



FRIEDRICH NAUMANN
STIFTUNG Für die Freiheit.

DIE NEUE ÄRA DER WELTRAUM- KOMMERZIALI- SIERUNG

Satelliten im geopolitischen Schachspiel

Rafaela Kraus und Andreas Knopp

Impressum

Herausgeberin

Friedrich-Naumann-Stiftung für die Freiheit
Truman-Haus
Karl-Marx-Straße 2
14482 Potsdam-Babelsberg

/freiheit.org

/FriedrichNaumannStiftungFreiheit

/FNFreiheit

/stiftungfuerdiefreiheit

Autorenschaft

Rafaela Kraus und Andreas Knopp

Redaktion

Zoë van Doren,
Globale Digitalisierung und Innovation
Abteilung Globale Themen
Friedrich-Naumann-Stiftung für die Freiheit

Kontakt

Telefon +49 30 220126-34
Telefax +49 30 690881-02
E-Mail service@freiheit.org

Stand

März 2024

Hinweis zur Nutzung dieser Publikation

Diese Publikation ist ein Informationsangebot der Friedrich-Naumann-Stiftung für die Freiheit. Die Publikation ist kostenlos erhältlich und nicht zum Verkauf bestimmt. Sie darf nicht von Parteien oder von Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden (Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie Wahlen zum Europäischen Parlament).

Lizenz

Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0)

Inhalt

EINLEITUNG	4
WIE 'NEW SPACE' DAS TOR ZUM WELTRAUM ÖFFNET	4
INNOVATIVE ANWENDUNGEN IN DER RAUMFAHRTTECHNOLOGIE	6
MEGAKONSTELLATIONEN UND IHR EINFLUSS FÜR EUROPA UND DEUTSCHLAND	7
MEHR SATELLITEN – MEHR WELTRAUMSCHROTT	9
ABHÄNGIGKEIT VON DATEN UND SATELLITENINFRASTRUKTUR	10
DIE BEDEUTUNG DES WELTRAUMZUGANGS FÜR DEUTSCHLAND UND EUROPA	11
TECHNOLOGIEFÖRDERUNG IN DER RAUMFAHRT UND EINFLUSS STAATLICHEN HANDELNS	12
DAS INNOVATIONSÖKOSYSTEM DER RAUMFAHRT IN EUROPA	13
SCHLUSSFOLGERUNGEN	15

Einleitung

Seit den letzten Jahren sind grundlegende Veränderungen in der Art und Weise zu beobachten, wie Staaten und private Akteure die Möglichkeiten der Raumfahrt wahrnehmen und nutzen. Sie manifestieren sich insbesondere in einer Kommerzialisierung des Weltraums und in der Bedeutung von Satellitentechnologien als Ermöglicher für viele Wirtschaftszweige und als kritische Infrastruktur für die Gesellschaft. Dies spiegelt sich im Marktwachstum wider: 2022 hat die weltweite Raumfahrtindustrie einen Umsatz von rund 546 Milliarden US-Dollar erwirtschaftet, mehr als doppelt so viel wie 2009.¹ Da es noch enormes ungenutztes Potenzial gibt, wird davon ausgegangen, dass der Markt für weltraumgestützte Lösungen voraussichtlich einen Wert von über 1,2 Billionen Euro erreichen kann.²

„Space – like the Internet some decades ago – has become an area of new businesses, but also a critical infrastructure in our daily lives – and as such, a place of high strategic stakes.“

Dieses Zitat von Hélène Huby, CEO des deutsch-französischen Start-ups The Exploration Company, verdeutlicht die geopolitische und wirtschaftliche Dynamik, in der Satelliten und damit verbundene Entwicklungen im Bereich New Space eine zentrale Rolle spielen. Junge Unternehmen und

Start-ups haben in den letzten zwei Jahrzehnten nicht nur das Innovationstempo in der Raumfahrt beschleunigt und das Potenzial von Raumfahrtanwendungen für terrestrische Zwecke erweitert, sondern auch die Kosten für den Zugang zum Weltraum drastisch gesenkt. Dieses Policy Paper widmet sich diesen Entwicklungen und beleuchtet sowohl die Chancen als auch die Herausforderungen, die sich aus dem wachsenden Technologievorsprung und der Marktmacht privater Akteure, aber auch aus dem Streben autoritärer Staaten wie China nach Dominanz im Weltraum ergeben.

Zunächst werden die strategischen Implikationen der Kommerzialisierung des Weltraums und der Nutzung von Satelliten diskutiert. Anhand der Auswirkungen auf verschiedene Sektoren wie Logistik, IoT/Autonomes Fahren und Fliegen, Land- und Forstwirtschaft und Industrie 4.0 wird die Bedeutung der Raumfahrt für die staatliche Souveränität und die wirtschaftliche Innovationsführerschaft aufgezeigt. Ebenso werden die potenziellen Gefahren der Datenabhängigkeit und des mangelnden Datenzugangs in Bereichen wie Landesverteidigung, Cybersicherheit und Klimaschutz beleuchtet.

Abschließend soll der Handlungsbedarf für eine nachhaltige Weltraumpolitik aufgezeigt werden, die den Anforderungen eines sich rasant entwickelnden globalen Weltraumökosystems gerecht wird.

Wie 'New Space' das Tor zum Weltraum öffnet

New Space bezeichnet die seit etwa 2000 zu beobachtende Ära der Raumfahrt, die durch eine zunehmende Beteiligung privater Unternehmen und Start-ups gekennzeichnet ist.³ Im Gegensatz zur traditionellen, staatlich dominierten Raumfahrt zeichnet sich New Space durch eine andere Denkweise („Software first“), hohe Innovationskraft, Schnelligkeit und vor allem deutlich geringere Kosten aus. Dieser Wandel wird vor allem durch den Einsatz neuer Technologieplattformen, durch agile Vorgehensmodelle, eine kommerzielle Ausrichtung, neue Finanzierungsmodelle und den stärkeren Fokus auf Software vorangetrieben.

Der Grundsatz „Software first“ bedeutet, dass die Softwareentwicklung bei Raumfahrtprojekten nicht mehr ergänzendes Element, sondern erfolgsentscheidend ist. Sie erlaubt es durch Simulation oder Modellierung mit digitalen Zwillingen verschiedene Szenarien und Bedingungen zu testen und Hardware und Missionen

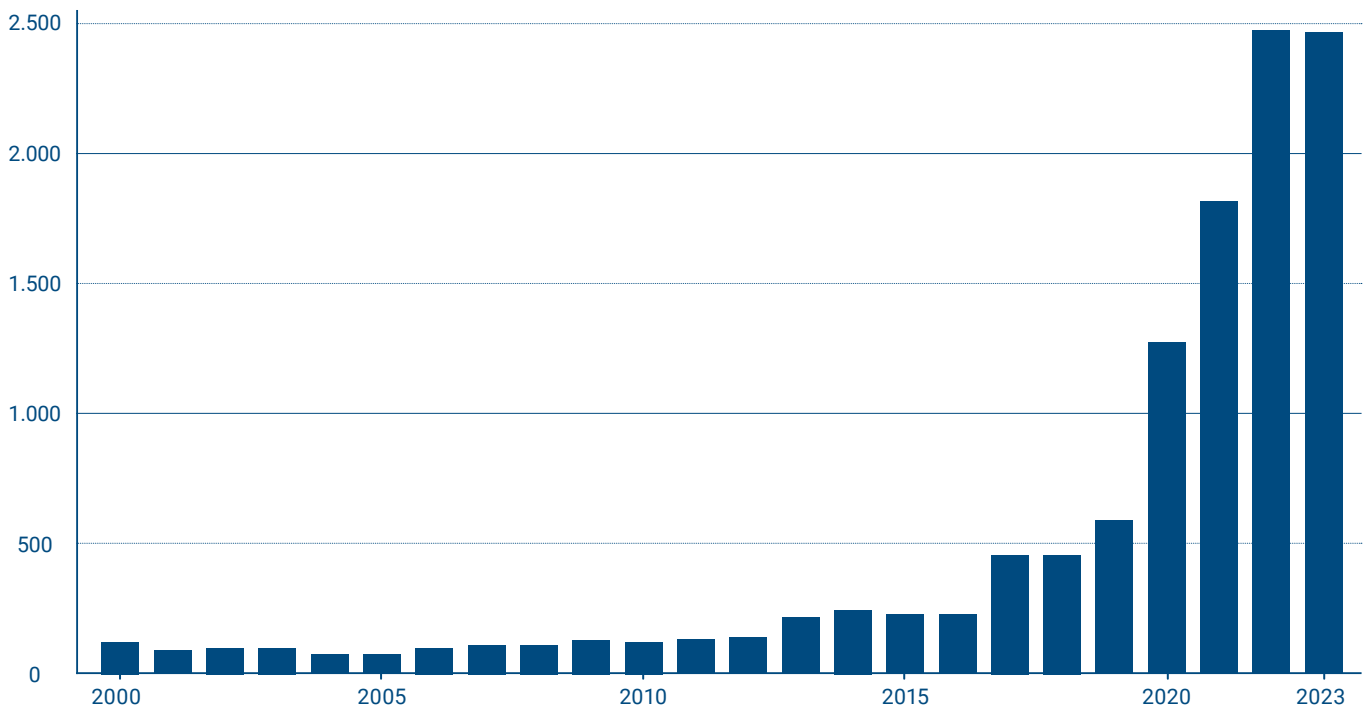
entsprechend zu optimieren. Sie steuert und integriert nicht nur alle Systeme und ermöglicht so einen effizienteren Betrieb und mehr Leistung, sondern erlaubt es auch auf neue Herausforderungen und Anforderungen effizient zu reagieren. Außerdem werden zunehmend autonome Systeme eingesetzt. Ein Beispiel sind unbemannte schwimmenden Plattformen, auf denen wiederverwendbare Raketenstufen landen können. SpaceX betreibt drei solche unbemannte Droneships – „Of Course I Still Love You“, „Just Read The Instructions“ und „A Shortfall of Gravitas“ – die u.a. mit Softwaresystemen zur Positionierung und Stabilisierung ausgestattet sind.

