erfolgreichsten kommerziellen Launcher aufstieg.

1990 folgte eine Gesetzgebung, die die NASA anwies, wann immer möglich auf privat-kommerzielle Anbieter zurückzugreifen – effektiv wurde das Monopol für das Space-Shuttle zurückgenommen. Dennoch blieb es für private Akteure aufgrund der regulatorischen Anforderungen der NASA nahezu unmöglich Raketenstarts durchzuführen. Erst 2004 folgte ein Durchbruch, als privat-kommerziellen Akteuren eine »Lernphase« mit einer geringeren Regulationslast eingeräumt wurde. Zeitgleich verkündete US-Präsident George W. Bush seine »Vision for Space Exploration« (Vision für die Raumfahrt), das in das Constellation-Programm überführt wurde. Dies war auch eine Reaktion auf die Columbia-Katastrophe vom 1. Februar 2003, bei dem durch eine schadhafte Keramikplatte am Flügel heißes Plasma eindrang und die Raumfähre zerstörte. Der Bericht offenbarte abermals eine ungenügende Fehlerkultur bei der NASA und sprach sich für ein Ende des Shuttle-Programms

nach dem Abschluss des Aufbaus der ISS aus. Von nun an sollten privat-kommerzielle Akteure den Start von Raketen übernehmen.

Kommerzialisierung als Problemlösung

Die Ausgangslage war 2004 also die folgende: das Space-Shuttle hatte ein Ablaufdatum erhalten, danach würde die USA, der Gewinner des *Space Race*, keinen unabhängigen Zugang zum Weltraum mehr haben und müsste ihre Astronauten mithilfe Russlands und der Soyuz – Raketentechnik der 1960er-Jahre – ins All bringen. Die US-Regierung hatte den Launch Markt dereguliert, sodass auch NASA sich nicht mehr den privat-kommerziellen Akteuren widersetzen konnte.

Langsam betrat eine neue Riege finanzstarker Unternehmer die Bühne, ein »Goldrausch« brach aus, weshalb auch vom »billionaire *Space Race*«, dem Wettlauf in den Weltraum der Milliardäre, gesprochen wird. Dazu gehören Elon Musk mit SpaceX, Amazongründer Jeff Bezos mit dem Unternehmen Blue Origin, als auch Richard Branson mit Virgin Galactic. Musk hatte im Silicon Valley PayPal mit aufgebaut und suchte für sich und sein Geld eine neue Verwendung. Wie seiner Biografie zu entnehmen ist, interessierte sich Musk ab 2001 für die Raumfahrt und eine Mars-Besiedelung. Als er weder bei der NASA Pläne für eine Mars-Reise fand noch Erfolg damit hatte, einen Raketenstart eigenhändig zu finanzieren, um ein eigenes Experiment auf den Mars zu bringen, entschied sich Musk ein eigenes Raumfahrtunternehmen zu gründen: die Geburtsstunde von Space Exploration Technologies Corporation, kurz SpaceX im Jahre 2002. SpaceX entwickelte eine Rakete, die Musk in Anlehnung an den Millennium Falcon aus Star Wars die »Falcon« taufte.

Nun verbanden sich zwei Entwicklungen: auf der einen Seite fehlte den USA auf absehbare Zeit ein unabhängiger Zugang zum Weltraum. Nach der verheerenden Columbia-Katastrophe verfügten die USA über keinen Zugang mehr zum

Weltraum. Auch ließ der gesetzliche Rahmen der NASA keine Wahl, als privat-kommerzielle Akteure für Upstream-Aktivitäten zu beauftragen. Auf der anderen Seite stand ein Millionär mit dem Willen die Raumfahrt durch neue Management-Methoden zu transformieren. Doch um dies zu erreichen, musste SpaceX an die Fördertöpfe der NASA kommen, die dem Unternehmen bislang verschlossen geblieben waren. Die US-Luft- und Raumfahrtindustrie ist nicht nur eine technisch hoch spezialisierte Branche, es ist auch eine Branche, die sehr eng mit der US-Regierung verwoben ist. Insbesondere die großen Luft- und Raumfahrtkonzerne wie Boeing oder Lockheed-Martin beziehen gut 80 % ihres Auftragsvolumens von der US-Regierung. In der Raumfahrt hatte sich sogar eine »Drehtür«, zwischen Industrie und NASA etabliert, sodass Manager zwischen beiden Seiten hin und her wechselten und gegenseitig für Aufträge sorgten.

Dies zeigte sich in Fall von Kistler Aerospace. Geschäftsführer von Kistler war George Mueller, ein ehemaliger NASA-Manager. 2004 erwarb Kistler von der NASA einen Vertrag über 227 Mio. US-\$ zur Versorgung der ISS. Elon Musk protestierte, da der Vertrag ohne Ausschreibung vergeben wurde. Das Government Accountability Office, das in etwa dem deutschen Bundesrechnungshof entspricht, urteilte zugunsten von SpaceX und die NASA zog den Vertrag zurück. Um die Entwicklung privat-kommerzieller Startkapazitäten zu fördern, etablierte die NASA 2006 ein Programm zur Förderung kommerzieller orbitaler Transportdienstleistungen, das Commercial Orbital Transportation Services Programm (COTS), aus dem SpaceX und Orbital Sciences Corporation siegreich hervorgingen. Nach der Entwicklung und dem erfolgreichen (vierten) Start der Falcon 1 am 28. September 2008 erwarb SpaceX einen Vertrag aus dem NASA-Programm zur Versorgung der ISS, dem Commercial Resupply Services (CRS) Programm. Damit war SpaceX der Durchbruch gelungen – und die Raumfahrtindustrie begann sich zu verändern.

Classic Space vs. *New Space*

Historisch ist die etablierte Raumfahrtindustrie, auch »classic space«, risikoavers, was in der Technologie selbst und in der Gestaltung des Marktes begründet ist. Da es sich bei Raumfahrttechnologie um Hochtechnologie handelt, ist die Entwicklung langwierig und wird vielfach in Handarbeit hergestellt: die Entwicklung ist teuer. Wenn ein Trägersystem nach vielen Jahren Entwicklung mit einem ebenfalls seit Jahren in Entwicklung befindlichen sehr teuren Satelliten beim Start zerstört wird, wirft das kein gutes Licht auf eine Institution wie die NASA, die stark vom politischen Willen abhängig ist – deshalb etablierte die NASA hohe regulatorische Hürden. Ebenso sind die Luft- und Raumfahrtkonzerne wenig interessiert, effiziente oder günstige Raumfahrzeuge zu entwickeln: der prinzipielle Käufer ist der Staat – und der ist selten insolvent. Daraus ergab sich ein Finanzierungsmodell, das als »Kosten Plus«-Modell (»cost plus«) bezeichnet wird. Aufträge werden für einen Preis angeboten, der um einen Betrag X, der sich hinter dem »plus«-Zusatz verbirgt, gesteigert werden kann. Die NASA schrieb daher Spezifikationen für ein Raumfahrzeug aus, die Industrie bot für den Bau einen Preis an. Die NASA behielt stets die Kontrolle, was über zeit- und kostenintensive Hierarchieebenen umgesetzt wurde. Die Industrie hatte keinen Anreiz zu sparen, die NASA wollte ja sowieso auf Nummer sicher gehen und je länger das Entwicklungsprojekt lief, desto besser für den Konzern. Politiker konnten durch den Erhalt dieses Modells in ihren Wahlkreisen Hochtechnologie-Arbeitsplätze erhalten, denn Luft- und Raumfahrtkonzerne sind über die ganzen USA verteilt und arbeiten mit einer Vielzahl von spezialisierten Fachfirmen zusammen. Allein die neue amerikanische Mondrakete, das Space Launch System, die ab 2011 aus Teilen des Constellation-Programms zusammengebaut wurde, das wiederum auf Bauteilen des Space-Shuttle basierte, kostet pro Start 4 Milliarden US-\$ und startete erst 2022 statt 2016. Auf der gesamten Linie von der Entwicklung bis hin zum Start eines

Raumfahrzeugs gab es unter dem »cost plus«-Modell keinerlei Anreize Zeit und Kosten zu sparen, da alle beteiligten Akteure von diesem Modell profitierten.

Der politische Druck auf die NASA, das »cost plus«-Modell zu beenden stieg immer weiter, dennoch widersetzte sich die Organisation lange Zeit diesem Druck, weil sie einen Verlust ihrer herausgehobenen Bedeutung im Raumfahrtprogramm der USA fürchtete. Durch die fehlende Unterstützung der NASA gelang es kaum Unternehmen einen kommerziellen Launcher zu realisieren. SpaceX realisierte letztlich den Ansatz, zu dem auch die NASA politisch gedrängt wurde: SpaceX bietet seine Dienstleistungen für einen Festpreis an. Das Unternehmen sorgt für die Durchführung und hat Anreize möglichst effizient seine Dienstleistung zu erfüllen, weil es dann mehr verdient. Alles wird innerhalb des Unternehmens entschieden – das spart Zeit und Geld. Die Geburtsstunde kommerzieller Raumfahrtaktivitäten, des so genannten »*new space*«, in Abgrenzung zum »*classic space*«.

Das Arbeitspferd von SpaceX, Falcon 9, trug ab 2010 die Versionsnummer v1.0, fünf Starts später wurden neue Triebwerke verbaut (Version v1.1) und 2015 kam die v1.2. Aktuell fliegt vor allem die Falcon 9 Block 5 von 2018 – die mit dem Raumschiff Crew Dragon auch Astronauten befördern darf. Beim Aufbau von SpaceX griff Musk auf Erfahrungen des Silicon Valley zurück: flache Hierarchien (vertikale Integration), modulare Bauweise, der Bau im Hause und der Rückgriff auf günstige, standardisierte Lösungen drücken die Kosten und ermöglichen ein möglichst agiles Vorgehen. Ein Vorgang ist bekannt geworden, bei dem ein Radiosystem von einer Fachfirma mit besonderer Weltraumhärtung 100.000 US-\$ kosten sollte. Musk beauftragte seine Ingenieure ein System für maximal 10.000 US-\$ zu bauen – diese unterboten den Preis mit 5.000 US-\$ sogar. Ein Start einer Falcon 9 kostet daher gerade einmal 70 Mio. US-\$ und kann zwischen 17,5 Tonnen und knapp 23 Tonnen in einen niedrigen Erdborbit heben – je nachdem, ob die Rakete wiederverwendet werden soll. Das

setzt die Kosten pro Start auf rund 2.500 US-\$ pro kg. SpaceX ist daher im Vergleich äußerst innovativ. Bis heute ist die Falcon 9 eine der mit Abstand günstigste Rakete mit einer außerordentlichen Erfolgsrate: 402 Raketen wurden gestartet, von denen 399 erfolgreich flogen, eine Erfolgsrate von über 99 % (Stand 05. November 2024).

