ProdE Production Engineering | dap | PEM | RWTH AACHEN UNIVERSITY

PRODUKTION FÜR DEN IM MIT DEM WELTRAUM

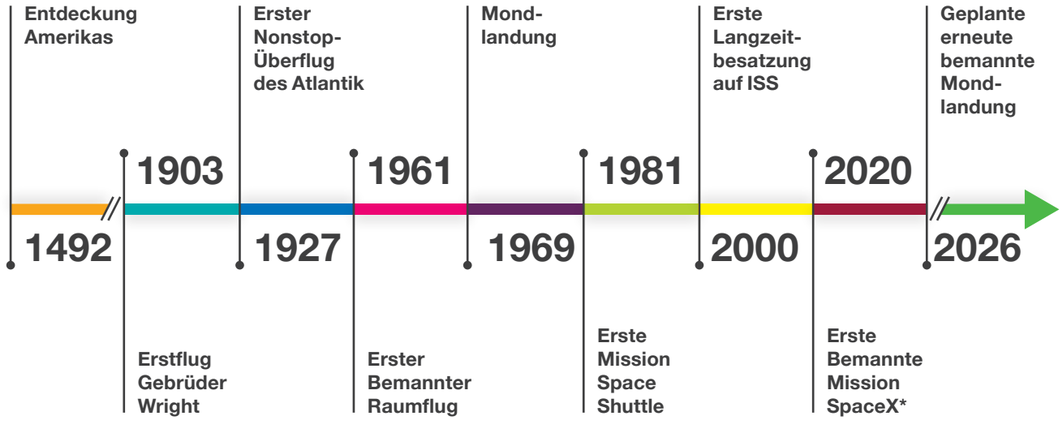
#1 WELTRAUMPRODUKTION – EINE BESTANDSAUFNAHME

#2

#3

HINTERGRUND

Am 21. Juli 1969 setzte Neil Armstrong als erster Mensch einen Fuß auf den Mond. Wenige Tage später landete er mit der restlichen Besatzung der „Apollo 11“-Mission sicher wieder auf der Erde. Dies war das vorläufige Ende eines der aufwendigsten Wettläufe zwischen zwei Nationen, die die Welt je gesehen hatte. Neil Armstrong wurde durch seine erfolgreiche Mond-Mission zu einem der weltweit bedeutendsten Pioniere. Christoph Kolumbus gilt als Entdecker der „Neuen Welt“, seitdem er im Auftrag der kastilischen Krone einen westlichen Seeweg nach Indien suchte und dabei den amerikanischen Kontinent entdeckte. Als sein Äquivalent in der Luftfahrt gilt Charles A. Lindbergh, der vom 20. bis 21. Mai 1927 die erste Solo-Überquerung des Atlantiks absolvierte, als er mit seiner „Spirit of St. Louis“ von New York nach Paris flog. Er war dabei zwar nicht im Auftrag einer Nation unterwegs, wurde bei seiner Rückkehr nach New York jedoch als Nationalheld empfangen, gefeiert und geehrt.



*Erste bemannte orbitale Weltraummission eines privat entwickelten Raumschiffs

Abbildung 1: Zeitstrahl der Entdecker
(eigene Darstellung)

Was damals noch primär durch militärischen Druck vorangetrieben wurde, findet heute, rund 50 Jahre nach der Mondlandung, eine deutlich andere Motivation. Neugier und die „Entzauberung“ des Unbekannten treiben seit jeher die Forschung an. Das betrifft heute besonders das Weltall. Einerseits kommen durch die zunehmende Privatisierung der Weltraumexploration immer mehr Menschen mit diesem Thema in Kontakt, andererseits spielt der Kosmos eine entscheidende wirtschaftliche Rolle und bietet ein enormes Wettbewerbsumfeld, etwa im Bereich der satellitenbasierten Kommunikation. Als Konsequenz werden die Zeiträume zwischen großen wissenschaftlichen Leistungen in Bezug auf die Raumfahrt immer kleiner.