Die deutliche Senkung der Kosten für den Zugang zum Weltraum ist einer der herausragenden Erfolge von New Space und lässt sich z.B. am exponentiellen Anstieg der in den Weltraum eingebrachten Objekte erkennen.

¹ Space Foundation (2023). <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1055664/umfrage/umsatz-der-weltweiten-raumfahrtindustrie/>

² Roland Berger & BDI (2023). Weltraumbeflügeltes Deutschland. Die Bedeutung der Raumfahrt für Deutschlands wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit, Souveränität und Nachhaltigkeitsziele.

³ Kind, S., Jetzke, T., Nögel, L., Bovenschulte, M., & Ferdinand, J. P. (2020). New Space – Neue Dynamik in der Raumfahrt. Abrufbar unter: <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000130986>.

Abb. 1 | Anzahl der in den Weltraum beförderten Objekte von 2000 bis 2023

Quelle: United Nations – Office of Outer Space Affairs; eigene Darstellung.⁴

Fortschritte in der Raketentechnologie wie wiederverwendbare Raketen und kleinere, effizientere Satelliten haben die Kosten für Raketenstarts drastisch gesenkt. SpaceX hat mit seiner Falcon-Raketenfamilie beispielhaft gezeigt, wie die Wiederverwendbarkeit die Kosten für den Transport von Nutzlasten in den Weltraum drastisch senken und den Aufbau weltweiter Satellitennetze ermöglichen kann.⁵ Diese sinkenden Kosten haben weitreichende Folgen für die Raumfahrtindustrie. Kleinere Länder in Europa, Süd- und Zentralamerika oder Afrika sowie private Akteure, die bisher aufgrund der hohen Kosten von der Raumfahrt ausgeschlossen waren, können nun eigene Satelliten entwickeln und starten. Und es gibt auch Bestrebungen, mit kleinen Raketen und neuen Weltraumbahnhöfen am New Space teilzuhaben. So hat Schweden Anfang 2023 in Kiruna einen neuen Weltraumbahnhof für orbitale Flüge eröffnet. Andere Länder wie Großbritannien, Portugal und Deutschland planen ebenfalls eigene Startplätze für Kleinraketen, z.B. in der Nordsee⁶. Wir erleben also eine Demokratisierung des Zugangs zum Weltraum, die es einer Vielzahl von Akteuren, von Universitäten wie der Universität der Bundeswehr München bis hin zu jungen Start-ups, ermöglicht, eigene ambitionierte Raumfahrtprojekte zu realisieren.

Die niedrigeren Zugangskosten haben auch den Wettbewerb und die Innovation im Raumfahrtsektor angekurbelt.

Neue Akteure, z.B. Anbieter von kleinen Start- und Träger raketen, Raumkapseln und Kleinsatelliten, wie die Münchner Unternehmen Isar Aerospace, The Exploration Company und Ororatech, bringen frische Ideen und Ansätze ein, die den technologischen Fortschritt beschleunigen. Beispielsweise ermöglichen Kleinsatelliten wie CubeSats und NanoSats kostengünstige Big-Data-Anwendungen in der Erdbeobachtung.

Diese Marktdynamik und das erwartete Umsatz- und Marktpotenzial für kommerzielle Raumfahrtanwendungen, sowohl für Hardware wie Trägerraketen und Satelliten („upstream“) als auch für Big Space Data („downstream“), wecken das Interesse privater Investoren und Unternehmen, aber auch staatlicher Akteure, z.B. in Indien und China.

Neben diesen positiven Entwicklungen gibt es auch neue Herausforderungen. Die Gewährleistung der Weltraumsicherheit, die zunehmende Menge an Weltraumschrott und die Notwendigkeit internationaler Regulierung sind nur einige der Probleme, die gelöst werden müssen, um eine nachhaltige Nutzung des Weltraums und einen verantwortungsvollen Umgang mit dem Weltraum zu gewährleisten. Denn die Veränderungen durch den New Space sind tiefgreifend und langfristig und erfordern eine globale und europäische Zusammenarbeit.

⁴ <https://www.unoosa.org/oosa/osoindex/search-ng.jsp>

⁵ <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1058116/umfrage/erfolgreiche-raketenstarts-des-raumfahrt-unternehmens-spacex/> und <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1058187/umfrage/geschaezteter-umsatz-pro-raketenstart-von-spacex/>

⁶ <https://www.heise.de/news/Deutscher-Weltraumbahnhof-in-der-Nordsee-Erste-Raketenstarts-im-April-geplant-9338454.html>

Innovative Anwendungen in der Raumfahrttechnologie

Raumfahrttechnologie ist heute nicht mehr in erster Linie eine Domäne spezialisierter Unternehmen, sondern ein entscheidender Wirtschaftsfaktor in einer global vernetzten Welt. Elon Musk hat das früh erkannt.

SpaceX und Tesla sind zwar eigenständige Unternehmen mit unterschiedlichen primären Geschäftszielen, liefern aber Bausteine für vollständig integrierte Wertschöpfungsketten. Daraus ergeben sich direkte und indirekte Vorteile für beide Unternehmen. SpaceX profitiert von Teslas Erfahrung in der automatisierten Fertigung und Robotik, während Tesla über Starlink Möglichkeiten für eine bessere Konnektivität und Echtzeitkommunikation für das autonome Fahren erhält. Auch die Fortschritte von SpaceX bei neuen Materialien und Leichtbauweisen könnten Tesla zugutekommen. Hinzu kommen Marken- und Innovationssynergien im Bereich der Humanressourcen. Bei der weltweiten Rekrutierung von Talenten, dem zentralen Faktor für die Innovationsfähigkeit, beeinflusst der Erfolg von SpaceX die Markenwahrnehmung von Starlink und Tesla positiv und wirkt als Magnet für herausragende Mitarbeitende.

Das Beispiel zeigt, dass die Raumfahrt sich zu einer treibenden Kraft für verschiedene Schlüsselindustrien und Nutzer digitaler Dienste entwickelt hat, z. B. Automobilindustrie, Industrie 4.0, Landwirtschaft oder Smart Cities. Hier entstehen laufend neue datenbasierte Geschäftsmodelle, die wie das autonome Fahren und Fliegen ein erhebliches disruptives Potenzial für bestehende Industrien haben.

Wir alle kennen GNSS⁷-Systeme als unverzichtbaren Bestandteil moderner Fahrzeuge. Sie erlauben uns präzise zu navigieren, den Verkehr zu überwachen und Routen zu planen. Satelliten werden aber auch für Kommunikationsanwendungen genutzt, bspw. für Notrufsysteme, Fernüberwachung und -diagnose, für IoT-Lösungen wie vernetzte Fahrzeugsysteme und optimierte Logistiknetzwerke sowie für selbstfahrende Autos. Warum sind dafür Satelliten notwendig? Autonomes Fahren beispielsweise ist im Kern die Steuerung eines autonomen Roboters. Derart komplexe und intelligente Maschinenfunktionen sind aber nur möglich, wenn die Sensoren, die zum Beispiel Umgebungsdaten erfassen, und die Fahrzeugsysteme, die auf diese Daten reagieren, sehr zuverlässig und schnell – man spricht von geringer Latenz – miteinander interagieren können. Jede Verzögerung kann zu schweren Unfällen führen. Satelliten können hier eine ergänzende Funktion übernehmen, nämlich die ständige Konnektivität, z.B. wenn Fahrzeuge untereinander oder mit der Infrastruktur verbunden sind. So können beispielsweise in abgelegenen Gebieten Informationen zwischen Fahrzeugen und Ladestationen ausgetauscht wer-

den. Dennoch arbeiten nur wenige Autohersteller so eng mit der Raumfahrt zusammen wie Tesla oder die chinesische Firma Geely. Letztere hat im Februar 2024 elf Satelliten als Teil einer Mobilitätskonstellation zur Integration von Kommunikation, Navigation und Fernerkundung ins All gebracht um Infrastruktur für das Autonome Fahren zu aufzubauen.⁸ Generell basiert die vierte industrielle Revolution, bekannt als Industrie 4.0, stark auf Vernetzung und Daten. Weltraumtechnologien bieten für automatisierte und vernetzte industrielle Prozesse die notwendigen Lösungen zur Datenerfassung und -übertragung. Zum Beispiel kann die kombinierte Anwendung von Satelliten- und Blockchain-Technologie für das Tracking von Containern verwendet werden. Dabei wird die Position, der Zustand und die Bewegung jedes Containers dezentral gemessen und in einer Blockchain gespeichert, um Transparenz und Sicherheit zu gewährleisten. Bei der intelligenten Steuerung von Energieflüssen (Smart Grids) werden Daten zu Energieerzeugung, -verbrauch und -speicherung dezentral bei einzelnen Solarmodulen, Windturbinen, Energiespeichern und Verbrauchern erfasst. Diese Daten helfen, das Netzwerk effizient zu gestalten und auf Veränderungen in Echtzeit zu reagieren. Satellitentechnologien tragen auch zur Stärkung der Cybersicherheit bei, indem sie sichere Kommunikationskanäle durch Vermeidung öffentlicher Datennetze (Glasfasernetze) ermöglichen.