2011 begann SpaceX die Wiederverwendbarkeit von Raketenbauteilen zu testen. Dabei sollten beide Stufen wiederverwendet werden können – sowohl die erste Stufe (der Booster), die das Raumfahrzeug in den Weltraum befördert, und die zweite Stufe, die die Nutzlast zu ihrem Ziel bewegt. Zu Beginn wurde SpaceX von der etablierten Raumfahrtindustrie belächelt. Doch mittlerweile hat SpaceX rund 352-mal Booster gelandet und einzelne Booster flogen bis zu 23-mal (Zahlen vom 14. Oktober 2024). Es ist SpaceX am 14. Oktober 2024 sogar gelungen den 250 Tonnen schweren Booster des Starship mit dem Landeturm »Mechazilla« aufzufangen – eine meisterhafte Ingenieurleistung. SpaceX hat Arianespace als das Unternehmen mit den meisten Raketenstarts schon 2018 abgelöst. Auch die neue Ariane 6, die erstmals 2024 flog, gilt schon zu ihrem Jungfernflug als veraltet, ist nicht wiederverwendbar und ebenfalls deutlich hinter ihrem Zeit- und Kostenplan. Die Ariane ist ein Relikt aus einer vergangenen Zeit, deren maßgebliche Bedeutung der strategischen Entscheidungen geschuldet ist, Europa einen unabhängigen Zugang zum Weltraum zu gewährleisten. Einzig dem angespannten Raumfahrtmarkt ist es geschuldet, dass auch Arianespace mit der Ariane 6 vorerst volle Auftragsbücher hat.

Auch Falcon Heavy – eine aufgemotzte, zusammengeschaltete Version der Falcon 9 mit drei Boostern, die erstmals 2018 startete, ist in Teilen wiederverwendbar und bewegt ihre Nutzlast pro kg für rund 1.400 US-\$. Beim Jungfernflug der Falcon Heavy am 6. Februar 2018 landeten auf Anhieb zwei der drei Booster erfolgreich. Die Falcon Heavy ist vollständig aus privaten Mitteln finanziert und kostete rund 500 Mio. US-\$ an Entwicklungskosten – vergleichsweise wenig für eine schwere



Wikipedia/Space X

Landung der Booster beim Jungfernflug von Falcon Heavy am 6. Februar 2018.

Trägerrakete, die rund 64 Tonnen in einen niedrigen Erdorbit befördern kann. Die Entwicklung der Falcon 9 kostete nach Schätzungen von SpaceX zwischen 300 und 390 Mio. US-\$. Nach Schätzungen der NASA hätte sie die Entwicklung einer Falcon 9 nach dem cost plus-Modell bis zu 4 Milliarden US-\$ gekostet. Auch die Ariane 6, die je nach Konfiguration als Ariane 62 oder 64 zwischen 10 und 20 Tonnen befördern kann und damit in derselben Gewichtsklasse wie die Falcon 9 liegt, kostete in der Entwicklung rund 4 Milliarden US-\$ – und die Mitgliedstaaten werden dauerhaft jährlich Mio. Euro zuschießen müssen, damit die Ariane 6 auf dem Markt konkurrenzfähig bleibt.

Auch das Raumschiff von SpaceX, Dragon, ist ein voller Erfolg. Crew Dragon wurde im Rahmen eines 2010 aufgelegten Programms zur Entwicklung eines Raumfahrzeugs für Astronauten, dem Commercial Crew Development-Programm (CCDev) der NASA, entwickelt und kostete 3 Mrd. US-\$. Sie flog erstmals 2020 und ist seitdem im Routineeinsatz zur ISS

unterwegs. Boeings Starliner kostete 5 Mrd. US-\$ aus dem CCDev-Programm – der erste bemannte Flug 2024 zur ISS endete im Fiasko, da eine Vielzahl von technischen Schwierigkeiten dazu führte, dass die beiden US-Astronauten für mehrere Monate auf der ISS strandeten. Und offenbar überlegt Boeing die Raumfahrtsparte gänzlich abzustoßen.

Neben den großen Launchern der Milliardäre entwickelt sich im Schatten dessen ein Ökosystem neuer Raumfahrtunternehmen. Auch in Deutschland findet *New Space* seinen Niederschlag. So wird Deutschland neuerdings wieder zu einem Land der Raketenbauer. Die Unternehmen Isar Aerospace, die Rocket Factory Augsburg und Hylimpulse bauen Microlauncher, kleinere Raketen mit einer Nutzlast von 1-2 Tonnen. Der Bund Deutscher Industrie veranstaltet regelmäßig einen Weltraumkongress und verfolgt mit der German Offshore Spaceport Alliance die Etablierung eines Raketenstartplatzes in der Nordsee in Form eines Schiffes, von dem aus kleineren Raketen in den Weltraum starten sollen.

Die Erfolge von SpaceX inspirieren nicht nur. SpaceX gilt als Paradebeispiel für *New Space*, einen neuen Modus der Entwicklung von Raumfahrttechnologien und deren Finanzierung. Fallende Startpreise sind dabei bloß eine Komponente, vielmehr schafft der Erfolg von SpaceX Vertrauen in einen Markt, der unabhängiger von politischen Mehrheiten ist. Prognosen den Markt für Raumfahrtanwendungen betreffend unterstreichen diese Aufbruchsstimmung. Dies hat jedoch auch Schattenseiten. Die klassischen Raumfahrtagenturen werden zunehmend ihrer Expertise enthoben. Warum sollte ein Ministerium nicht direkt mit einem Raumfahrtunternehmen kooperieren und den Umweg über die Raumfahrtagentur wählen? Auch das ist ein Grund, weshalb es innerhalb etablierter Raumfahrtagenturen wie NASA, ESA, DLR und vielen anderen zunehmend darum geht, den *New Space*-Bereich zu stützen und zu entwickeln, etwa indem der Staat Zugang zu technischer Expertise und zu Fördermitteln ermöglicht und sich selbst als »Ankerkunde« etabliert. *New Space* ist gekommen, um zu bleiben.

Miniaturisierung und Massenfertigung: Konstellationen

Analysten größerer Investmentbanken und Consulting-Unternehmen errechneten 2017, dass der Raumfahrtsektor einen gewaltigen Zuwachs erleben würde. Von 2021 mit 320 Milliarden EUR läge die prognostizierte Entwicklung bei rund 1,25 Billionen EUR bis 2040. Auch wenn der Trend zu *New Space* im Upstream-Markt zu finden ist, liegen die größten Potenziale im Downstream-Markt. Dieser Markt ist schon heute mehr als dreimal so groß wie der Upstream-Markt. Das trifft besonders die Miniaturisierung von Raumfahrttechnologie, mit denen sinkende Kosten einhergehen. Gemäß Moore's Gesetz, nach dem sich die Größe von Computer-Chips alle zwei Jahre halbieren, reduziert sich bei steigender Leistung auch im Bereich der Raumfahrttechnologie die Größe der Technologie. Das führt dazu, dass zunehmend CubeSats eingesetzt werden: CubeSats sind würfelförmige Satelliten mit einer Kantenlänge von 21 cm, die bereits für rund 100.000 US-\$ gebaut werden können und damit auch für kleine Unternehmen oder Forschungseinrichtungen finanzierbar sind.

Ein zweiter Trend betrifft die Standardisierung von Raumfahrttechnologie wie Satelliten. Frühe Satelliten waren entweder kompakt, aber wenig leistungsfähig, oder eben sehr groß – und dadurch sehr komplex und teuer. Diese wurden oft in Handarbeit hergestellt, da ohnehin nur eine kleine Stückzahl benötigt wurde. Skalierungseffekte durch Massenproduktion galten als praktisch unmöglich. Wie bereits angesprochen sorgt die Miniaturisierung dafür, dass Satelliten zunehmend deutlich kleiner gebaut werden können, oft in der Größe kleiner als 500 kg – wie die Satelliten des Satellitennetzwerks Starlink. Zum Vergleich: Ein GPS-Satellit wiegt 2,3 Tonnen, das James Webb Teleskop wiegt 6 Tonnen. Darüber hinaus werden diese kleinen Satelliten nicht mehr in Handarbeit gefertigt, sondern zunehmend industriell – was wiederum die Kosten senkt. Durch die fallenden Startkosten, durch Miniaturisierung und die Massenfertigung werden Satelliten zur Massenware,

die zu Tausenden im Orbit eingesetzt werden und einfach ersetzt werden, sollte ein Satellit einmal ausfallen. Diese Satellitennetzwerke sind umfangreicher und komplexer als etablierte Netzwerke. Navigationssatelliten wie das amerikanische GPS, das europäische Galileo, das russische GLONASS und das chinesische Beidou operieren mit je rund 30 Satelliten. Neuere Konstellationen arbeiten mit Hunderten oder Tausenden Satelliten, die die permanente Bereitstellung von Dienstleistungen wie Satelliteninternet ermöglichen und die günstig und in Massen in Orbit gebracht werden und durch ihre Zahl resilient gegen Angriffe oder Ausfälle sind.

Laut Statista³ operierten 2016 rund 1.600 Satelliten im Orbit. Am 1. Mai 2023 befanden sich laut der Union of Concerned Scientists (UCS)⁴ bereits 7.500 Satelliten im Orbit. Derzeitig – Stand 20. September 2024 – operieren, gemäß ESA⁵, rund 10.000 funktionsfähige Satelliten im Orbit. Weitere 3.000 sind funktionsunfähig. In acht Jahren sind rund 7.400, allein im letzten Jahr rund 2.500 Satelliten hinzugekommen. Allein SpaceX plant den Aufbau eines Netzwerks mit bis zu 13.000 Satelliten, mit der Option auf bis zu 34.000 Satelliten. Amazons Kuiper soll ebenfalls rund 3.000 Satelliten umfassen. OneWeb und TeleSat planen je einige Hunderte. Europa arbeitet auch an einem eigenen Satellitennetzwerk, IRIS² (Infrastructure for Resilience, Interconnectivity and Security by Satellite) und soll einmal rund 290 Satelliten umfassen und viele weitere Netzwerke sollen folgen. Diese Netzwerke sind auch ein Grund für den Boom im Upstream-Markt.