„GAME CHANGER“ WELTRAUMPRODUKTION

Im Jahr 2026 soll zum ersten Mal seit 1972 wieder ein Mensch den Mond betreten.[1]
Mit dem zugrundeliegenden Programm wird der Aufbau einer Mondstation beginnen, die auch mehrwöchige oder gar mehrmonatige Aufenthalte auf dem Mond erlauben soll.[2]
Schließlich sollen diese Vorbereitungen zur ersten Landung eines Menschen auf dem Mars führen. Der wachsende Wettbewerb zwischen Zulieferern für die Raumfahrt ermöglicht diese kurzfristige Abfolge von Meilensteinen. Heutzutage bildet sich der Kreis derjenigen Akteure, die sich am „Weltraum-Markt“ beteiligen, neben den Regierungsorganisationen auch aus unterschiedlichen privaten Betrieben. Bei dem Phänomen, das als „New Space“ beschrieben wird, arbeiten Start-up-Unternehmen mit Regierungsorganisationen und Konzernen der klassischen Industrie eng zusammen.[3] Dies ermöglicht eine Vielzahl von Chancen: Die Raumfahrtbehörden werden zu Auftraggebern und können ihre Anforderungen klar formulieren. Das Oligopol einzelner großer, internationaler Raumfahrtkonzerne, die üblicherweise auch in der Luftfahrt und in der Rüstungsindustrie aktiv sind, wird herausgefordert. Damit ergibt sich ein neuer Wettbewerb, der für die technische und wirtschaftliche Nachhaltigkeit entscheidend ist. Ein dritter Vorteil der zunehmenden Beteiligung privater Betriebe in der Raumfahrt liegt in politisch beeinflussten Unternehmen und Institutionen: Durch die Möglichkeit, die Dienste privatwirtschaftlicher Anbieter in Anspruch zu nehmen, können staatliche Behörden ihre Abhängigkeit von anderen Nationen reduzieren. So kann beispielsweise die europäische Raumfahrtbehörde ESA neuerdings auf Startkapazitäten privater Unternehmen zurückgreifen und somit die Abhängigkeit etwa von russischen Institutionen minimieren.[4]
Aus Sicht der Produktionstechnik ergeben sich durch die Neuordnung der Märkte zahlreiche neue Chancen – aber auch Herausforderungen, die an dieser Stelle einen Vergleich zum Beginn der Industriellen Revolution erlauben. Wie damals, lassen sich heute die Potenziale der bevorstehenden Entwicklungen nur in Ausschnitten vorab identifizieren und evaluieren.

> Die zunehmende Privatisierung der Raumfahrt beschleunigt die Entwicklungszyklen.

PHASEN DER WELTRAUMERSCHLIESSUNG

Aus produktionstechnischer Perspektive lässt sich die wirtschaftliche Erschließung und Nutzung des Weltraums in vier Phasen gliedern.

1. Als erstes Stadium wird im Rahmen dieses Ansatzes die Produktion für die Raumfahrt verstanden. Aktuell befindet sie sich im Wandel von Manufaktur- hin zu Serienstückzahlen und bietet in Zukunft ein hohes Marktpotenzial.[5]
Der Weltraum expandiert auch als Markt rasant und soll bis zum Jahr 2040 die Marke von einer Billion US-Dollar erreichen, ausgehend von derzeit rund 350 Milliarden Dollar. Den größten Wachstumsfaktor soll dabei die Bereitstellung des Internets mit Hilfe von Satelliten bringen.[6]
Der Grund für dieses Wachstum liegt vor allem in der steigenden Bedeutung von modernen Informationstechnologien für das tägliche Leben. Der Zugang unter anderem zu Internet, Telefon, Navigation und Fernsehen erfolgt in den meisten Fällen über Dienste aus dem Weltraum. Schon jetzt trägt die Satellitenindustrie rund 74 % zur globalen Weltraumwirtschaft bei.[7]
Zusätzlich lassen sich die Aufgaben, die ein Satellit erfüllen muss, schon heute in deutlich kleineren Bauräumen abbilden. Dadurch entstehen signifikant geringere Lasten. Durch die Nutzung von Skaleneffekten ergibt sich ein weiterer Kostenvorteil.[8] Dies ist nur ein Grund dafür, dass Fach- und Führungskräfte aus anderen Branchen verstärkt in der Raumfahrt aktiv werden. Um die Erfahrung der Produktion- und Produktionsentwicklung der Automobilindustrie in der Raumfahrt anzuwenden, wird zunehmend Personal aus diesem Bereich für die Massenproduktion von Satelliten rekrutiert. Trotz der unterschiedlichen spezifischen Anforderungen lassen sich zahlreiche im Automobilbau etablierte Systeme auch in der Weltraumproduktion anwenden.[9]