Landwirten hilft die satellitengestützte Wetter- und Umweltüberwachung, bessere Entscheidungen über Aussaat, Fruchtfolgen und Erntezeitpunkte zu treffen. Aber nicht nur Gesundheit und Wachstum von Pflanzen lassen sich aus dem All überwachen. Auch eine arbeitssparende Tierhaltung, die Steuerung von Bewässerungssystemen und der sparsame Einsatz von Pestiziden und Düngemitteln werden möglich. Insgesamt können landwirtschaftliche Flächen so ressourcenschonender, umweltverträglicher, präziser und produktiver bewirtschaftet werden. Man spricht daher auch von Smart Farming oder Precision Farming. Die Anbindung der Agrarmaschinen an ein leistungsfähiges Datennetz mit einer Vielzahl digitaler Produkte, wie bspw. Karten zu bestimmten Themen, ist längst zu einem entscheidenden Verkaufsargument für die Maschinen selbst geworden. Marktführer wie die Firma John Deere haben sich auf diese Weise ein völlig neues Produktportfolio erschlossen. Die Maschine ist für den Kunden der Schlüssel für digitale Mehrwertdienste und schafft eine neue Form der Kundenbindung.

Darüber hinaus sind Klima- und Umweltdaten entscheidend für die Entwicklung neuer Strategien zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Folgen, z.B. durch präzise Emissionsmessungen. Raumfahrttechnologie hilft bei der Entwicklung und Bereitstellung nachhaltiger Energiequellen wie Solar- und Windenergie. Waldbrände können frühzeitig er-

7 GNSS: Global Navigation Satellite Systems, Sammelbegriff für Satellitennavigationssysteme wie GPS (USA) oder Galileo (Europa)

8 <https://zgh.com/media-center/news/2024-09-03/?lang=en>

kannt und bekämpft werden, rechtzeitige Hochwasserwarnungen helfen Schäden zu vermeiden und auch das Monitoring bedrohter Tierarten wird erleichtert.

Satelliten können für die Planung und Steuerung intelligenter Städte eingesetzt werden. Sie helfen, den Verkehrsfluss, die Luftqualität und den Energieverbrauch zu überwachen und zu steuern. Für die Stadtplanung sind Daten aus geografischen Informationssystemen unverzichtbar, um unsere Städte auf den Klimawandel vorzubereiten und beispielsweise bauliche Anpassungen vorzunehmen, um Hitzeinseln zu vermeiden. Auf diese Weise können Städte nachhaltiger werden und besser auf die Bedürfnisse ihrer Bewohner eingehen.

Große Satellitennetzwerke für Kommunikationsanwendungen und den digitalen Mobilfunk, wie sie von Starlink⁹, OneWeb¹⁰ und Kuiper¹¹ entwickelt werden, bieten aber auch die Möglichkeit, den Breitbandausbau zu beschleunigen und abgelegenen oder bisher unterversorgten Gebieten mit schnellem Internet zu versorgen. Dies ist besonders wichtig, um die digitale Kluft zu überbrücken und allen Menschen einen gleichberechtigten Zugang zu Informationen, Bildung und

internetbasierten Diensten, z.B. für digitale Medizin oder Telearbeit, zu ermöglichen. Starlink versorgt bereits mehr als 2 Millionen Kunden in 60 Ländern auf allen Kontinenten sowie in Flugzeugen, auf Schiffen und z.B. auf Inseln im Pazifik mit Hochgeschwindigkeits-Internet.¹²

Gleichzeitig steigen die Risiken für Unternehmen vieler Branchen, aber auch für die demokratischen Gesellschaften Europas, wenn sie keinen Zugang zu aktueller Satellitentechnologie haben, z.B. in den Bereichen Sicherheit, Verteidigung oder Klimaschutz. Aber auch eine Dominanz von Datennetzwerken durch Unternehmen, deren eigentliche Wertschöpfung nicht die digitalen Verteildienste selbst sind, ist aus Verbrauchersicht bedenklich. So wird im Zusammenhang mit dem von Amazon entwickelten System Kuiper die Befürchtung geäußert, dass der Medienkonzern Amazon den freien Zugang zu Informationen in seinem System einschränken und damit die Konsumenten inhaltlich lenken könnte. Bislang ist unklar, inwiefern geltende Gesetze dies bei weltweiten Informationsnetzen verhindern könnten.

Megakonstellationen und ihr Einfluss für Europa und Deutschland

Große Netzwerke von Satelliten werden Megakonstellationen genannt. Sie sind in niedrigen Erdumlaufbahnen (Low Earth Orbit, LEO) oder in mittleren Erdumlaufbahnen (Medium Earth Orbit, MEO) positioniert und umfassen mindestens mehrere hundert, in der Regel aber mehrere tausend bis zehntausende Satelliten. Die Satelliten arbeiten zusammen, um Kommunikationsdienste wie Hochgeschwindigkeitsinternet bereitzustellen. Wenn alle bei der internationalen Telekommunikationsregulierungsbehörde¹³ angemeldeten Satelliten in den Weltraum gebracht würden, könnte die derzeit größte Konstellation von Starlink von aktuell rund 5.100 Satelliten auf über 40.000 anwachsen.¹⁴ Diese Vielzahl von Satelliten wäre notwendig, um eine umfassende, nahezu globale Abdeckung und Dienstleistung für eine sehr hohe Nutzerzahl zu erreichen. Die Nutzer wären in diesem Fall nicht gleichmäßig über den Globus verteilt, sondern lokale Hot Spots, z.B. in Großstädten wären zu erwarten. Eine so ambitionierte Konstellation stellt aber auch eine Herausforderung für die Kundengewinnung dar, so dass sie zunächst wohl auf 15.000 bis 20.000 Satelliten anwachsen wird. Die Bedeutung und Dominanz dieses Systems lässt sich aber schon heute daran erkennen, dass Starlink mit ca. 5000 aktiven Satelliten etwa die Hälfte aller im Orbit befindlichen Satelliten stellt. Besonders für ländliche Gebiete, wo terrestrische Netzwerke nur schwer oder zu hohen

Kosten zu installieren sind, werden hohe Erwartungen in Starlink gesetzt. Aber auch für die Aufrechterhaltung souveräner hoheitlicher Kommunikationsverbindungen bei Katastrophen und Krieg hat sich Starlink als probates System etabliert.

Megakonstellationen nutzen in der Regel niedrige Erdumlaufbahnen, die näher an der Erde sind als geostationäre Umlaufbahnen, da sie geringere Latenzzeiten in der Kommunikation ermöglichen und weniger Energie für die Signalübertragung benötigen. Damit können Datenraten erreicht werden, wie die Nutzer sie vom Mobilfunk gewöhnt sind. Zwar fehlt heute noch die Möglichkeit, Mobiltelefone mit hohen Datenraten an Satellitensysteme anzubinden, diese Barriere soll bei der 6. Generation Mobilfunk (6G) aber überwunden werden. Satelliten würden dann als „Funkturn im Orbit“ zu einem integralen Bestandteil des Mobilfunknetzes. Statt eines großen Satelliten werden viele kleine Satelliten, sogenannte „Cubesats“, verwendet. Sie fliegen zusammen in einer Formation und funktionieren dann wie eine große Antenne und erzeugen die für Mobiltelefone benötigte Energiedichte. Konstellationsbetreiber forschen gemeinsam mit den Mobilfunkanbietern an dieser Technologie und die Europäische Kommission sowie die Bundesregierung haben dazu Forschungsprogramme aufgelegt.

⁹ <https://www.starlink.com/>.

¹⁰ <https://oneweb.net/connectivity-undivided>.

¹¹ <https://www.aboutamazon.com/news/innovation-at-amazon/what-is-amazon-project-kuiper>.

¹² <https://www.starlink.com/>.

¹³ ITU: Internationale Fernmeldeunion.

¹⁴ VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V., Informationstechnische Gesellschaft im VDE (VDE ITG) (Hrsg.) (2023).

VDE Positionspapier NeSC – NewSpace Communications.

Bekannte Beispiele für Megakonstellationen sind neben Starlink von SpaceX die Projekte OneWeb oder Kuiper von Amazon. Auch China plant eine Megakonstellation.