Konstellationen haben fundamentale Vorteile: sie bieten eine hervorragende Abdeckung überall auf der Erde, selbst in den entferntesten Orten. Starlink hat nach der Flutkatastrophe im Ahrtal für Kommunikationsmöglichkeiten gesorgt und wird auch in der Ukraine eingesetzt. Die Netzwerke sind

3 Siehe <https://www.statista.com/statistics/897719/number-of-active-satellites-by-year/>

4 Siehe <https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database>

5 Siehe https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris/Space_debris_by_the_numbers

äußerst resilient, da der Ausfall eines Satelliten – etwa durch Fehlfunktionen, Angriffe, oder Unfälle wie Kollisionen – durch andere Satelliten kompensiert wird. Allerdings steigt mit weiteren Satelliten die Gefahr eines Zusammenstoßes und der Erzeugung von Weltraumschrott. Astronomen warnen, dass die Satelliten astronomische Beobachtungen zunehmend stören – die Starlink-Satelliten sind in einer klaren Nacht bereits mit dem bloßen Auge als Perlenkette von Lichtern am Himmel zu beobachten. Wie auch immer die Vorzüge als auch die Kosten von Konstellationen zu bewerten sind: sie wird in Zukunft nur noch mehr zunehmen und viele Geschäftsmodelle bestimmen.

Weltraumtourismus

Als erster Weltraumtourist gilt der US-Unternehmer Dennis Tito, der zwischen 28.04.2001 und 06.05.2001 mithilfe einer russischen Soyuz die ISS besuchte und dafür 20 Mio. US-\$ bezahlte. Es folgten eine Handvoll wohlhabender Menschen, die mit staatlichen Flügen zur ISS flogen. Seit einigen Jahren bieten auch privat-kommerzielle Raumfahrtunternehmen reguläre Raumflüge an.

Den ersten privaten suborbitalen Flug absolvierte SpaceShipOne des Unternehmens Scaled Composites. Andere Anbieter sind SpaceShipTwo von Virgin Galactic, ebenso Blue Origin, das bislang insgesamt rund 60 Touristen befördert hat. Dabei handelte es sich bei der Mehrzahl um suborbitale Flüge, also solche, bei denen das Raumfahrzeug zwar höher als die 100 km steigen kann, jedoch keinen stabilen Orbit erreicht und wieder zurück zur Erde fällt. Das ermöglicht, einige Minuten Schwerelosigkeit zu erleben. Längere und »echte« Raumflüge jenseits der Atmosphäre wurden bisher mithilfe einer Falcon 9 von SpaceX und der Crew Dragon durchgeführt: Der erste Flug fand im September 2021 statt, als drei Touristen die Erde umrundeten (Mission Inspiration4). Im April 2022 flogen vier weitere Touristen in den Weltraum (Mission Axiom1). Diesmal war der Organisator das Unternehmen Axiom. Beim



ZUMA Press, Inc. / Alamy Stock Foto 2H64A73

Mannschaft an Bord der New Shepard des US-Unternehmens Blue Origin. Prominenter Gast: Schauspieler William Shatner, Darsteller von Captain James T. Kirk aus der Serie Star Trek.

letzten Flug (Mission Polaris Dawn), im September 2024, durchgeführt von SpaceX, stiegen vier Touristen in eine elliptische Umlaufbahn auf 1.400 km auf. Bei 750 km führten die Touristen mit den neuesten SpaceX Raumanzügen einen »Stand-Up-EVA« (Extra Vehicular Activity, Außenbordeinsatz) durch und führten darüber hinaus während der Mission eine Reihe von wissenschaftlichen Experimenten durch. Fallende Startpreise werden zunehmend zu touristischen Aktivitäten führen, sogar Hotels im Weltraum sind im Gespräch. Der Weltraumtourismus hat jedoch gerade erst begonnen.

Menschen, die in den Weltraum reisen sind nicht zwangsläufig Astronauten. Die FAA hat die Definition eines Astronauten dahingehend erweitert, dass neben dem Erreichen der 62 Meilen (ca. 80 km) die Menschen einen wichtigen Beitrag zur Missionsdurchführung beitragen müssen – Piloten von SpaceShipOne gelten demnach als kommerzielle Astronauten, Touristen an Bord der vollautomatisierten Raumfahrzeuge von Blue Origin jedoch nicht.

Fazit

Die Kommerzialisierung hat der Raumfahrt eine neue Richtung gegeben, die insbesondere den Upstream-Markt radikal transformiert und eine neue Weltraumbegeisterung ausgelöst hat. SpaceX ist dabei das populärste Beispiel für den *New Space*, in dessen Folge die Raumfahrtindustrie risikoreicher geworden ist und mehr Kapital anlockt. Der Erfolg von SpaceX hat den Flaschenhals der Raumfahrt – die Kosten für Starts – massiv gesenkt, und befeuert dadurch die weitere Kommerzialisierung. Sie hat auch gezeigt, dass sich Investitionen in die Raumfahrt rentieren können – und lockt dadurch zusätzliches Kapital für die Kommerzialisierung an.

Die Kommerzialisierung könnte dazu beitragen, dass die Menschheit in den Weltraum vorstoßen und das Sonnensystem besiedeln wird. Fragen der Gerechtigkeit als auch der Einfluss auf das Klima und die Vermüllung des Orbits zeichnen sich bereits heute ab und es bleibt unklar in welche Richtung sich das Weltraumrecht entwickeln wird. Ob ein Weg gefunden werden kann, der die Interessen aller Menschen am Weltraum berücksichtigt steht deshalb in den Sternen. Es entstehen aber auch handfeste irdische Herausforderungen. Die NASA ist langfristig an ein Unternehmen wie SpaceX gebunden. Dies hat die NASA unbedingt vermeiden wollen. Trotz aller Schattenseiten wird sich die Kommerzialisierung der Raumfahrt dank sinkender Kosten weiter durchsetzen.

Demokratisierung

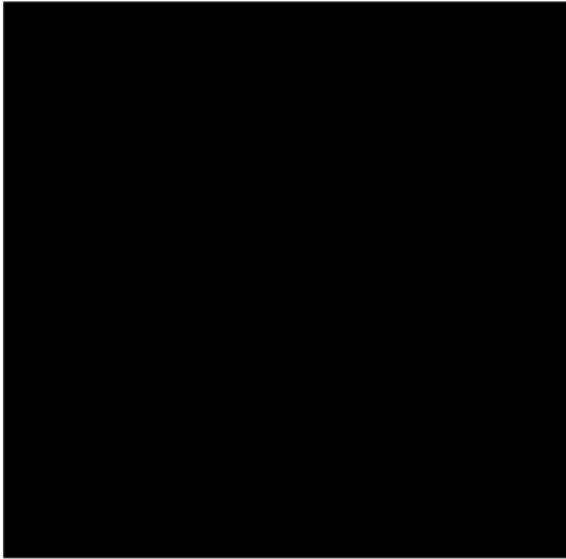
Ausweitung von Raumfahrtaktivitäten

Ein weiterer Trend ist die »Demokratisierung«. Die Demokratisierung der Raumfahrt lässt sich insofern verstehen, dass eine Vielzahl von Staaten ihre Ambitionen in der Raumfahrt

ausbauen. Das lässt sich am deutlichsten durch die von der Kommerzialisierung ausgelösten Dynamiken – insbesondere fallende Startpreise und die Miniaturisierung und Industrialisierung der Satellitenfertigung – erklären. In den vergangenen Jahren hat die Zahl der nationalen Organisationen, die sich mit der Raumfahrt befassen, kontinuierlich zugenommen. Die Größe und die Organisationsform schwankt dabei stark – von vollständigen Raumfahrtagenturen über einzelne Büros oder auch nur Abteilungen innerhalb eines Ministeriums ist alles dabei. Zugleich variieren die technischen Fähigkeiten der Organisationen und der Staaten ebenso massiv. Laut des Policy Brief 7 »For All Humanity – the Future of Outer Space Governance« von UNOOSA hat die Zahl der Staaten im UN COPUOS kontinuierlich zugenommen. 2022 zählte dieser 102 Staaten – allein innerhalb des Zeitraums 2000 bis 2022 sind 40 Staaten hinzugekommen. Auch die Zahl der Staaten mit mindestens einem Satelliten im Orbit nimmt zu. Innerhalb des Zeitraums 2000 bis 2022 sind 50 Staaten hinzugekommen, auf 91 im Jahr 2022. Der Weltraum nimmt an Bedeutung für Gesellschaften zu. Die Raumfahrt ist zu einem gewissen Grad also durchaus demokratischer geworden, insofern mehr Akteure Interessen im Weltraum verfolgen.

Weltraumschrott

Im vorhergehenden Kapitel wurde bereits die Zahl der Satelliten im Orbit genannt – und ebenso aufgezeigt, dass mit einer weiteren Zunahme an Objekten im Weltraum zu rechnen ist. Die meisten Objekte tummeln sich im niedrigen Erdorbit von 100 bis 2000 km. Nicht alle sind funktionsfähig, und so finden sich veraltete Raumfahrzeuge oder Satelliten, solche mit Fehlfunktionen, verlorene Ausrüstung, Schrottteile von Waffentests oder bereits zerstörter Raumfahrzeuge oder ausgebrannte Raketenstufen. Da Objekte mit rund 28.000 km/h um die Erde fallen, tragen sie automatisch eine potenziell vernichtende kinetische Energie. Trifft ein Objekt ein anderes ist die



Wikipedia/NASA employee

Beispielbild für eine Computersimulation der NASA zu Weltraumschrott.

Wirkung mitunter katastrophal und kann schnell ein Raumfahrzeug oder Satellit vernichten. Ein getroffenes Objekt zerlegt sich dabei effekteich in unzählige Einzelteile die ihrerseits als tödliche Geschosse durch den Erdorbit ziehen. Eine solche Kollision fand am 10. Februar 2009 statt, als der ausgediente russische Satellit Kosmos 2251 und der Kommunikationssatellit Iridium 33 in 800 km Höhe kollidierten und Tausende Fragmente Weltraummüll (space debris) verteilten. Daraus entsteht das Risiko eines Kaskadeneffekts: ein zerstörtes Objekt entwickelt sich zu einer Geschosswolke, die weitere Objekte trifft, die sich wiederum vervielfachen usw. Dieser »Kessler-Effekt« ist benannt nach dem Astronom Donald J. Kessler, der bereits 1978 davor warnte. Vom Weltraumschrott geht selten eine direkte Gefahr für Menschen aus. Größer ist jedoch die Gefahr für Raumfahrtaktivitäten – und das Risiko wird durch die zunehmende Nutzung des Weltraums weiter zunehmen – vor allem in Äquatornähe.