2. Im zweiten Stadium werden Produktionsschritte in den Weltraum verlagert, um diese Prozesse von den dortigen Umgebungsbedingungen wie Mikrogravitation oder Vakuum profitieren zu lassen.[10] Durch die hohen Kosten der Fertigung im Weltraum müssen sich mit den entsprechenden Produkten deutliche Vorteile im Vergleich mit ihrer Herstellung auf der Erde erzielen lassen. Im Rahmen der Glasfaserproduktion etwa erlaubt die Mikrogravitation höhere Qualitätsstandards als im gewohnten Umfeld, in der Medizintechnik lässt sie sich dazu nutzen, Organe zu drucken[11], und in der Materialtechnik ergibt sich eine bessere Mischbarkeit sowie die Möglichkeit, größere und reinere Kristalle zu züchten. Ein weiterer Faktor ist der nahezu unbegrenzte Zugriff auf Sonnenenergie, wozu es bereits erste Produktionsversuche im kleinen Rahmen in der Internationalen Raumstation ISS gegeben hat.

3. Das dritte Stadium ist durch den Abbau von Ressourcen auf Planeten und anderen Himmelskörpern gekennzeichnet, um der Rohstoffknappheit auf der Erde entgegenzuwirken. Viele der erdnahen Meteoriten bestehen aus Metallen, die erschlossen werden können. So besteht der Asteroidengürtel in unserem Sonnensystem zu rund 30 Prozent aus baufähigen Metallen. Erste Landungen auf Asteroiden haben bereits stattgefunden und bilden die Grundlage für dieses Konzept. Allerdings sind die aktuellen Kosten noch nicht mit den

potenziell erzielbaren Gewinnen aufzuwiegen: Betrugen beispielsweise die Investitionen in die „OSIRIS-REx“-Mission der NASA rund 800 Millionen US-Dollar, wurden dabei gerade einmal zwei Kilogramm Material abgebaut und zur Erde befördert.[12] In diesem Bereich der Kosten-Nutzen-Relation kann und muss die moderne Produktionstechnik einen wesentlichen Beitrag zur Effizienz leisten.

4. Das vierte und letzte Stadium markiert das Terraforming von Himmelskörpern zur dortigen Gründung von Siedlungen. Bei diesem Schritt werden die vorherigen drei Konzepte vorausgesetzt und miteinander kombiniert – mit dem Ziel, menschliches Leben auf anderen Planeten zu ermöglichen. Dabei stehen derzeit vor allem „SpaceX“ mit der Besiedlung des Mars und die NASA mit derjenigen des Mondes im Scheinwerferlicht. Mit den aktuellen Technologien bieten sich nur wenige Himmelskörper grundsätzlich zur Besiedlung an: Planeten, die sich außer Reichweite befinden, die zu nahe an der Sonne liegen oder deren Atmosphäre kein menschliches Leben zulässt, fallen zunächst aus der Betrachtung. Zwar bringt das „Full Terraforming“ die gesamte Anpassung eines lebensfeindlichen Planeten an den Menschen ins Spiel, bleibt allerdings bisher nur blanke Theorie.[13]