Im April 2021 hat die chinesische Regierung ein neues staatliches Unternehmen namens China SatNet gegründet, das eine Megakonstellation aufbauen soll. Zu diesem Zweck wurden bereits 12.992 Satelliten bei der Internationalen Fernmeldeunion (ITU) beantragt. Das mit mehr als einer Milliarde US-Dollar bewertete chinesische Start-up GalaxySpace/Yinhe Hangtian soll als Satellitenhersteller den schnellen Aufbau der Konstellation unterstützen, und lokale Behörden im ganzen Land werden ermutigt, Produktionsstätten und neue Startzentren zu errichten. Nach Angaben der China Aerospace Science and Technology Corporation (CASC), dem Hauptauftragnehmer für das chinesische Raumfahrtprogramm, sollen die ersten Prototypen der künftigen Kommunikationskonstellation bereits im November 2023 gestartet worden sein.¹⁵ Es ist zu erwarten, dass China die Länder, die z.B. bereits an der „Belt & Road“ Initiative beteiligt sind von der Nutzung von China SatNet überzeugen will.¹⁶

Zusätzlich ist eine integrierte Konstellation von 300 Satelliten für integrierte Kommunikation und Fernerkundung in einer ultra-niedrigen Umlaufbahn in 150 und 300 km Höhe geplant. Der kommerzielle Nutzen liegt in der Bereitstellung von hochauflösenden Echtzeitbeobachtungsdaten und Geodatenprodukten bei niedrigen Kosten. Objekte ab einer Größe von 50 cm sollen auf der Erdoberfläche voneinander unterschieden werden können und die durch das Satellitensystem gesammelten Daten oder Bilder sollen aufgrund der hohen Geschwindigkeit, mit der Daten gesammelt, verarbeitet und übermittelt werden, innerhalb von 15 Minuten nach ihrer Erfassung den Nutzern zur Verfügung stehen.¹⁷

Alle oben genannten Akteure wollen globales Breitbandinternet anbieten und spielen eine zunehmend wichtige Rolle in der modernen Telekommunikation. In Zukunft könnten Megakonstellationen aber auch für Positionsbestimmung, Navigation und Zeitmessung eingesetzt werden und digitale Mehrwertdienste durch Kombination von Kommunikation und Navigation ermöglichen. Auch die Verbindung von Kommunikation und Fernerkundung (joint communication and sensing) kann interessante Anwendungen, zum Beispiel im Katastrophenmanagement oder im militärischen Bereich ermöglichen. Satelliten mit integrierter Kommunikations- und Sensing-Technologie können in Echtzeit Daten über Naturkatastrophen erfassen und die Kommunikation zwischen Rettungsteams und den betroffenen Gebieten sicherstellen, wenn die terrestrische Infrastruktur beschädigt ist.

Die Unternehmen bieten unterschiedliche Dienstleistungen, haben individuelle Geschäftsmodelle entwickelt und bedienen verschiedene Kunden und Marktsegmente. Sie streben außerdem an, große Teile der technischen Wertschöpfungskette abzudecken, so etwa das Antennendesign, Inter-Satellitenlinks, Netzwerktechnik sowie die Automatisierung und Massenproduktion von Nutzerterminals.

Die deutsche Raumfahrtindustrie besitzt Stärken in einigen dieser Bereiche, z.B. bei Inter-Satellitenlinks und optischen Laserterminals. Hier ist es noch möglich, einen Technologievorsprung zu erreichen, weil es noch keinen etablierten Markt gibt und die Forschung und Entwicklung Maßstäbe setzt, z.B. im Projekt SeRANIS.¹⁸ Gleichzeitig gibt es gegenüber US-Wettbewerbern Nachholbedarf beim Antennendesign einschließlich der On-Board-Digitaltechnik und der effizienten Entwicklung von leistungsfähiger Onboard-Software.¹⁹ Hier ist das deutsche Startup NEOSAT angetreten und auch recht erfolgreich.²⁰ Eine zukünftige europäische Megakonstellation als Schlüsselkunde könnte deutschen Unternehmen helfen, in bestehende Wertschöpfungsketten einzusteigen. Voraussetzung für eine solche Konstellation sind neben kostengünstigen Startmöglichkeiten, idealerweise mit wiederverwendbaren Trägersystemen, die Sicherung von Frequenzrechten sowie eine aktive Beteiligung an der Entwicklung des Mobilfunkstandards der 6. Generation.²¹ Was bedeutet das? Die Kommunikation mit und zwischen Satelliten erfolgt über bestimmte Frequenzbänder. Diese Frequenzbänder sind begrenzte Ressourcen und müssen international koordiniert werden, um Interferenzen zu vermeiden. Für den Betrieb einer Megakonstellation ist es daher notwendig, die entsprechenden Frequenzrechte zu sichern, was durch internationale Verhandlungen und Abkommen geschieht. Die Akquisition von Frequenzrechten bei der Internationalen Fernmeldeunion, einer spezialisierten Agentur der Vereinten Nationen, kann sowohl auf nationaler Ebene (für rein deutsche Projekte) als auch auf europäischer Ebene (für gemeinsame europäische Projekte) erfolgen.

Die nächste Generation von Mobilfunkstandards (6G) wird voraussichtlich eine Integration von terrestrischen und satellitengestützten Netzen beinhalten und damit einen Vorstoß in die sogenannte „dritte räumliche Dimension“ darstellen, d.h. Satelliten in verschiedenen Orbits werden in Mobilfunksysteme integriert. Neben der Verbesserung bestehender Anwendungen ist 6G für neue Anwendungsfälle wie Augmented Reality, Virtual Reality, und fortgeschrittene Internet of Things-Anwendungen relevant. Für Europa ist es wichtig, sich aktiv an der Entwicklung und Standardisierung dieser Technologien zu beteiligen, um sicherzustellen, dass die europäischen Interessen berücksichtigt werden und europäische Unternehmen eine führende Rolle in diesem lukrativen Markt spielen können. Denn selbst bei höheren Startkosten

¹⁵ <https://spacenews.com/china-conducts-launch-to-test-satellite-internet-capabilities/>.

¹⁶ Knopp, A., Hoffmann, C., & Reder, H. (2021). HEUMEGA – Unabhängige Trendanalyse zum Thema Megakonstellationen. Abrufbar unter: https://www.dlr.de/rd/desktopdefault.aspx/tabid-18004/28579_read-74147/.

¹⁷ <https://new.qq.com/rain/a/20230714A00K6600#>.

¹⁸ <https://seranis.de/>.

¹⁹ Knopp, A., Hoffmann, C., & Reder, H. (2021). HEUMEGA – Unabhängige Trendanalyse zum Thema Megakonstellationen. Abrufbar unter: https://www.dlr.de/rd/desktopdefault.aspx/tabid-18004/28579_read-74147/.

²⁰ <https://www.neosat.de/>.

²¹ Knopp, A., Hoffmann, C., & Reder, H. (2021). HEUMEGA – Unabhängige Trendanalyse zum Thema Megakonstellationen

könnten LEO-Konstellationen in Zukunft mit terrestrischen Telekommunikationsangeboten konkurrieren und insbesondere in unterversorgten Gebieten Breitband-Internet zu deutlich geringeren Kosten anbieten, da an fast jedem Ort mit Sicht zum Himmel eine schnelle Internetverbindung über Satelliten hergestellt werden kann. Viel interessanter ist jedoch, dass Mobilfunkdienstleistungen auch von Unternehmen geliefert werden können, die bisher nur Endgeräte angeboten haben. Dies gilt auch für Autohersteller, die Kunden durch digitale Mehrwertdienste auch über das Auto hinaus an sich binden können. Andererseits können etablierte Mobilfunk-Netzbetreiber mit Satelliteninternet ihren Kundenkreis erweitern, z.B. Fluggesellschaften. Satelliten spielen hier ihre Stärken aufgrund der geringen Nutzerdichte und

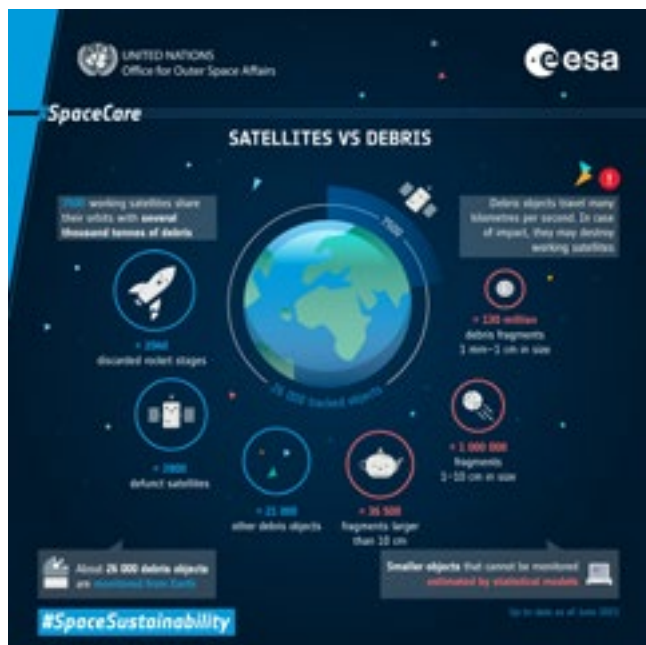
der fehlenden terrestrischer Infrastruktur aus. In dicht besiedelten Gebieten ist aufgrund der begrenzten Kapazität und Interferenzen eine Koexistenz mit terrestrischen Lösungen notwendig. Auch hier könnte Satelliteninternet für Fahrzeuge aber interessant sein.