Weltraumschrott ist als zentrales Problem erkannt worden. Theoretisch ist es möglich Weltraummüll mit einem Netz oder einer Harpune zu greifen und in die Erdatmosphäre zu schieben, sodass die Objekte beim Wiedereintritt verglühen. Solche Operationen werden aktive Schrottentfernung genannt, Active Debris Removal und einige Unternehmen arbeiten bereits an entsprechenden Verfahren. Generell sind sich alle Raumfahrtakteure der Problematik bewusst. Allerdings stehen verschiedene Interessen einer Art Müllabfuhr im Weltraum entgegen. Zum einen ist es teuer ein Weltraumobjekt zu entsorgen – ein Problem für Staaten die verhältnismäßig viel Schrottteile im Orbit haben wie die USA oder Russland. Das Greifen eines Objekts ist auch ein sicherheitspolitisches Problem: solche Technologien könnten auch Satelliten greifen, diese manipulieren oder zum Absturz bringen – eine Technologie, die sowohl zivil oder für einen militärischen Zweck verwendet werden kann. Bislang einigten sich private und staatliche Akteure lediglich auf nicht-bindende Vereinbarungen. Die Regel, dass Satelliten nach 25 Jahren in der Erdatmosphäre entsorgt werden sollen, ist ein Minimalkonsens, denn wenige Satelliten funktionieren 25 Jahre lang.

Fazit

Die Demokratisierung des Weltraums lässt sich als quantitative wie auch qualitative Ausweitung menschlicher Aktivitäten im Weltraum auffassen, nicht jedoch als eine tatsächliche Demokratisierung von Entscheidungen den Weltraum und die Raumfahrt betreffend. Zurückzuführen ist dieser Trend auf die fallenden Startpreise in Folge der Kommerzialisierung im Upstream-Markt, die sich faktisch in einer Steigerung von Raumfahrtorganisationen, Mitgliedschaft in UN COPUOS und Zahl der Staaten mit mindestens einem Satelliten ausdrückt. Die Zunahme an Aktivitäten verschärft die bereits bestehende Problematik um Weltraummüll.

Militarisierung

Beginn der Militarisierung

Die Militarisierung des Weltraums ist nicht neu. Seit den Anfängen des Raumfahrtzeitalters wurde der Weltraum militärisch genutzt und die militärische Sicherheit wird auch mit dem Begriff *Space Security* gleichgesetzt. Die ersten Raketen wurden vom Militär gebaut. Und die ersten Astronauten rekrutierten sich aus der jeweiligen Luftwaffe, oder waren bei dieser ausgebildet worden und dann als zivile Angestellte, im Falle der USA etwa bei der NASA, als Testpiloten tätig. Die ersten Satelliten wurden vom Militär und Geheimdiensten entwickelt, finanziert und zum Zwecke der militärischen Aufklärung bzw. Spionage eingesetzt. Schließlich entstand die frühe Raumfahrttechnik im Militär und ist damit der Inbegriff von *dual-use* – der zeitgleichen Verwendung für einen zivilen und einen militärischen Zweck. Ohne Militarisierung wäre das Raumfahrtzeitalter gar nicht möglich gewesen. Mit der Gründung der NASA und UNCOPUOS hat sich die zivile Nutzung ausgeweitet. Das Militär blieb ein bedeutender Nutzer der Raumfahrt. Deshalb wird in Bezug auf die militärische Nutzung auch von einer passiven oder defensiven Nutzung der Raumfahrt gesprochen – vornehmlich zu Zwecken der Aufklärung, Spionage und Kommunikation.

Weltraumwaffen

Waffensysteme für den Weltraum wurden schon früh erdacht. Interkontinentalraketen fliegen durch den Weltraum und wurden deshalb als Weltraumwaffen bezeichnet. Auch gab es Bestrebungen, Waffenplattformen zu entwickeln, mit denen die Erde bombardiert werden könnte. Dazu zählen militärische Weltraumbasen oder auch ein System, bei der ein mit Atomraketen bestückter Waffenträger in einer niedrigen Umlaufbahn

die Erde umkreist und seine tödliche Ladung auf die Erde feuert. Zwar gab es mit konventionellen Waffensystemen bestückte Raumstationen wie die sowjetische Salyut. Und auch wurden im Rahmen des »Star Wars«-Programms ähnliche Waffenplattformen von den USA und der Sowjetunion erdacht, doch diese wurden nie realisiert und so gab und gibt es keine Waffen im Weltraum.

Eine Sorte Waffensysteme, die hingegen entwickelt wurden, sind so genannte Anti-Satelliten-Waffen (ASAT). Bei diesen handelt es sich entweder um Raketen, die vom Boden, aus der Luft, oder von Schiffen gestartet werden und Objekte im Weltraum mithilfe kinetischer Energie (also der Aufprallenergie) vernichten. Alternativ handelt es sich um ko-orbitale »Killersatelliten«, Satelliten, die sich anderen Satelliten nähern und diese mithilfe einer Schrapnellwolke oder einem Projektil beschädigen oder zerstören. Beide Systeme wurden zu Beginn des Raumfahrtzeitalters entwickelt. Insbesondere die Sowjetunion entwickelte die ko-orbitalen Systeme bis in die späten 1960er-Jahre, und nahm nach einer kurzen Pause die Entwicklung in den 1970er-Jahren wieder auf. 2021 gab es Beobachtungen, dass Russland entsprechende Systeme aktiv und nahe eines US-amerikanischen Satelliten testet.

Da die Treffergenauigkeit von Raketen in den 1950er- und 1960er-Jahren gering waren, gab es Bestrebungen, diese mit Atomsprengköpfen auszurüsten. Eine der ersten wurde in den USA entwickelt und Bold Orion genannt. 1959 wurde eine Rakete ohne Atomsprengkopf in dieser Funktion getestet und hätte ein entsprechendes Ziel ausgeschaltet. Das haben die Atmosphärentests im Jahre 1962 demonstriert. Ab den 1980er-Jahren entwickelte die USA eine Anti-Satelliten-Waffe, die von einem Kampfflugzeug gestartet wurde. Ein Test am 13. September 1985 zerstörte einen ausrangierten US-Wettersatelliten – der erste tatsächliche ASAT-Test.

Die US-amerikanische Anti-Satelliten-Waffe war Teil einer Doppelstrategie unter US-Präsident Jimmy Carter. Neben der Entwicklung der ASAT-Waffe unternahm die

Carter-Administration 1977 den Versuche ASAT-Waffen per völkerrechtlichem Vertrag zu verbieten. Bevor die USA ihre eigene ASAT entwickelt hatten, zeigte sich die Sowjetunion wenig kooperativ, schließlich besaß sie bereits ihre seit den 1960er-Jahren entwickelte ko-orbitale ASAT-Waffe. Mit dem sowjetischen Einmarsch in Afghanistan 1979 kamen die Verhandlungen zu einem jähen Ende. Nachdem die USA ihre eigene ASAT-Waffe entwickelt hatten, wendete sich das Blatt: nun wollte die Sowjetunion einen Vertrag. Da die ASM-135 jedoch deutlich effizienter eingesetzt werden konnte, gab es aufseiten der US-Regierung unter Reagan wenig Interesse an Verhandlungen. Auch auf internationaler Ebene, im Rahmen der UN, begannen Verhandlungen in Bezug auf Weltraumwaffen. Der Prozess zur Vermeidung eines Rüstungswettlaufs im Welt- raum («Prevention of an Arms Race in Outer Space» (PAROS)) wurde 1982 an die UN Konferenz für Abrüstung delegiert – und ist seitdem praktisch kein Stück vorangekommen. Darüber hinaus planten die USA mit dem amerikanischen »Star Wars«- Programm unter Reagan den Bau orbitaler Waffenplattformen und Überwachungssysteme, die Angriffe auf die USA unmöglich machen sollten. Die Sowjetunion versuchte ebenfalls aufzurüsten, doch gegen die ökonomische Leistungsfähigkeit der USA konnte die sowjetische Ökonomie nicht bestehen, nicht zuletzt, da die Reaktorhavarie von Tschernobyl 1986 bereits gewaltige Kosten nach sich ziehen sollte. Letztlich kollabierte die Sowjetunion unter den Herausforderungen. Der Kollaps der Sowjetunion beendete vorläufig das Wettrüsten im Welt- raum – manche Kommentatoren sprechen auch davon, dass erst jetzt der *Space Race* endete. Zugleich beschreibt das Jahr 1991 auch das Jahr des ersten Weltraumkrieges. Der Zweite Golfkrieg, bei dem eine US-geführte Allianz irakische Streitkräfte des Regimes von Saddam Hussein aus Kuwait vertrieb, wurde maßgeblich mit der Unterstützung von Raumfahrttechnologie geführt, insbesondere in der Aufklärung, Navigation und Kommunikation. Seit den 2000er-Jahren nimmt die Militarisierung des Weltraums erneut zu. Diesmal testete China

2007 eine ASAT, der einen chinesischen Wettersatelliten zerstörte. Der Test führte zu internationaler Kritik, da durch den Einschlagswinkel und die Höhe von rund 800 km eine Wolke aus Weltraumschrott mit rund 3.000 Teilen entstand. 2008 folgte ein weiterer US-amerikanischer ASAT-Einsatz, bei dem ein außer Kontrolle geratener Satellit abgeschossen wurde. Die US-Behörden fürchteten, dass der giftige Treibstoff Hydrazin in der oberen Atmosphäre verteilt werden könnte. 2019 zerstörte Indien als viertes Land einen Satelliten. Anders als bei dem chinesischen Test wurde der Zielsatellit in einer niedrigen Umlaufbahn von 300 km und von vorne getroffen, sodass nur wenige Schrottteile in eine höhere Umlaufbahn gelangten. Die meisten Teile sind bereits verglüht. Indien argumentierte, dass es als »verantwortungsvollen Akteur« handelte. Experten gehen davon aus, dass der Test auch durchgeführt wurde, um Abwehrbereitschaft gegenüber China zu signalisieren und um bei zukünftigen ASAT-Verhandlungen nicht ausgeschlossen werden zu können. Der letzte ASAT-Test erfolgte 2021 durch Russland. Dabei wurde eine Wolke Weltraumschrott erzeugt, wodurch die ISS zu einem Ausweichmanöver gezwungen wurde und ihre Besatzung zwischenzeitlich Schutz in den Rettungskapseln suchen musste.