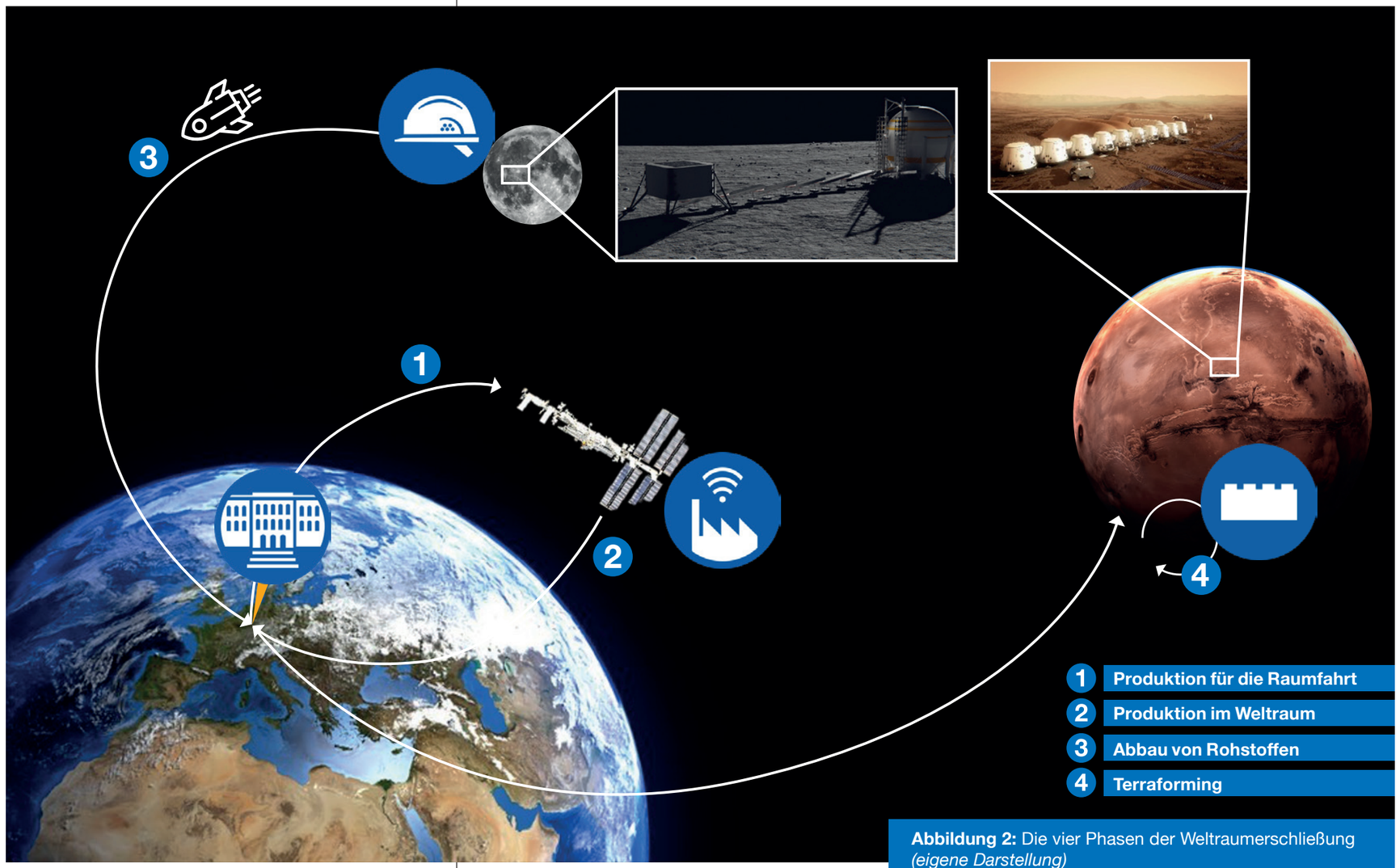


Abbildung 2: Die vier Phasen der Weltraumerschließung *(eigene Darstellung)*

AUSBLICK AUF DIE WHITEPAPER-REIHE

Die Reihe von Veröffentlichungen, deren erster Teil das vorliegende Whitepaper bildet, gibt einen Überblick zu den Möglichkeiten und potenziellen Tätigkeitsfeldern der Weltraumproduktionsforschung. Dazu werden aktuelle Technologien und wirtschaftliche Trends mit Zukunftsplänen, Roadmaps und Theorien zusammengeführt und mit Blick auf ihr (Forschungs-) Potenzial analysiert. Die Veröffentlichungen orientieren sich an den vier vorgestellten Stadien der Weltraumerschließung und möchten mögliche Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte zur Produktion für den, im und mit dem Weltraum aufzeigen als breit angelegte Diskussionsgrundlage und Basis für künftige Innovationspfade.

LITERATURVERZEICHNIS

1 **Elizabeth Howell. NASA's 1st Artemis moon landing will likely slip another year to 2026: The spacesuits and Human Landing System can't be ready before then, NASA's Inspector General told lawmakers, 2022**
(abgerufen am 23.08.2022). https://www.space.com/artemis-moon-landing-likely-slip-to-2026

2 **G. Hegmann. Spionage-Vorteil dank Elon Musk – diesmal machte die Bundeswehr alles richtig, 2022**
(abgerufen am 23.08.2022). https://www.welt.de/wirtschaft/plus239418229/Musk-bringt-Spionage-Vorteil-diesmal-machte-Bundeswehr-alles-richtig.html?icid=search.product.onsitesearch

3 **J. Göbel. Starke Startups: Satellitentransport und mehr: Wie junge deutsche Unternehmen an den Raketen der Zukunft bauen., 2022**
(abgerufen am 12.10.2022). https://www.deutschland.de/de/topic/wirtschaft/deutschland-raumfahrt-startups-innovative-technik-im-all

4 **D. Sürig. Space-Allianz gegen US-Konzerne, 2021**
(abgerufen am 23.08.2022). https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/raumfahrt-new-space-bdi-sap-spacex-1.5477078

5 **A. Landwehr. Kommerzielle US-Raumfahrt: Die neue Weltraumökonomie, 2021**
(abgerufen am 06.09.2022). https://www.deutschlandfunkkultur.de/kommerzielle-us-raumfahrt-die-neue-weltraumoekonomie-100.html