Trotz dieser Einschränkungen ist es für Deutschland und Europa wichtig, eigene Megakonstellationen zu entwickeln, um Informationsfreiheit, Standortsicherung, Technologiezugang und nicht zuletzt die Sicherheit der Bevölkerung in Krisen- und Konfliktfällen zu gewährleisten. Die Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit solcher Konstellationen könnten zudem durch eine zusätzliche Nutzung für behördliche, sicherheitskritische Anwendungen verbessert werden.²²

Mehr Satelliten – Mehr Weltraumschrott

Beim Aufbau und Betrieb einer Megakonstellation sind jedoch nicht nur technologische Herausforderungen in Bereichen wie Antennentechnologien, Satellitendesign, Netzwerkmanagement, Bodenstationen und Intersatelliten-Kommunikation zu bewältigen. Mit der steigenden Anzahl von Satelliten wachsen auch der Weltraumschrott und die Gefahr von Kollisionen im Orbit.

Abb. 2 | Der Erdborbit hat ein Müllproblem²³



Quelle: Infografik der ESA und UNOOSA;
https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris

Die Hauptverursacher USA, Russland und China haben mehrere zehntausende größere Objekte, z.B. nicht mehr gebrauchte Satelliten oder Überreste von Explosionen und Kollisionen in die Erdumlaufbahn eingebracht.²⁴ Insgesamt, also inklusive der aktiven Satelliten, befinden sich ca. 9.300 Tonnen Hardware im All. Trümmerteile legen viele Kilometer pro Sekunde zurück und eine Kollision selbst mit kleinen Farbpartikeln kann die Funktion eines Satelliten beeinträchtigen oder ihn sogar zerstören. Kollisionen zwischen den Trümmern selbst erhöhen zudem die Anzahl der Teilchen im Weltraum um ein Vielfaches. Man schätzt die Anzahl der Fragmente mit einer Größe von mehr als 1 cm auf 900.000.²⁵ Seit Beginn des Raumfahrtzeitalters bis Ende 2022 wurden 643 Ereignisse bestätigt, bei denen Fragmente entstanden sind, davon 239 in den letzten 20 Jahren. Ursachen sind z.B. Konstruktionsfehler, Batterieexplosionen oder auch militärische Anti-Satelliten-Tests²⁶. Die Verweildauer von Weltraumschrott im Orbit variiert je nach Bahnhöhe: In niedrigen Bahnen (ca. 400 km) bleibt er etwa ein Jahr, in höheren Bahnen (ca. 800 km) kann er über 150 Jahre verweilen, da die Bremswirkung der Restatmosphäre mit der Höhe abnimmt.²⁷ Dies macht ein Monitoring des sogenannten Weltraummülls und ein Verkehrsmanagement im Weltraum notwendig, wobei nur ein kleiner Teil der Objekte ab einer Größe von zehn Zentimetern, in der Datenbank des US Space Surveillance Network katalogisiert wird.²⁸ Staatliche Institutionen wie das Weltraumlagezentrum liefern Positionsdaten für die Berechnung von Ausweichmanövern für Satelliten oder die Internationale Raumstation ISS. Lösungen für Verkehrsmanagement im Weltraum bieten z.B. die beiden deutschen Startups Okapi: Orbits und Vyoma an. Auch die Möglichkeiten der Entsorgung von Weltraumschrott und des kontrollierten

22 ebd.

23 <https://de.statista.com/infografik/26555/anzahl-der-weltraummuellteile-nach-hoehe-der-umflaubahn/>.

24 https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris.

25 Ebd.

26 ESA (2023). ESA's Annual Space Environment Report. https://www.sdo.esoc.esa.int/environment_report/Space_Environment_Report_latest.pdf.

27 https://www.dlr.de/rd/desktopdefault.aspx/tabid-2265/3376_read-5091/.

28 https://www.dlr.de/tp/Portaldata/39/Resources/dokumente/Handout_Weltraumschrott_final.pdf.

„Deorbiting“ von Satelliten werden intensiv erforscht. So entwickelt das Schweizer Start-up ClearSpace eine Art „Abschlepptransporter“ mit Greifarm²⁹ und die ESA hat vor kurzem Strategien für mehr Nachhaltigkeit vorgeschlagen.

Die sichere Entsorgung von Raumobjekten durch atmosphärischen Wiedereintritt, Umplatzierung in eine sichere Umlaufbahn oder regelmäßige Ausweichmanöver zur Vermeidung von Kollisionen gehören dazu³⁰.

Abhängigkeit von Daten und Satelliteninfrastruktur

Der zunehmende Fokus auf datenbasierte Geschäftsmodelle in der Raumfahrtindustrie spiegelt sich, wie oben beschrieben, in verschiedenen Sektoren wider. Unternehmen nutzen große Datenmengen („Big Space Data“), die von Satelliten und anderen Weltraummissionen gesammelt werden, kommerziell für innovative Anwendungen. Die Vielfalt der datenbasierten Geschäftsmodelle zeigt die wachsende Bedeutung von Satellitendaten für die globale Wirtschaft, Forschung und Verteidigung.

Gleichzeitig werfen die Abhängigkeit von Daten und die Notwendigkeit eines ausfallsicheren Datenzugangs wichtige Fragen auf: In einer Welt, in der Information Macht bedeutet, kann eine signifikante Kontrolle von Satellitennetzwerken durch private oder ausländische Akteure eine Bedrohung darstellen, die über den Mangel an informationeller Souveränität hinausgeht. Denn neben den bereits genannten Nutzungsmöglichkeiten sind auch die Überwachung von Grenzen und maritimen Aktivitäten sowie generell viele Fragen der nationalen Sicherheit und Verteidigung relevante Anwendungen:

So spielte Starlink im Ukraine-Krieg eine wichtige Rolle: Kurz nach dem Angriff Russlands waren die terrestrischen Internetverbindungen unterbrochen. Erst Starlink ermöglichte die Wiederherstellung der Kommunikationsinfrastruktur und damit die Steuerung strategischer und taktischer Operationen oder die Koordination von Rettungs- und Hilfsmaßnahmen. Gleichzeitig wird vermutet, dass auch Russland Starlink für Angriffe nutzt. Im März wurde bekannt, dass SpaceX im Auftrag einer US-Geheimdienstbehörde ein Netzwerk aus Hunderten von Spionagesatelliten namens Starshield baut.³¹ Die Bedeutung der Satellitenkommunikation in modernen Konflikten und die gleichzeitige Abhängigkeit von privaten Anbietern machen aber auch die Risiken deutlich: Sollen sich Staaten bei kritischen Infrastrukturen auf private Anbieter verlassen, die ihre Dienste jederzeit verändern, einschränken oder einstellen können? Darf man riskieren, dass externe Kommunikationsdienste die übermittelten Daten kompromittieren oder überwachen oder dass deren Verfügbarkeit oder Nutzungsbedingungen durch politische Entscheidungen oder geopolitische Ent-

wicklungen beeinflusst werden? Und welche Rolle sollen private Unternehmen in internationalen Konflikten überhaupt spielen (dürfen)?

Informationelle Souveränität bedeutet, dass ein Staat in der Lage ist, die Produktion, Speicherung, Verbreitung und Nutzung von Informationen innerhalb seiner Grenzen zu kontrollieren. Sie ist gefährdet, wenn Satelliten von anderen Staaten zur Überwachung militärischer Einrichtungen oder anderer sensibler Orte und zum Abfangen geheimer Informationen eingesetzt und für Spionagezwecke missbraucht werden. Länder, die auf Satellitendienste ausländischer oder privater Anbieter angewiesen sind, können hier in eine Abhängigkeitsposition geraten. Wenn in Krisenzeiten die Nutzung dieser Dienste aus politischen, wirtschaftlichen oder technischen Gründen eingeschränkt wird, sind sie verwundbar, insbesondere wenn dies während kriegerischer Auseinandersetzungen geschieht. Die Kontrolle über die Infrastruktur zur Verbreitung von Informationen ermöglicht es auch, Informationen zu manipulieren, zu zensieren oder zu unterbrechen. In politisch sensiblen Situationen wie Wahlen können bestimmte Narrative gefördert oder gegenteilige Meinungen unterdrückt werden. Wenngleich die eigentliche Beeinflussung über Medienplattformen und soziale Netzwerke erfolgt, werden Satellitennetze in Zukunft ein wichtiger Teil der Infrastruktur zur Informationsverbreitung sein. Satellitendienste können die Verfügbarkeit von Informationen beeinflussen und sind somit ein Werkzeug in einem größeren Arsenal von Methoden zur Beeinflussung der öffentlichen Meinung.