ASAT-Waffen sind zwar effektiv, doch ihr strategischer Wert ist gering. So werden Ko-orbitale ASAT von entsprechenden Weltraumbahnhöfen gestartet – die überwiegend in Äquatornähe liegen, um die Rotationsenergie der Erddrehung zu nutzen. Danach können sie nur eine eingeschränkte Zahl an Orbits erreichen. Vom Boden gestartete ballistische ASAT sind ebenfalls in ihrer Reichweite eingeschränkt. Schiff- oder flugzeuggestützte ASAT ermöglichen einen Start von nahezu überall, doch lediglich die USA verfügen nach derzeitigem Kenntnisstand über eine luftgestützte ASAT und weltweit über ausreichend Stützpunkte oder Flugzeugträger. Ob ein Angreifer überhaupt rein quantitativ ausreichend ASAT zur Verfügung hat und diese so starten kann, dass ein Netzwerk auf einen Schlag ausgeschaltet wird, ist unwahrscheinlich, denn anders

als im Film dauern Raumfahrtoperationen oft länger und sind gut zu beobachten. Ohnehin wird ein solcher Angriff gegen Konstellationen zunehmend unwahrscheinlicher, weil es viel zu viele Satelliten gibt, die es abzuschießen gilt. Würde ein ASAT-Angriff Erfolg haben bleibt ein weiteres Problem: ASAT-Tests erzeugen große Mengen an Schrott – der die Nutzung des niedrigen Erdorbits empfindlich stört. Eine Reihe von Staaten haben daher erklärt, keine destruktiven ASAT mehr im Welt- raum testen zu wollen und es gibt auch in der UN breite Zu- stimmung zu einer entsprechenden Resolution.

Weitere militärische Weltraumssysteme

Neben den raketenbasierten ASAT stehen noch weitere Welt- raumwaffen zur Verfügung. Dazu zählen Energiewaffen wie Laser oder Mikrowellen, aber auch Systeme zur elektronischen Kriegsführung für Cyberangriffe und Elektronikangriffe. Schließlich wird auch die Fähigkeit die Weltraumlage zu erfassen (Space Situational Awareness) als defensive Militär- technologie genannt. Die Klassifikationen unterscheiden sich, doch werden diese als »counterspace«-Systeme zusammenge- fasst, als Systeme um die Raumfahrtaktivitäten anderer Staa- ten zu kontern. Mikrowellen haben noch keine Anwendung erfahren. Laser werden bereits aktiv eingesetzt, damit lassen sich Satelliten blenden, optische Systeme zerstören oder auch Weltraumobjekte aufheizen, bis diese zerstört werden. Der Weltraum ist zwar kalt, doch die Ableitung von Wärme kann dennoch ein großes Problem sein, schließlich kann die Wärme in Abwesenheit von Molekülen nirgendwo hin abgegeben werden. Weitere elektronische Angriffe umfassen das Spoofing (manipulieren) und das Jamming (stören). Beim Spoofing wird ein Satellit ausgetrickst auf ein anderes Signal aufzuschalten, damit ein Angreifer die Kontrolle über den Satelliten überneh- men kann. Beim Jamming werden Systeme gestört – alle grö- ßeren Streitkräfte sind dazu fähig und nutzen dies, um bspw. Navigationssysteme zu stören.

Bei Laser, Mikrowellen und Spoofing/Jamming werden die physischen Systeme angegriffen, bei Cyberangriffen wird die Software zum Ziel. So ist es möglich Satellitensysteme anzugreifen, schadhafte Codes zu implementieren und Satelliten zu übernehmen, Daten zu stehlen, oder fehlerhafte Daten zu implementieren. Die Liste möglicher Angriffe ist lang, die Verifikation dieser Angriffe ist schwierig, doch gibt es praktische Beispiele. Die estnische Hauptstadt Estlands, Tallinn, ist 2007 Ziel eines großangelegten Cyberangriffs geworden, der erste größere Angriff dieser Art und das Handbuch zur Anwendung internationalen Rechts auf Cyberangriffe heißt entsprechend »Tallinn Handbuch«. Und diese Systeme werden auch aktiv im Russland-Ukraine-Krieg eingesetzt.

Verwundbarkeiten und Resilienz

Für eine moderne Gesellschaft ist die Raumfahrt schlicht nicht mehr wegzudenken. Viele Menschen sind sich nicht bewusst, wie stark moderne Gesellschaften von Raumfahrtinfrastrukturen abhängig sind. Ohne Satelliten fällt nicht nur das Satellitenfernsehen, die Satellitentelefonie und Navigationsdienstleitungen aus – Dienstleistungen deren Nutzung den meisten zumindest ein Begriff ist. Darüber hinaus wäre keine Wettervorhersage mehr möglich. Ohne Satelliten käme der Luftverkehr zum Erliegen, denn Flugzeuge benötigen die Navigationssatelliten. Damit stünde ein Großteil der konsumierten Produkte nicht mehr zur Verfügung. Fernerkundung / Erdbeobachtungssatelliten werden nicht nur für wissenschaftliche Zwecke, sondern auch zum Schutz und zur Sicherheit der Bevölkerung benötigt. Ohne Satelliten wären die Behörden blind. Finanztransaktionen würden zusammenbrechen, da die Computer die von Satelliten übertragenen Zeitstempel benötigen. Nicht nur Finanzmärkte müssten schließen, auch Kartenzahlungen oder Abhebungen wären unmöglich. Ebenso würden Stromnetze nicht mehr einwandfrei funktionieren, denn auch

diese sind von Satellitennetzwerken abhängig.⁶ Die Diskussion um kritische Infrastrukturen und resiliente Systeme ist deshalb berechtigterweise auf der Tagesordnung.

Um den Gefahren besser zu begegnen, haben Staaten begonnen militärische Streitkräfte um- oder aufzubauen, die sich speziell mit dem Weltraum befassen. Besonders die Gründung der US Space Force (USSF) 2019 unter US-Präsident Donald J. Trump als Teilstreitkraft hat ein größeres Medienecho erfahren. Die Idee eine Space Force zu begründen ist keine Trump-Idee, sondern wurde im Kongress schon seit den 1990ern diskutiert. Die Weltraumwächter (»Space Guardians«), wie die USSF-Soldaten genannt werden, haben zunächst nur ihre Badges gewechselt: von der Air Force zur Space Force. Erst nach und nach bekam die Space Force eigene Stützpunkte zugewiesen. Dennoch zeigt die Entwicklung, dass die USA der Domäne des Weltraums eine hohe strategische Bedeutung beimessen, die eine eigene, spezialisierte Streitkraft mit eigenen strategischen Schwerpunkten rechtfertigt. Ironischerweise erinnert das Badge frappierend an das Delta-Abzeichen der Sternenflotte aus der amerikanischen Science-Fiction-Serie Star Trek, und sogar die zweiteilige Uniform lässt mit etwas Fantasie die roten Filmuniformen wiedererkennen.

Auch andere Staaten haben den Streitkräften Weltraumexpertise zugestanden. Russland und China haben bereits 2015 die Weichen gestellt, dass der Weltraum eine höhere strategische Bedeutung erhält. Auch Frankreich hat 2019 den Weltraum als Domäne entdeckt sowie viele andere Staaten. Auch Deutschland hat seit 2021 eine der Luftwaffe unterstellte Kommandobehörde, das Weltraumkommando, das zuständig für die Beobachtung der Weltraumlage ist.⁷

6 Sehr sehenswert in diesem Zusammenhang das vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR e. V.) produzierte Video »Ein Tag ohne Raumfahrt«: https://www.dlr.de/next/desktopdefault.aspx/tabid-6668/10935_read-24891/index.htm

7 Das Weltraumkommando stellt eine Webseite zu Weltraumobjekten bereit: <https://whatsin.space/>

Der Russland-Ukraine-Krieg – ein Space War

Der Ukrainekrieg ab 2022 ist ein Beispiel für die militärische Bedeutung der Raumfahrt. In der Nacht des russischen Angriffs auf die Ukraine am 24. Februar 2022, wurde der Satellitenbetreiber Viasat gehackt. Dabei wurden die Modems der Bodenstationen angegriffen und zerstört. Als Drahtzieher wird Russland vermutet. Cyberexperten fanden Reste eines Codes, der zuvor bei verifizierten russischen Cyberangriffen verwendet worden war. Auch nutzt die Ukraine Viasat für die behördliche Kommunikation und der Angriff erfolgte pünktlich in der Nacht vor dem russischen Überfall auf die Ukraine. Infolge des Angriffs verlor auch das deutsche Unternehmen Enercon zeitweilig die Kontrolle über 5.800 Windräder. Dabei ist kein anhaltender Schaden entstanden, es unterstreicht jedoch die Bedeutung und die Verflechtung der Raumfahrt als kritische Infrastruktur. Oft stehen die Satelliten im Zentrum der Beobachtung, dabei sind vor allem die Bodenstationen das schwächste Glied und deshalb anfälliger für Angriffe.

An der Ukraine lassen sich auch weitere Charakteristika moderner Kriegsführung im und durch den Weltraum ablesen. Jamming und Spoofing wird regelmäßig eingesetzt, ebenso wie moderne Satellitenaufklärung. Und nicht nur staatliche Stellen nutzen Satellitenbilder, im Internet finden sich Interessierte zusammen, die frei verfügbaren Satellitenbilder auswerten und interpretieren. Neben dem Rückgriff auf Satelliten nutzen die ukrainischen Behörden und Militärs auch privat-kommerzielle Systeme wie Elon Musks Starlink-Satellitennetzwerk, das der Ukraine zu Beginn der Invasion kostenfrei zur Verfügung stand und das mittlerweile vom US-Verteidigungsministerium finanziert wird. Im Oktober 2022 drohte Russland auch mit dem Abschuss von Starlink-Satelliten. Die operative Durchführbarkeit und der strategische Wert lässt sich wie weiter oben geschildert in Zweifel ziehen, dennoch folgte die Antwort des US-Verteidigungsministeriums

prompt, das deutlich erklärte, dass jeder Angriff auf einen privat-kommerziellen Satelliten als Angriff auf die USA gewertet würde.