6 **MorganStanley. Space: Investing in the Final Frontier: Will declining launch costs, advances in technology and rising public-sector interest position space exploration as the next trillion-dollar industry?, 2020**
(abgerufen am 12). https://www.morganstanley.com/ideas/investing-in-space

7 **BMK Österreich. Weltraumstrategie 2030+: Weltraum ist für ALLE da, 2021**
(abgerufen am 12.10.2022).
https://www.bmk.gv.at/themen/innovation/publikationen/Weltraum/Weltraum-Zukunftsraum.html"

8 **A. Schulte-Loosens. Femto-Satelliten, (o.J.)**
(abgerufen am 26.10.2022). https://www.int.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/corporate-technology-foresight/femto-satelliten.html

9 **D. H. Lorenzen. Der neue Wettlauf ins All: Die Zukunft der Raumfahrt.**
Dissertation, Kosmos Verlag, Stuttgart, 2021. ISBN: 3440172716

10 **C. Liao et al. Low-temperature thermoplastic welding of metallic glass ribbons for in-space manufacturing. Science China Materials, 2021, 64 (4), 979–986.**
https://doi.org/10.1007/s40843-020-1533-x

11 **J. Guite. Fertigung im Weltraum, (o.J.)**
(abgerufen am 17.10.2022). https://technetics.com/de/manufacturing-in-space/#:~:text=Bei%20der%20Herstellung%20von%20ZBLAN,und%20oxidierende%20Schichten%20zu%20reduzieren.

12 **J. Bösche. Bergbau im All: Wilder Westen der Zukunft, 2016**
(abgerufen am 07.09.2022). https://www.deutschlandfunk.de/bergbau-im-all-wilder-westen-der-zukunft-100.html#:~:text=Unternehmen%20will%20Bergbau%20im%20Weltall%20betreiben&text=%E2%80%9EDie%20Asteroiden%20in%20Erdn%C3%A4he%20sind,als%20%C3%BCberall%20auf%20der%20Erdoberfl%C3%A4che.

13 **National Space Society. NSS Roadmap to Space Settlement Milestone 29: Terraforming and Para-Terraforming: Modification of other planets or moons to support human, animal and plant life in a manner similar to the Earth., (o.J.).**
https://space.nss.org/space-settlement-roadmap-29-terraforming/

IMPRESSUM

Production Engineering of E-Mobility Components |
RWTH Aachen University
Bohr 12, 52072 Aachen
Telefon +49 241 80 27406
E-Mail info@pem.rwth-aachen.de
Web www.pem.rwth-aachen.de

Autoren
Prof. Dr.-Ing. Achim Kampker,
Prof. Dr.-Ing. Heiner Hans Heimes,
Mario Kehrer,
Sebastian Hagedorn,
Julius Hausmann

Digital Additive Production DAP |
RWTH Aachen University
Campus-Boulevard 73, 52074 Aachen
Telefon +49 241 80 40534
E-Mail info@dap.rwth-aachen.de
Web www.dap-aachen.de

Autoren
Prof. Dr.-Ing. Johannes Henrich Schleifenbaum,
Dr.-Ing. Lucas Jauer,
Dr.-Ing. Stephan Ziegler,
Klaus Büßenschütt

Zukünftige potenzielle Forschungsthemen werden innerhalb des Profilbereichs durch Arbeitsgruppen erarbeitet mit dem Ziel, neue Großforschungsanträge interdizsipilinär und fakultätsübergreifenden zu initiieren sowie um Transparenz und eine Bündelung der Kompetenzen zu ermöglichen.
www.prode.rwth-aachen.de

Für die Inhalte der Publikation sind ausschließlich die Autoren verantwortlich.

Projektleitung: Mario Kehrer, Julius Hausmann
Lektorat: Mischa Wyboris
Konzept und Gestaltung: Patrizia Cacciotti
Copyright 2023
Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt.

Bildnachweis
Titelbild/Rückseite AdobeStock | 3dsculptor | #105466708
Andere Bildquellen Seite 2: freepik.com
Seite 6 und 7 Collage:
Mars Siedlung (https://www.forbes.at/artikel/traumfaenger.html),
Moon Aixperts (https://www.moonaixperts.de/de/news-updates),
Mond und Mars (freepik.com), Erde (https://www.spektrum.de/podcast/wir-erwarten-dass-die-eu-eine-schluesselrolle-spielt/1632274)
Weitere Abbildungen der Autoren stammen aus privater Quelle.

PEM der RWTH Aachen, 1. Auflage, DE, ISBN: 978-3-947920-40-2