Schließlich kann die Kontrolle externer Akteure über Satellitennetze auch wirtschaftliche Auswirkungen haben, z.B. durch die Einschränkung des Wettbewerbs oder die Verteuerung von Dienstleistungen. Um diese Risiken zu mindern, streben viele Länder wie China, Russland, Japan, Südkorea, Brasilien und Indien den Aufbau eigener Satellitennetze oder den Abschluss internationaler Abkommen an, die eine faire und sichere Nutzung der Satelliteninfrastruktur gewährleisten. Die EU mit geringer deutscher Beteiligung³² plant mit IRIS2 eine Satellitenkonstellation, die eine flächendeckende Internetanbindung vor allem für Regierungsorganisationen bieten und bis 2027 voll einsatzfähig sein soll. IRIS2 soll ein

29 <https://clearspace.today/>.

30 ESA (2023). Space Debris Mitigation Requirements. https://technology.esa.int/upload/media/DGHKMZ_6542582e18e33.pdf.

31 <https://www.reuters.com/technology/space/musks-spacex-is-building-spy-satellite-network-us-intelligence-agency-sources-2024-03-16/>

32 <https://www.handelsblatt.com/technik/forschung-innovation/raumfahrt-wie-frankreich-deutschland-bei-iris2-ausmanoeuvriert-hat-01/100013112.html>

hohes Maß an Sicherheit bieten und verfolgt einen multi-orbitalen Ansatz (niedrige, mittlere und geosynchrone Umlaufbahnen), um die Skalierung für zukünftige Anforderungen zu erleichtern. In jedem Fall steht außer Frage, dass die

Frage der Kontrolle über und des Zugangs zu Satellitennetzen ein zentrales Thema sowohl für die globale Wirtschafts- und Technologiepolitik als auch für unsere Sicherheit in Europa ist.

Die Bedeutung des Weltraumzugangs für Deutschland und Europa

Die Vorstellung in den Weltraum zu reisen, fasziniert schon seit der Antike, und was bis vor Kurzem unmöglich schien – nämlich Weltraumtourismus oder Raumstationen auf dem Mond oder Mars rücken in erreichbare Nähe. Dafür sind zuverlässige, wiederverwendbare Raketen mit hoher Payload-Kapazität Voraussetzung. Und während es lange Zeit so kostspielig war, Raketen in die Umlaufbahn zu schießen, dass nur staatliche Raumfahrtagenturen oder staatsnahe Unternehmen Astronauten oder Satelliten ins All transportieren konnten, gibt es mittlerweile etliche private Launcher und Microlauncher. 2022 starteten Bryce Tech zufolge elf private Anbieter 94 Raketen – davon schickte allein SpaceX 61 Raketen in den Orbit³³. 2023 startete SpaceX 96mal und 2024 sind 144 Missionen geplant.³⁴ Mit seinen Raketen Falcon 9 und Falcon Heavy dominiert SpaceX den Markt. Sie haben fast 300 Raketenstarts und rund 250 Raketenlandungen durchgeführt. Die Raketen wurden mehr als 200-mal wiederverwendet und haben über 30 Missionen zur ISS absolviert. Das Raumschiff Dragon führte 38 Missionen zur ISS durch und wurde zwanzigmal wiederverwendet.³⁵ In der bemannten Raumfahrt sind die USA mit bislang 162 bemannten Raketenstarts führend, Russland und China folgen mit 155 bzw. 10 Starts.³⁶ China plant 2024 fast 100 Raketenstarts, eine Steigerung von 40% gegenüber 2023.³⁷ Die derzeit in der Testphase befindliche wiederverwendbare SpaceX-Rakete Starship, deren obere Stufe zugleich als Raumschiff dient, soll bis zu 150 Tonnen Nutzlast transportieren können. Es ist geplant, dass sie langfristig alle anderen von SpaceX betriebenen Flugkörper ersetzt und auch bemannte Missionen zum Mond und zum Mars ermöglicht.³⁸ Auch weil sie von günstigen Startmöglichkeiten³⁹ profitiert, ist die Starlink-Konstellation so weit fortgeschritten und kann Satelliteninternet zu marktfähigen Preisen anbieten. Zudem kann sie durch die Gewinne von SpaceX

finanziert werden. Kuiper von Amazon und andere Wettbewerber können bislang nicht auf eigene Raketen zurückgreifen.

Den privaten Launchern gegenüber stehen 71 Starts von Raumfahrtagenturen oder staatsnahen Unternehmen. Führend ist in diesem Segment der Hauptauftragnehmer des chinesischen Weltraumprogramms, die China Aerospace Science and Technology Corporation mit 35 Starts. Dahinter folgt Roskosmos, die Weltraumorganisation der Russischen Föderation mit 21 Starts. Für die europäischen Raumfahrtagenturen und internationale Kunden absolvierten die Träger Raketen Ariane 5 und Vega je zwei Starts im Jahr 2022 und zwei Starts 2023, darunter die letzte Mission der Ariane 5 überhaupt. Indes sind privatwirtschaftliche und staatliche Aktivitäten in der Raumfahrt eher verflochten als getrennt. So hat SpaceX allein im Fiskaljahr 2022 NASA-Aufträge mit einem Volumen von zwei Milliarden US-Dollar angenommen.

Wie ist es um den Zugang zum All mit europäischen Raketen bestellt? Zwar gibt mehrere europäische Raketenfirmen, derzeit kann jedoch der erforderliche Zugang zum All durch europäische Launcher nicht gewährleistet werden. Die bislang leistungsstärkste europäische Trägerrakete Ariane 5 hat 2023 ihren letzten Flug absolviert, die Vega-Raketen sind wenig zuverlässig und transportieren nur kleine Nutzlasten. Ariane 5 soll 2024 von der Ariane 6 abgelöst werden, sie liegt aber bereits jahrelang hinter dem Zeitplan zurück. Derzeit werden auch mehrere kleine Trägerraketen von Startups entwickelt, z.B. von der Rocket Factory Augsburg, Isar Aerospace aus München, MaiaSpace aus Frankreich oder die Spanier PLD Space. Sie sind jedoch noch in der Testphase bzw. haben noch keine erfolgreichen kommerziellen Missionen abgeschlossen.

33 <https://www.ariane.group/de/ariane-erbe/ariane-5/>.

34 <https://www.cnbc.com/2023/12/29/spacex-rockets-2023-launch-record.html>

35 SpaceX.com, Stand 12.09.2023.

36 Worldspaceflight.com (Stand 13. April 2023)

37 <https://t3n.de/news/china-raketenstarts-spacex-1610270/>

38 <https://www.spacex.com/vehicles/starship/>.

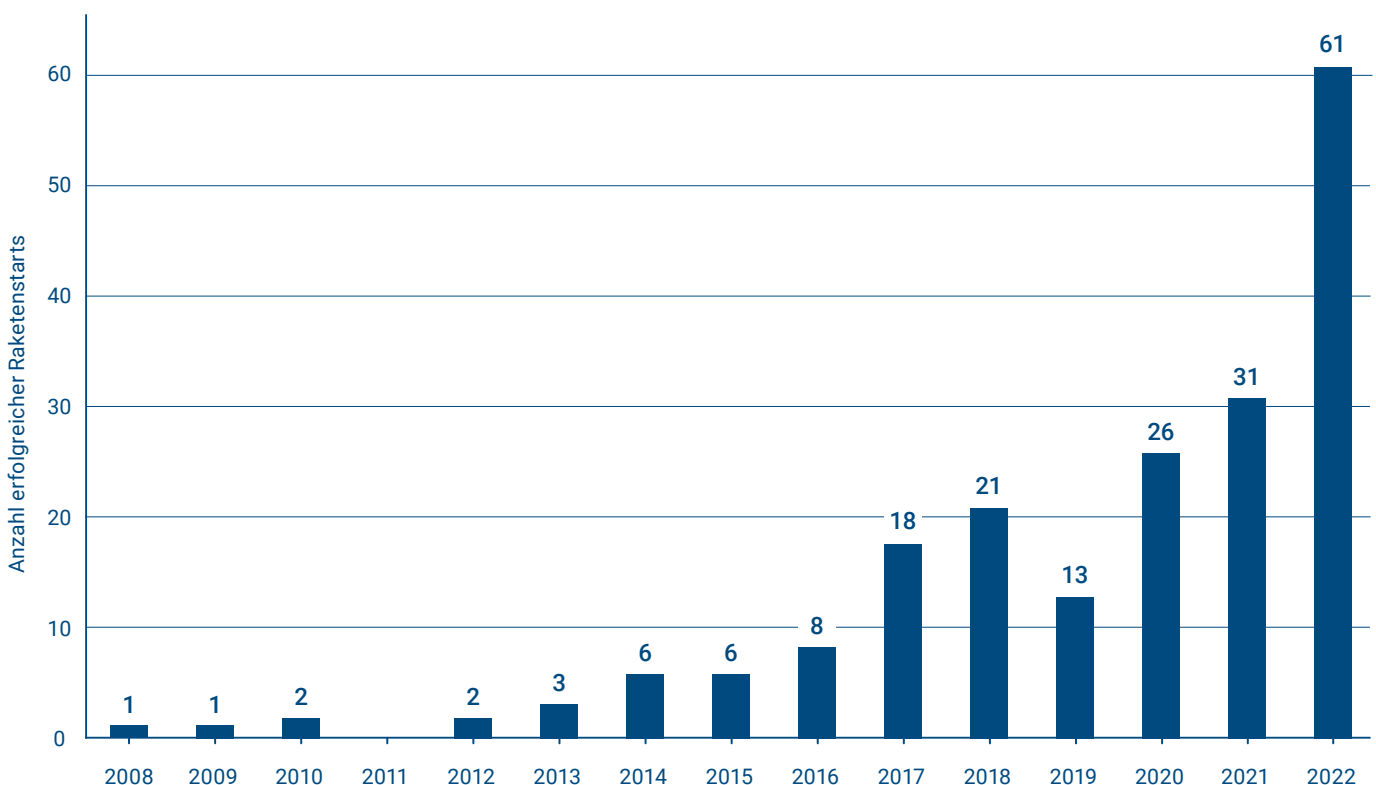
39 Laut der HEUMEGA Studie 2021 etwa ein Zehntel der Kosten von Starts mit Ariane 5 – Tendenz sinkend.