Space Race 2.0

Die USA gelten seit dem historischen *Space Race* als die unumstrittene Weltraummacht mit den umfangreichsten Raumfahrtbezogenen Fähigkeiten, sowohl ziviler wie auch militärischer Art. Andere Staaten die traditionell dem westlichen Lager zugerechnet werden, wie Europa, Kanada oder Japan, haben punktuell ebenbürtige Fähigkeiten entwickelt, insbesondere in der robotischen Raumfahrt. Doch im Bereich der astronautischen Raumfahrt und hinsichtlich eigener Raumfahrzeuge sind die USA weiterhin führend. Insbesondere die zunehmende Kommerzialisierung wird zur Gefahr Europas, das im Begriff ist den Anschluss zu verlieren. Auf der anderen Seite stand historisch die Sowjetunion (heute die Russische Föderation). Russland setzt weiterhin auf einen quantitativen Ansatz und ist auch mit älterer Sowjettechnik noch recht erfolgreich. Allerdings zeigt sich, dass sich Russland auf seinen Reserven ausruht. Das russische Raumfahrtbudget ist bei weitem nicht so groß wie das amerikanische und die Sanktionen infolge des Ukrainekrieges führen immer offenkundiger zu Schwierigkeiten beim Betrieb der ISS. Auch Indien mischt in der Weltraumpolitik mit. Doch unbestritten will China der neue Platzhirsch werden. Das chinesische Raumfahrtprogramm hat entscheidende Erfolge geliefert. Dazu zählen ein eigenes bemanntes Raumfahrtprogramm, eine eigene Raumstation und eine Flotte von Startkapazitäten, die auch die Ansätze von SpaceX zu kopieren suchen. Und China beansprucht eine Führungsrolle im Weltraum.

Seine Führungsrolle baut China auch im Weltraum aus. Dieses Gleichziehen wird argwöhnisch von den USA beobachtet und schon wird von einem neuerlichen Kalten Krieg zwischen beiden Staaten gesprochen. In Bezug auf den Weltraum

haben beide Staaten ein Arsenal an Fähigkeiten, um die Welt-
raumoperationen des jeweils Anderen zu stören. Von chine-
sischer Seite ist es schwierig, belastbare Antworten zu erhal-
ten. Die USA sprechen offen darüber, dass sie das Konzept der
»space superiority« verfolgen. Das vom Kongress beschlos-
senen »Wolf Amendment« von 2011 untersagt der NASA mit
China zu kooperieren. Zwar herrscht kein offen feindseliges
Verhalten, doch ist eine Kooperation derzeitig ebenfalls eher
unwahrscheinlich. Greifbarer wird der neuerliche *Space Race*
auch am Beispiel des neueren Wettlaufes zum Mond.

Fazit

Die Raumfahrt wäre ohne die Entwicklung der militärischen
Raketentechnologie nicht möglich gewesen. Doch Ende der
1950er-Jahre fokussierten die USA eine friedliche, zivile Raum-
fahrt. Die friedliche Perspektive zu festigen gelang im Zuge der
Kuba-Krise 1962 in Verbindung mit den Mondlandungen ab
1969. In den 1970er und 1980er-Jahren lief die Rüstung im
Weltraum noch einmal hoch, bis die Sowjetunion kollabierte.
Seit den 2000ern gewinnt der Weltraum erneute geopolitische
Aufmerksamkeit, insbesondere durch den Aufstieg Chinas und
dessen Ambitionen im Weltraum eine Führungsrolle einzuneh-
men, signalisiert durch den chinesischen ASAT-Test 2007. Im
Zuge des Russland-Ukraine-Kriegs ab 2022 wird der Weltraum
verstärkt zum Schauplatz militärischen Ringens. Dabei zeigt
sich: 1. Angriffe auf Raumfahrtinfrastrukturen sind ein inte-
graler Bestandteil der modernen (hybriden) Kriegsführung. 2.
Primäre Ziele sind die Bodenstationen. 3. Angriffe auf Raum-
fahrtinfrastrukturen haben Auswirkungen auf mehrere Län-
der. Der Ukraine-Krieg ist deshalb auch der erste wahrhafte
Weltraumkrieg, in dem offensive Weltraumfähigkeiten aktiv
eingesetzt werden.

Morgen

Rückkehr zum Mond

Die frühe Raumfahrtbegeisterung der 1960er-Jahre wich in den 1970er-Jahren einem eher pragmatischen Verständnis der Raumfahrt. Die großen Visionen, zum Mars zu fliegen oder eine größere Präsenz im Weltraum zu schaffen, wurde entweder auf Eis gelegt oder es wurde auf den Bau der ISS fokussiert. Um die Begeisterung für die Raumfahrt neu zu entfachen, stellte US-Präsident George W. Bush im Januar 2004 die »Vision for Space Exploration« vor. Das neue, alte, Ziel sollte erneut der Mond werden. Daraufhin entstand ab 2005 das Constellation-Programm für die bemannte Raumfahrt, welches nach der Fertigstellung der ISS eine Rückkehr zum Mond bis 2020 und anschließend einen Flug zum Mars vorsah. Eine Kommission stellte fest, dass die Ziele nicht zu erreichen waren. US-Präsident Obama beendete in einer Rede vom 14. April 2010 das Constellation-Programm. Statt dem Dreiklang ISS-Mond-Mars sollte sich das Raumfahrtprogramm auf einen »flexiblen Pfad« einstellen und eine Vielzahl von Zielen im Sonnensystem mithilfe von Robotern anvisieren, um damit die technologische Entwicklung zu stimulieren. Der Mond war kein herausgehobenes Ziel mehr, wie Obama sagte: »We've been there before.« – Wir waren schon da. Die Vision einer Rückkehr zum Mond wurde von Bush jr. ausgerufen und gleich darauf von Obama wieder beerdigt – die große Vision für die Raumfahrt blieb erst einmal aus.

Doch auch in anderen Staaten hatte man sich Gedanken um eine Rückkehr zum Mond gemacht. Aufmerksamkeit erzeugte

dabei der Vorschlag von ESA-Generaldirektor Jan Wörner, der 2016 ein »Moon Village« vorschlug, eine Art ISS 2.0, bei dem alle Staaten zum Wohle der Menschheit zusammenarbeiten sollten um eine gemeinsame Mondbasis zur friedlichen Nutzung und Erforschung des Mondes und des Weltraums aufbauen sollten. Auch China verfolgt ein umfangreiches Mondprogramm. Das Programm wurde bereits 1991 beschlossen, blieb jedoch bis zum Jahre 2000 unter Verschluss. Seit 2003 verfolgt die Volksrepublik China ihr robotisches Monderkundungsprogramm mit dem Programmnamen Chang'e, organisiert von der Chinese National Space Administration (CNSA). In der derzeitig anlaufenden Phase wird eine bemannte Mondlandung angestrebt, organisiert von der Chinese Manned Space Agency (CMSA). Der dritte Schritt ist eine permanente Mondbasis, als internationale Forschungs Kooperation, die International Lunar Research Station (ILRS), die in Kooperation mit anderen Staaten stattfinden soll. Den Schwenk für die US-amerikanische Raumfahrt vollzog US-Präsident Trump. Mit der Space Policy Directive 1, die Trump am 17.12.2017 unterzeichnete, wurde das Artemis-Programm aufgelegt, welches zunächst bis 2028, später sogar bis 2024 eine Mondlandung vorsah – was offenkundig nicht erfolgreich war. Dennoch ist die Rückkehr zum Mond als das nächste Raumfahrt-Großprojekt gesetzt, oft genannt im Zusammenhang mit einem *Space Race 2.0*.

Es bilden sich zwei Pole aus, die an die Ära des *Space Race* erinnern. Auf der einen Seite finden sich die USA und die westlichen Staaten, zu denen sich die Europäer, ESA sowie Japan und Kanada zählen, die am US-amerikanischen Artemis-Programm beteiligt sind. Anders als im historischen *Space Race* verfolgen die USA einen Netzwerk-Ansatz, der auch die internationalen Partner integriert. So liefert die ESA mit dem European Service Module ESM einen integralen Bestandteil und das weltweit einzigartige ESA-Forschungsmodul LUNA am DLR-Standort Köln wird sicherlich eine Rolle für die Ausbildung der Astronauten spielen. Auch Staaten wie Kanada, die Vereinigten Arabischen Emirate, Indien und Korea liefern wichtige

Technologien. Im Austausch erhalten ESA-Astronauten ein Ticket zum Mond. Auf der anderen Seite steht die chinesisch-russische International Lunar Research Station (ILRS). China nahm hiermit Bezug auf Jan Wörners Vorschlag eines Mondorfes zu Forschungszwecken, und lud etablierte raumfahrende Staaten zur Kooperation ein. Positive Signale aus dem Westen blieben weitgehend aus, doch Russland war frühzeitig an einer Kooperation interessiert. Ab 2022 fokussierte China daher auf Länder des Globalen Südens. 13 Länder sind Teil des ILRS, davon werden die meisten Staaten als illiberal beschrieben. Zusätzlich handelt es sich überwiegend um Staaten, die keine starke Raumfahrtindustrie vorweisen können und deren operativer Beitrag als gering eingeschätzt werden muss. Nur Russland hat bislang verkündet, seine Fähigkeit in der Nukleartechnologie für den Aufbau der ILRS einzusetzen. Eine Roadmap sieht eine Aufklärungsphase zwischen 2021–2025 mithilfe von Robotern vor, eine Aufbauphase zwischen 2026–2035, und den Betrieb ab 2036. China verfolgt das aus dem Kalten Krieg bekannte Modell eines durch den Staat finanzierten Mondprogramms. Zwar gibt es auch in China kommerzielle Aktivitäten, doch diese sind deutlich weniger frei als in den USA.