Technologieförderung in der Raumfahrt und Einfluss staatlichen Handelns

Auch staatliches Handeln in Form von Gesetzgebung, finanzieller Unterstützung und der Schaffung eines förderlichen Ökosystems spielt eine wesentliche Rolle für das Etablieren einer leistungsfähigen Raumfahrtindustrie. Ein Beispiel dafür, wie staatliche Maßnahmen Raumfahrt-Startups und insbesondere die Skalierbarkeit ihrer Angebote positiv beeinflussen können, ist der „U.S. Commercial Space Launch Competitiveness Act“ (auch bekannt als „US Space Act“). Skalierbarkeit bezeichnet einerseits die Fähigkeit von Raumfahrtunternehmen, Hardware wie Raketen und Raumfahrzeuge in Serie herzustellen und dadurch die Kosten pro Einheit zu senken. Andererseits bedeutet Skalierbarkeit eine Ausweitung des Angebotsspektrums, und das Wachstum physischer und organisatorischer Infrastruktur wie Start- und

Landeplattformen oder Testanlagen, um mehr Raumfahrtmissionen und -projekte durchführen zu können. Dies alles trägt dazu bei, die Rentabilität und Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen. Vorausgesetzt ein adäquater rechtlicher Rahmen existiert. In den USA hat der US Space Act hier bereits 2015 klare Regelungen für kommerzielle, private Raumfahrtunternehmen getroffen, z.B. zu Haftung, Eigentumsrechten an Ressourcen im All und Genehmigungsverfahren für Missionen. Staatliche Aufträge und Fördergelder für Startups, z.B. der 2008 von der NASA mit SpaceX geschlossene Vertrag zur Durchführung von 13 Frachtflügen zur und von der Raumstation ISS, trugen ebenfalls dazu bei, dass SpaceX seine Technologien weiterentwickeln und skalieren konnte⁴⁰.

Abb. 3 | Raketenstarts von SpaceX⁴¹



Quelle: SpaceX; Statista 2023

⁴⁰ <https://www.nasa.gov/international-space-station/commercial-resupply/>.

⁴¹ SpaceX (8. Dezember, 2022). Anzahl der erfolgreichen Raketenstarts des Raumfahrt-Unternehmens SpaceX in den Jahren 2008 bis 2022 [Graph]. In Statista.

Zugriff am 09. Dezember 2023, abrufbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1058116/umfrage/erfolgreiche-raketenstarts-des-raumfahrt-unternehmens-spacex/>.

Solche Partnerschaften stellen eine Win-win-Situation dar: Sie ermöglichen es privaten Akteuren, ihr finanzielles Risiko zu minimieren und ihre Geschäftsmodelle schneller aufzubauen. Der Staat dagegen kann durch die Zusammenarbeit mit privaten Unternehmen Innovationen in der Raumfahrtindustrie und darüber hinaus vorantreiben. Diese Kombination aus mehr Wettbewerb und mehr Kooperation mit staatlichen Stellen motiviert private Unternehmen dazu, neue, effizientere und kostengünstigere Technologien zu entwickeln. Die Folge ist – wie in den USA seit einigen Jahren zu beobachten – eine schnellere Entwicklung und Skalierung der Raumfahrtkapazitäten. Der entstandene breitere und vielfältigere Markt wiederum wirkt als Magnet für weitere Innovationen und Investitionen.

So wird die Position des eigenen Landes im globalen Wettbewerb verbessert.

In Deutschland liegt der Fokus aktuell noch auf finanziellen Zuwendungen, also Fördermitteln, die für vielversprechende, aber risikobehaftete Konzepte gewährt werden. Dieser Ansatz ist oft mit langwierigen Antragsverfahren verbunden, da die Tragfähigkeit der Konzepte vorab sorgfältig geprüft wird. Im Gegensatz dazu steht das Modell der Auftragsvergabe, bei dem die Überprüfung und Bezahlung erst nach dem erfolgreichen Abschluss eines Projekts erfolgt. Für Startups sind solche Ankeraufträge besonders wertvoll, da sie nicht nur direkten Umsatz generieren, sondern auch ein starkes Vertrauenssignal für potenzielle Kapitalgeber darstellen.

Das Innovationsökosystem der Raumfahrt in Europa

Die Europäische Raumfahrtagentur (ESA) ist eine zwischenstaatliche Organisation mit vielen Mitgliedstaaten. Wie auch in anderen Politikfeldern variieren die Interessen und Prioritäten der Mitgliedstaaten. Die europäische Raumfahrtindustrie operiert auch oft noch auf nationaler Ebene, was zu Fragmentierung und Doppelarbeit führen kann, anstatt einen einheitlichen, effizienten europäischen Markt zu schaffen. Komplexe, politisch getriebene Entscheidungsprozesse und halbherzige Kompromisse verlangsamen die Entwicklung und Umsetzung von konzertierten Raumfahrtstrategien. Die Politik des geographischen Returns bedeutet, dass jedes Land, das Mittel in die ESA-Programme einbringt, auch einen entsprechenden Anteil an den Aufträgen und Arbeitsplätzen erhält, die aus diesen Programmen entstehen. Ziel ist, dass alle von der ESA-Mitgliedschaft profitieren und die europäische Raumfahrtindustrie ausgewogen gefördert wird. Da die Auswahl der Auftragnehmer aber nicht nur von ihrer Leistung, sondern auch von ihrem Herkunftsland abhängt, kann Fairness zu Lasten von Effizienz und Qualität gehen. Außerdem können Innovation und Kreativität beeinträchtigt werden, wenn Auftragnehmer auf einen festen Anteil an den Aufträgen zählen können, anstatt sich in einem größeren Wettbewerb behaupten zu müssen. Und schließlich haben die Raumfahrtagenturen weniger Anreize partnerschaftlich zu agieren. Aus europäischer Sicht wären daher mehr Flexibilität, eine an tatsächliche Fähigkeiten und Bedürfnisse der Mitgliedsstaaten angepasste Vergabe und die Schaffung eines gemeinsamen europäischen Marktes für Raumfahrt-dienstleistungen und -produkte sinnvoll.⁴²

Zudem sind die Budgets für europäische Raumfahrtprogramme im Vergleich zu den USA oder China geringer, z.B. betrug das ESA-Budget 2023 7,1 Mrd. US-Dollar, das NASA-Budget 25,4 Mrd. US-Dollar. Das Budget 2023 Chinas für die Raumfahrt ist nicht offiziell bekannt. Es betrug 2019 11 Mrd. US-Dollar, aber es ist von einer deutlichen Erhöhung auszugehen, da China viele aufwendige Missionen geplant oder bereits durchgeführt hat, darunter den Aufbau einer eigenen Megakonstellation, die Erkundung des Mondes und des Mars, und den 2023 aufgenommenen Betrieb der chinesischen Raumstation Tiangong.⁴³

Das im Vergleich kleine europäische Budget schränkt nicht nur die Möglichkeiten für umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsprojekte ein, sondern bedeutet auch einen Nachteil für europäische Unternehmen. Denn sie stehen im Wettbewerb mit Firmen aus Ländern wie den USA und China, wo die Raumfahrtindustrie erhebliche staatliche Unterstützung und Subventionen erhält. Im Zeitraum 2011 bis 2020 wurden 47% der weltweiten Investitionen in private Raumfahrt in den USA getätigt und 29% in China.⁴⁴ US-Unternehmen profitieren zusätzlich von einem großen und einheitlichen heimischen Markt. Sie können eine große Anzahl potenzieller Kunden bedienen, ohne die Komplexität der Anpassung ihrer Produkte oder Dienstleistungen an verschiedene regionale Märkte oder Regelungen bewältigen zu müssen. Dies erleichtert es ihnen, effizient zu skalieren. Für die Europäer hingegen ist der Eintritt in kommerzielle Märkte und die Entwicklung profitabler Geschäftsmodelle ungleich

⁴² <https://www.linkedin.com/pulse/competitiveness-esas-geo-return-policy-josef-aschbacher>.

⁴³ SpaceChina (2023). Abrufbar unter: <http://english.spacechina.com/n17212/index.html>.

⁴⁴ Statista (2022). Raumfahrtreport 2.0.

schwieriger. Neben politischen Befindlichkeiten hemmt eine strengere und komplexere Regulatorik die Innovationsgeschwindigkeit, z.B. wenn es um den Start von Satelliten oder die Zulassung neuer Technologien geht. Aber auch der insgesamt komplizierte europäische Rechtsrahmen, z.B. durch uneinheitliche Steuergesetzgebung, bremst Startups. Er führt nicht nur zu Wettbewerbsverzerrungen, sondern erhöht den administrativen Aufwand für Startups, die oft nicht über die notwendigen Ressourcen verfügen, um alle Regelungen zu verstehen und einzuhalten.⁴⁵

Gleiches gilt für das in Europa verfügbare Risikokapital und die Risikobereitschaft: Es gibt eine größere Zurückhaltung, Risiken einzugehen, sowohl staatlicherseits bei der Entwicklung neuer Technologien als auch bei Investitionen. Seit 2000 waren die USA das Land mit den meisten Investoren, gefolgt von China, Japan und dem Vereinigten Königreich. Allerdings zieht der Start-up-Sektor eine Vielzahl von Investoren an. Inzwischen gibt es auch einige europäische auf Space spezialisierte Investoren – wie etwa die Münchner Alpine Space Ventures oder die deutsch-französischen Urania Ventures. Immer mehr nicht-amerikanische, Non-Space-Unternehmen und Erstinvestoren treten in das Ökosystem ein. Weltweit kam 2022 etwa die Hälfte der SpaceTech-Investoren aus den USA und 8% aus China. In Europa sind die meisten Investoren in UK (ca. 6%) und Frankreich (ca. 5%) zu finden.

Nach wie vor wird in Deutschland und Europa bahnbrechende Forschung betrieben, der Weg hin zu marktfähigen Produkten und Dienstleistungen und Scale ups ist jedoch steiniger. Die intensive Gründungsförderung vieler Universitäten und Forschungseinrichtungen – zum Beispiel an der Universität der Bundeswehr München – darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass Startups in Europa unter schwierigeren Bedingungen als in China und den USA agieren. Der europäische Accelerator SpaceFounders⁴⁶, ein gemeinsames Programm der Universität der Bundeswehr München, der französischen Raumfahrtagentur CNES und der italienischen Raumfahrtagentur ASI, ist ein Beispiel für solche Unterstützungsprogramme. Es demonstriert, wie akademische und staatliche Institutionen zusammenarbeiten können, um Startups zu fördern. Solche Initiativen allein reichen aber nicht aus, um die strukturellen Herausforderungen, mit denen europäische Startups konfrontiert sind, vollständig zu überwinden. Weder der Staat noch europäische Unternehmen betreiben die Förderung von Startups konsequent.

So sind diese von öffentlichen Aufträgen oft ausgeschlossen, da sie den strengen Vergabeanforderungen und Due-Diligence-Prüfungen häufig nicht genügen können. Formale Kriterien wie z.B. Nachweise über drei Jahresabschlüsse, Bonitätsnachweise, Mindestumsätze, Mindestanzahl an Mitarbeitenden, Eigenkapitalquoten oder eine Mindestbestandsdauer des Unternehmens stellen oft unüberwindbare Hürden für Startups dar. Hier wären Maßnahmen wie eine Vereinfachung des Vergabeprozesses, die Anwendung innovativer Vergabekriterien, angemessene Wirtschaftlichkeitskriterien und eine Erweiterung von Innovationspartnerschaften notwendig.⁴⁷

Um diese Herausforderungen zu überwinden, bedarf es einer stärkeren Koordination auf europäischer Ebene. Eine Erhöhung der Investitionen in Raumfahrtprojekte und -technologien, eine Vereinfachung der regulatorischen Prozesse und eine Förderung von Risikokapitalinvestitionen in Startups und innovative Technologien sind ebenfalls wichtig. Startups sollten keine durch staatliches Handeln, z.B. Startup-feindliche oder fehlende Regulierung, vom Staat zu verantwortenden Wettbewerbsnachteile gegenüber etablierten Unternehmen haben. Auch wenn sie nicht alle erfolgreich sein werden, wird ihre Präsenz auf dem Markt positiv wirken.

Innovationspolitisch würde eine stringente Schlüsseltechnologie-Roadmap mit mittel- und langfristigen Zielen, eine europäische Mega-Satellitenkonstellation sowie die Förderung von wiederverwendbaren kostengünstigen Microlaunchern aktiv dazu beitragen, Start-ups den Einstieg in den Markt zu erleichtern.⁴⁸ Damit könnte Europa seine Chancen im Wettbewerb um Marktanteile in sich erst entwickelnden Märkten erhöhen. Dazu gehört auch die Sicherung von Frequenz- und Orbitrechten auf internationaler Ebene, da die höheren Frequenzbereiche, technologisch das Potenzial für innovative neue Anwendungen bieten. Der Zugang zu diesen Frequenzen und die Teilhabe an der Entwicklung von Standards ist ein wichtiger Faktor für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit in der Satellitenkommunikation.⁴⁹

Insgesamt betrachtet, bietet Innovationsförderung in der Raumfahrt Europa nicht nur die Möglichkeit, in einem hochdynamischen und zukunftsorientierten Sektor eine führende Rolle einzunehmen, sondern auch den digitalen Wandel in anderen Schlüsselindustrien maßgeblich zu unterstützen und voranzutreiben.

⁴⁵ Ebd.

⁴⁶ www.spacefounders.eu.

⁴⁷ Bitkom e.V. (2019). 7 Punkte für mehr Startups in der öffentlichen Vergabe.

⁴⁸ Knopp, A., Hoffmann, Ch., & Reder, H. (2021). HEUMEGA – Unabhängige Trendanalyse zum Thema Megakonstellationen.

Abgerufen unter: https://www.dlr.de/rd/desktopdefault.aspx/tabid-18004/28579_read-74147/.

⁴⁹ ebd.

Schlussfolgerungen

Unter dem unscharfen Oberbegriff „New Space“ wird vieles zusammengefasst: Neue Akteure wie Start-ups, aufstrebende Raumfahrtationen wie Indien, die Integration „raumfahrtferner“ Unternehmen und Methoden in das Ökosystem, technologische Innovationen wie wiederverwendbare Raketen, der neue Fokus auf datenbasierten Anwendungen, aber auch integrierte Wertschöpfungsketten und die Kombination disruptiver Technologieplattformen wie Blockchain, künstliche Intelligenz, Robotik und additive Fertigung.

Gleichzeitig steht der Begriff für eine neue Art, Raumfahrt zu „denken“ und für einen industriellen Wandel nicht nur in der Raumfahrt selbst. Raumfahrt wird andere Industrien und deren Zukunftsfähigkeit in einem heute kaum abschätzbaren Ausmaß beeinflussen. Länder, die sich jetzt keine Raumfahrtfähigkeiten sichern, werden strategisch abhängig und wirtschaftlich benachteiligt sein. Zum Schutz unserer Industrien muss eine eigenständige europäische Raumfahrt-politik darauf abzielen, technologische Unabhängigkeit und globale Wettbewerbsfähigkeit zu erlangen, auch durch eine eigene Konstellation für kommerzielle und staatliche Nutzung sowie eigene Trägerraketen. Dazu bedarf es eines echten Wettbewerbs. Die „Fairnesspolitik“ des geographischen Returns, nach der die ESA in jedem Mitgliedsland in Höhe seines Beitrags investiert, muss überdacht werden, da sie den Wettbewerb einschränkt und der heutigen Dynamik nicht gerecht wird. Die beschriebene Verflechtung vieler Branchen mit der Raumfahrt zeigt, dass ein starker europäischer

Raumfahrtsektor langfristig für alle besser wäre, unabhängig davon, wer die Aufträge gewinnt. Denn wenn Europa in der Raumfahrt den Anschluss verliert, zahlen wichtige Industriezweige wie die Automobilindustrie und der Maschinen- und Anlagenbau die Zeche. Hierfür sollten neben der Politik alle betroffenen Industriezweige sensibilisiert und noch stärker mit dem Raumfahrtsektor vernetzt werden. Die Raumfahrt darf nicht im eigenen Saft schmoren, sondern muss als sektorenübergreifendes Ökosystem gedacht werden. Silo- und Ressortdenken verhindert insbesondere die Entwicklung branchenspezifischer Lösungen. Damit Deutschland im Spiel bleibt, sollten diejenigen Schlüsseltechnologien der Raumfahrt gefördert werden, wo bereits Marktführerschaft und Wachstumspotenzial besteht, z.B. die optische Kommunikation. Gleichzeitig müssen neue Kompetenzen in zukünftigen Wachstumsbereichen aufgebaut werden, z.B. weltraumgestützte Solarenergie, Fertigung im Weltall oder die Erschließung von Ressourcen des Mondes. Technologieförderung in der Raumfahrt darf aber nicht isoliert betrachtet werden, sondern muss integraler Bestandteil einer vernetzten High-Tech-Strategie sein. Nur so können öffentliche Fördermittel effizient und zielgerichtet eingesetzt werden.

Die aktuellen Entwicklungen in Krisengebieten unterstreichen jenseits wirtschaftlicher Überlegungen die Dringlichkeit, dass Europa in einer zunehmend von Raumfahrttechnologien abhängigen Welt wirtschaftlich und politisch handlungsfähig bleiben muss. Dazu braucht es Mut und Entschlossenheit.