Sowohl China als auch die USA verfolgen daher einen multilateral-internationalen Ansatz, wenngleich der Netzwerk-Gedanke deutlich stärker im amerikanisch-westlichen Konzept umgesetzt wird. Aufseiten der USA arbeitete die NASA intensiv an den Artemis Accords, einem Regelwerk, welches die Grundlage für eine neue Form der internationalen Raumfahrtspolitik bieten soll. Damit soll das Patt in den internationalen Gremien zur Weiterentwicklung der Raumfahrtspolitik umgangen werden, bei dem sich die USA auf der einen Seite und China-Russland auf der anderen Seite oftmals erbittert gegenüberstehen. Wer daher am US-amerikanischen Artemis-Programm teilnehmen möchte, kommt nicht umhin den Artemis Accords zuzustimmen. Bislang haben 43 Staaten (Stand 12.06.2024) unterzeichnet. Für Deutschland hat das DLR unterzeichnet,

allerdings mit einer Zusatzklärung, in der abermals unterstrichen wird, dass Deutschland deutlich für die Prinzipien des etablierten internationalen Weltraumrechts steht.⁸ Das eine solche Zusatzklärung notwendig erscheint ist nicht zuletzt dem Umstand geschuldet, dass es substantielle Kritik an den Artemis Accords gibt. Zwar wird hervorgehoben, dass diese in Übereinstimmung mit internationalem Weltraumrecht stehen, aber Sektion 10, Abs. 2 besagt, dass die Nutzung von Weltraumressourcen nicht im Widerspruch zum Grundsatz der »national appropriation« (Art. 2 WRV) steht – eine umstrittene Interpretation. Auch benennen die Artemis Accords in Sektion 11, dass »harmful interference« und »safety zones« definiert werden müssen. Diese Abschnitte werden scharf kritisiert, schließlich ließen diese sich als eine Form der Militarisierung interpretieren. Aufgrund des bereits erwähnten »Wolf Amendment« ist China von der Teilnahme an den Artemis Accords ausgeschlossen und hat den Prozess als Ausdruck »westlichen Kolonialismus« kritisiert.⁹

Bislang sind die beiden Initiativen nicht grundsätzlich abschließend und eine Mitgliedschaft in beiden ist grundsätzlich denkbar. Doch verlaufen die Kooperationsmuster entlang bekannter geopolitischer Konfliktlinien, die an die Zeit des Kalten Krieges erinnern: USA plus die westlichen Verbündeten auf der einen Seite, China und Russland und einige Staaten des Globalen Südens auf der anderen Seite. Gewissermaßen wiederholen sich Elemente des *Space Race*, wenngleich die Unterschiede dennoch auffällig sind: statt zwei Supermächten stehen zumindest auf Seiten der USA ein ganzes Netzwerk aus verbündeten Staaten und kommerziellen Akteuren. Und die Raumfahrt als bedeutsames Querschnittsthema und die Rückkehr zum Mond als Raumfahrt-Großprojekt sind zwar wichtig, aber letztlich nur ein Themenfeld von Vielen.

8 <https://www.dlr.de/de/aktuelles/nachrichten/2023/03/deutschland-unterzeichnet-die-artemis-accords>

9 <https://www.thespacereview.com/article/4846/1>

Allerdings könnte ein *Space Race 2.0* ab 2025 eine völlig neue Dynamik einnehmen, denn Elon Musk, dessen erklärtes Ziel die Kolonisierung des Mars darstellt, hat Donald Trump während dessen Wahlkampf aktiv unterstützt, und wird eine wichtige Rolle als Berater einnehmen. Mit Donald Trumps Wiederwahl könnte Elon Musk auf jene Entscheidungen Einfluss nehmen, die die Raumfahrt, den Flug zum Mond oder zum Mars, in völlig neue Dimensionen katapultieren könnte. Deshalb lässt sich derzeit nicht abschätzen in welche Richtung sich dieser *Space Race 2.0* entwickeln wird.

Zukunft der Raumfahrt: Science-Fiction?

Anhand der Artemis-Mission präzisiert sich bereits ein grundsätzliches Zukunftsszenario: der Abbau von Ressourcen auf Himmelskörpern. Viele Himmelskörper wie Asteroiden, Monde und Planeten verfügen über eine Vielzahl interessanter Bodenschätze. Der Mond verfügt über ein reichhaltiges Reservoir des Isotops Helium-3, das als Treibstoff für die Kernfusion benötigt wird. Viele Asteroiden besitzen Bodenschätze, die auf der Erde als selten gelten. Vor einigen Jahren machten Berechnungen die Runde, dass der Asteroid Psyche 16 mehrere Trillionen US-\$ wert sein könnte. Das 279 km große Objekt hätte unter anderen Umständen zu einem Gesteinsplaneten werden können, doch so ist es ein Klumpen von Metallen geblieben. Der Abbau solcher Himmelskörper könnte ein entscheidendes Geschäftsmodell für die Kommerzialisierung der Raumfahrt sein. Nach Art. II des WRV werden solche Operationen ausgeschlossen, dennoch haben Staaten wie die USA (2015) und Luxemburg (2017) bereits Gesetze erlassen, die genau solche Unternehmen legalisieren. Auch die Artemis Accords benennen die Ausbeutung von Himmelskörpern als legale Operation. Experten diskutieren bereits, ob ein Regime wie die Internationale Meeresbodenbehörde), die den Abbau von Bodenschätzen im Meeresboden regelt, als Vorbild fungieren könnte. Die

Technologie ist noch längst nicht so weit. Bis der erste Staat und das erste Unternehmen mit dem Ressourcenabbau beginnen werden noch einige Jahrzehnte vergehen. Dennoch ist im Lichte dieser Entwicklungen die Vorstöße der USA und Luxemburgs zu deuten: nämlich Investitionen in die technologische Entwicklung abzusichern und dadurch dieses mögliche kommerzielle Betätigungsfeld in genau diese Richtung voranzutreiben.

Andere Raumfahrtoperationen könnte glatt der Science-Fiction entsprungen sein. Zu diesen fantastischen Technologien zählen beispielsweise gewaltige Solarenergiefarmen, die mittels Mikrowellen ihre Energie auf die Erde »beamen«. Jeff Bezos, der Gründer von Amazon und dem Raumfahrtunternehmen Blue Origin, möchte gleich die gesamte Schwerindustrie in den Weltraum verlegen, um dadurch die Erde vor deren Nebenwirkungen wie Abfälle und Verschmutzung zu bewahren. Keines dieser Konzepte ist derzeit greifbar, wird jedoch immer wieder als mögliche Idee diskutiert. Auch scheinbar obskure Technologien wie ein Weltraumkatapult werden von Unternehmen aktiv erforscht und 2022 gab es sogar einen Test – jedoch blieben weitere Fortschritte seitdem aus. Ein Weltraumaufzug, den Arthur C. Clarke in seinem Roman *Fountains of Paradise* 1979 beschrieb, wird ebenfalls erforscht. Bei diesem Konzept wird ein Kabel mit einem Gegengewicht jenseits des geostationären Orbits verbunden und ermöglicht dadurch eine verhältnismäßig kostengünstige Fahrt in den Weltraum – die allerdings dennoch einige Tage dauern würde. Prinzipiell sind diese Technologien realisierbar, das haben namhafte Forscher als auch Enthusiasten aufgezeigt. Allerdings existieren die technologischen Voraussetzungen zum jetzigen Zeitpunkt nur theoretisch – und werden für den Moment wohl auch theoretisch bleiben. Andere Konzepte klingen noch wie Science-Fiction – sind jedoch längst einen Schritt weiter. Ein Thema ist planetare Verteidigung (*Planetary Defense*), d. h. die Verteidigung des Planeten vor kosmischen Katastrophen. Konkret besteht die Gefahr, dass ein Himmelskörper die Bahn der Erde kreuzt

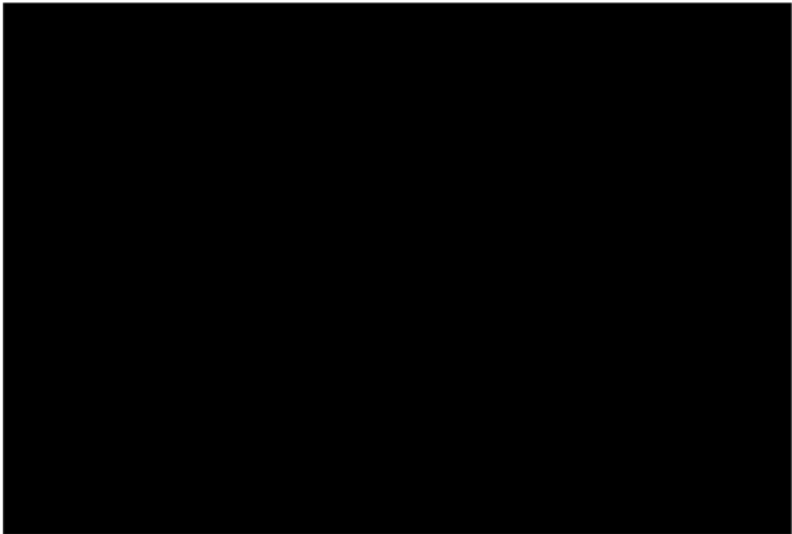
und mit dieser kollidiert. Schon die Dinosaurier wurden von einem Asteroiden mit 14 km Durchmesser ausgelöscht. Das klingt nach wenig, doch die Energie, die ein solcher Asteroid trägt, ist gewaltig. Zwar liegt die Erde astrophysikalisch äußerst günstig, da der Gasriese Jupiter mit seiner starken Anziehungskraft viele verirrte Objekte einfängt, dennoch planen die Raumfahrtagenturen NASA und ESA bereits für den Ernstfall. Die NASA/ESA-Mission DART (Double Asteroid Redirection Test, in etwa Doppel-Asteroiden Umlenk Test) kollidierte 2022 mit dem Asteroiden Didymos B. Die im Oktober 2024 gestartete ESA-Mission HERA soll erforschen, wie weit die Kollision zu einer Bahnverschiebung beigetragen hat. Die Erkenntnisse könnten zukünftig genutzt werden, um Himmelskörper von einem Kollisionskurs mit der Erde abzubringen.

Auch die Nachfolge der ISS steht derzeit in den Sternen, sie soll maximal bis 2030 betrieben werden und es ist durchaus möglich, dass es bald eine Vielzahl an Raumstationen geben könnte. Bereits heute betreibt China seine eigene Raumstation namens Tiangong (chin. Himmelspalast). Die USA changieren immer wieder zwischen einem Nachfolgeprojekt der ISS oder diese Aufgabe vollständig privat-kommerziellen Akteuren zu überlassen – ein weiteres, mögliches Feld für die Kommerzialisierung. Ohnehin hat der russische Teil der ISS zunehmend mit technischen Schwierigkeiten wie Leckagen zu kämpfen – auch ein Ergebnis der Sanktionen in Folge des Ukraine-Krieges. Von der ISS zum Mond wäre der nächste Schritt. Die Lunar Gateway-Station der NASA im Mondorbit heißt nicht umsonst Gateway, denn auf dem Mond könnte ausreichend Wasser extrahiert werden, um Raketentreibstoff herzustellen. Von dort wäre es prinzipiell möglich in das Sonnensystem vorzustoßen und es gar zu besiedeln. Damit würde die Menschheit tatsächlich zu einer »multi-planetaren Spezies« werden, wie es sich Elon Musk wünscht. Auch hier sind noch viel mehr Fragen ungeklärt: etwa ob der Aufwand überhaupt lohnt. Die Erde ist einzigartig, weil das Überleben für Menschen hier perfekt möglich ist. Auf keinem anderen

Himmelskörper ist menschliches Leben ohne hohen technischen Aufwand möglich. Experimente zur Schaffung einer abgeschlossenen Biosphäre sind nicht leicht zu realisieren und benötigen eine sehr genaue Beobachtung und Feinjustierung. Nach derzeitigem Wissensstand könnte keine Kolonie außerhalb der Erde ohne die Versorgung durch die Erde überleben. Auch abseits der Fähigkeit zur Erhaltung sind Konzepte wie das Terraforming, nach derzeitigem Stand nicht realisierbar. Auch stellen sich erneut handfeste rechtliche Fragen: in welchem Verhältnis stünden Erde und Kolonien zueinander? Zumindest aus der Populärkultur deuten SF-Serien wie *The Expanse* (2015–2022) oder *For All Mankind* (seit 2019) nicht unbedingt auf optimistische Zukünfte.

Should I stay or should I go?

Zum Ende dieses Buches stellen sich wiederum viele Fragen auf die es weder einfache Antworten, und vielfach überhaupt keine Antworten gibt. So stellt sich immer wieder die Frage, ob das Geld, das in die Raumfahrt investiert wird, nicht woanders besser aufgehoben ist. Angesichts grundlegender Herausforderungen, wie Hunger, Klimakrise, Kriege, Armut ist diese Frage berechtigt. Allerdings wurde bereits gezeigt, dass die Budgets der Raumfahrt verhältnismäßig klein sein. Damit lässt sich kein Welthunger bekämpfen, damit lassen sich keine Kriege beenden, keine Klimakrise stoppen und keine Armut zurückdrängen. Mehr noch, die Raumfahrt hilft uns exakt diese Herausforderungen zu bewältigen. Erst durch Satelliten lassen sich Ernten besser planen, Hilfen besser koordinieren, das Klimasystem besser verstehen. Und ja, auch die Gefahren von Katastrophen, Krieg und Gewalt beobachten und dadurch entschärfen. Nicht zu vergessen ist die wissenschaftsdiplomatische Komponente, die einer jener Bereiche darstellt, der immer noch recht gut funktioniert. Die Raumfahrt könnte eines jener Unterfangen sein, der die Menschheit



Wikipedia/NASA Earth Observatory

Könnte ein »Monddorf«, 2015 von ESA-Generaldirektor Jan Wörner vorgestellt, als gemeinschaftliches Raumfahrtprojekt und als Utopie erhalten?

näher zusammenrücken lässt, für eine gemeinsame Vision, eine gemeinsame Zukunft. Ein friedliches Kräfteressen im Weltraum ist erstrebenswerter als ein terrestrisches Aufrüsten. In Anlehnung an ein berühmtes Zitat hieße es dann idealerweise »Raketen zu Raumstationen«. Und dabei ist völlig ungeklärt, ob in der Zukunft das Pendel eher zugunsten staatlicher oder kommerzieller Aktivität schwingen wird, oder ob es eher in Richtung Kooperation oder eher in Richtung Wettbewerb schwingen wird.

Ob die Menschheit in den Weltraum hinaustreten sollte, das ist eine nochmal kompliziertere Frage. Die Astronomie zeigt uns, dass der Weltraum lebensfeindlich ist. Wir wissen, dass dort draußen kein lebenswerter Ort auf die Menschheit wartet. Die Erde ist der – unseres Wissens – einzige lebensfreundliche Planet. Der Weltraum hält viele Schätze bereit, etwa Gold und Diamanten, doch all das ist – im kosmischen Maßstab – nichts Wertvolles, sondern ist im Weltraum im

Überfluss verfügbar, sofern es erreicht werden kann. Lediglich auf der Erde ist es wertvoll, weil es davon so wenig gibt. Doch das Leben ist – im kosmischen Maßstab – genau das, was wir nirgendwo sonst in dem uns bekannten Weltraum finden können. Das Leben und die Erde, das ist der wahre Schatz des Universums. Längst müssen wir uns die Frage stellen, ob es den Schutz anderer Himmelskörper benötigt, damit diese nicht ebenso schonungslos ausgebeutet werden wie die Erde – und diese Diskussionen werden bereits geführt. Aber vielleicht ist die bessere Frage jene, ob wir nicht besser erwiesenermaßen tote Himmelskörper ausplündern sollten, wenn dies verspricht die Einzigartigkeit der Erde – das Leben als tatsächlich kosmische Einzigartigkeit – zu bewahren. Vielleicht ist das auch eine Aufgabe für die Menschheit: Hinauszutreten in den Weltraum, um unseren eigenen Platz im Universum kennen zu lernen und einmal mit eigenen Augen die Zerbrechlichkeit der Erde von außen zu betrachten. Wie die letztgültige Antwort auf diese Fragen fällt ein jeder selbst und der Menschheit als Ganzem zu.

Fazit

Dieses Buch begann mit einem Traum der Menschheit – quer durch alle Zeiten – den Weltraum zu beobachten, zu verstehen und schließlich aus diesem Nicht-Ort, einen sehr greifbaren Ort menschlichen Handelns und Lebens zu machen, eine Art Utopie. Ohne Träume und Ideen, ohne die Imagination, wären die notwendigen Technologien nicht entstanden, ohne Technologien gäbe es keine Raumfahrt. Die Raumfahrt hat stets Faszination ausgelöst. Dieses Buch sollte Orientierungswissen für die Raumfahrt und ihrer gesellschaftlichen Nutzung liefern und somit zur *Space Literacy* beitragen, um Trends eigenständiger einschätzen zu können. Die zentrale These ist, dass der Traum zur Idee, zur Technologie und schließlich zur Erfahrung führt.

Dabei zeigt sich, dass die Kommerzialisierung eine Dynamik und Agilität ausgelöst hat, die die Raumfahrt grundlegend transformiert. Insbesondere in Form des *New Space* ist etwas in Bewegung geraten, dass die Möglichkeiten und damit auch die Bedeutung der Raumfahrt in ungeahnte Orbits zu katapultieren vermag. So ist es keine Überraschung, dass eine zunehmende Zahl von Staaten Raumfahrtprogramme verfolgen – der erste Schritt einer Demokratisierung. Schließlich verbinden sich im Heute auch alte Technologien und Denkmuster, die zu einer neuerlichen Militarisierung beitragen. Und das Morgen wird schon heute aktiv gestaltet: die Weltraumgovernance baut auf Entwicklungslinien des Gestern auf, diese verschärfen sich im Jetzt. Ein immer realeres *Space Race 2.0* schlägt sich in utopischen Orten, kommerzielle Raumstationen, der Plünderung von Himmelskörpern und der Kolonisation des Sonnensystems nieder. In der Raumfahrt wird wieder groß geträumt, Träume, die neue Ideen wecken und zu neuen Durchbrüchen

führen, die der Menschheit ermöglichen noch weiter in das Sonnensystem vorzudringen.

In der Vergangenheit gelang es der Raumfahrt, positive Akzente zu setzen. Neue Technologien wurden erfunden und für die Nutzung auf Erde angepasst. Die Raumfahrt ist eines jener Themenfelder, auf der die (Wissenschafts-)diplomatie gelingt. Bisher sind die großen Katastrophen durch die Raumfahrt ausgeblieben. Fragen der Nachhaltigkeit, der Gerechtigkeit, ein neues *Space Race*, auch die Frage, ob man all dies tun sollte – all den Ballast führt die Raumfahrt auch im 21. Jahrhundert mit sich. Doch die Raumfahrt bietet weiterhin Inspiration, ein Raum, um optimistisch in die Zukunft zu blicken, vielleicht einen der letzten Räume echter Utopie, in der die Raumfahrt eine Quelle von Wohlstand, Frieden und Gerechtigkeit darstellen könnte. Optimistisches Denken, das ist es was es braucht, oder, wie der kanadische Musiker Paul Brandt schrieb einmal: »Don't tell me the sky is the limit when there are footprints on the Moon?« (Wie kann der Himmel die Grenze sein, wenn es Fußabdrücke auf dem Mond gibt?).

Literatur zum Weiterlesen

Sammlung von Podcasts, News Seiten, Fachseiten: <https://www.sichtraum-netzwerk.de/ressourcen/sichtraum-podcasts-blogs-news-academia/>

Aus Politik und Zeitgeschichte, »Weltraum«, Nr. 29–30/2019, Online verfügbar: <https://www.bpb.de/shop/zeitschriften/apuz/293695/weltraum/>

Nötzold, Antje; Rotter, Andrea; Brake, Moritz; Fels, Enrico (Eds.) (2024): Strategischer Wettbewerb im Weltraum. Politik, Recht, Sicherheit und Wirtschaft im All. Wiesbaden: Springer.

Sagan, Carl (1994): Pale Blue Dot. A Vision of the Human Future in Space. New York: Ballantine Books.

Sönnichsen, Arne (2024): Kooperation oder Konflikt? Die Autonomie von Weltraummächten und sicherheitspolitische Dynamiken. In Antje Nötzold, Andrea Rotter, Moritz Brake, Enrico Fels (Eds.): Strategischer Wettbewerb im Weltraum. Politik, Recht, Sicherheit und Wirtschaft im All. Wiesbaden: Springer, pp. 503–519.

Sönnichsen, Arne (2025): Technology and International Ordering. Reconstructing the Effects Of Technology On International Space Policy and Space Governance. Dissertationsschrift. Universität Duisburg-Essen, Duisburg. Institut für Politikwissenschaft.

Weltraum zwischen Konflikt und Kooperation, Dossiert 95, Beilage zu Wissenschaft und Frieden 4/2022, Herausgegeben von der Informationsstelle Wissenschaft und Frieden e. V. (IWIF) von Jürgen Scheffran, Götz Neuneck, Dieter Engels, Regina Hagen, Arne Sönnichsen und Maximilian Bertamini. Online verfügbar: https://wissenschaft-und-frieden.de/dossier/weltraum-zwischen-konflikt-und-kooperation-2/#index_6

