

Ex-Ante Impact Assessment astronautische und robotische Raumfahrt

Wien, 2025

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur, Radetzkystraße 2,
1030 Wien

Autorinnen und Autoren: Dr. Christian Hartmann, Gerit Anders BA

Wien, 2025. Stand: 6. März 2026

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundesministeriums und der Autorin / des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin / des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Executive Summary

Die **robotische und astronautische Exploration** befindet sich in einer **dynamischen Phase**, geprägt von einer Mischung aus **staatlichen Programmen** und **privaten Initiativen**, die zunehmend miteinander verflochten sind. Die **NASA** und die **Europäischen Weltraumorganisation (ESA)** setzen weiterhin auf **robotische Missionen**, um Schlüsselziele wie die Erforschung des Mondes, des Mars und von Asteroiden voranzutreiben, während gleichzeitig die Vorbereitungen für bemannte Missionen intensiviert werden. **Robotischen Missionen** dienen als **Wegbereiter für astronautische Vorhaben**, indem sie kritische Technologien wie autonome Landesysteme und Ressourcennutzung (ISRU) erproben. Gleichzeitig rücken **private Handelnde** wie **SpaceX** und **Blue Origin** stärker in den Vordergrund, wobei SpaceX mit dem Starship-Programm nicht nur Mond- und Marsambitionen verfolgt, sondern auch robotische Vorstöße plant. Allerdings offenbaren jüngste Rückschläge beim Starship-Prototypen die technischen Hürden, insbesondere bei der Entwicklung zuverlässiger Antriebs- und Landesysteme.

Technologische Innovationen prägen beide Bereiche: In der **robotischen Exploration** setzen sich **miniaturisierte Instrumente** durch, die leichter und energieeffizienter sind, während **Fortschritte in der Telekommunikation** (z. B. Lasersysteme) die Datenübertragungsraten von fernen Missionen erhöhen. Die **Robotik** wird **zunehmend autonom** (intelligent selbststeuernd), wie etwa die Pläne für KI-gesteuerte Aufräummissionen gegen Weltraummüll zeigen, während Astronautenmissionen von Lebenserhaltungssystemen profitieren, die teilweise auf geschlossenen Kreisläufen basieren und somit Nachhaltigkeit fördern. **Globale Kooperationen bleiben entscheidend**, etwa bei der BepiColombo-Mission (ESA/JAXA), doch **nationale Alleingänge** – insbesondere Chinas ehrgeiziges Mondprogramm – verdeutlichen die **geopolitische Dimension der Raumfahrt**. Die **Grenze** zwischen **robotischer und astronautischer Exploration verschwimmt**, da humanoide Roboter wie Optimus zukünftig als Vorposten für Astronauten agieren könnten, während gleichzeitig Astronauten in orbitalen Labors wie dem Space Rider robotische Experimente überwachen. Parallel dazu treiben private Unternehmen die Kommerzialisierung der erdnahen Umlaufbahn voran, indem sie **Dienstleistungen** wie **Satellitenwartung oder Weltraumtourismus** anbieten.

Österreichs Raumfahrtsektor wird durch eine **Kombination** aus **staatlichen Institutionen, Forschungszentren und Industrieunternehmen** geprägt, die eng mit internationalen Partnern wie der ESA kooperieren. Die Agentur für Luft- und Raumfahrt der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft fungiert als zentraler Koordinator und vertritt die Inte-

ressen des Landes in Gremien der ESA, der EU sowie bei der Umsetzung nationaler Strategien. Sie verwaltet das Austrian Space Applications Programme, das seit 2002 über 800 Projekte zur Förderung von Weltraumtechnologien und Erdbeobachtung unterstützt hat. Der Raumfahrtsektor wurde im Jahr 2023 von der Fachhochschule Nordwestschweiz im Auftrag des BMIMI (vormals BMK) erhoben.¹ Dabei wurden 146 Organisationen identifiziert, die sich wie folgt aufteilen: 85 Wirtschaftsunternehmen (58%), 45 Organisationseinheiten aus Wissenschaft und Forschung (31%) und 16 Organisationseinheiten aus der öffentlichen Verwaltung und sonstige Organisationen (11%). In diesen 146 Organisationen waren 2023 insgesamt 1.300 VZÄ ausschließlich in Weltraumthemen beschäftigt.² Der **Bereich der HRE** macht nur einen **Teilbereich des gesamten Weltraumsektors aus** und umfasste 2023 insgesamt **26 Unternehmen** mit **23.891 Beschäftigte** und einen **Weltraumgesamtumsatz von EUR 162,4 Mio.**³ Der **Umsatz im Bereich Human and Robotic Exploration (HRE)** belief sich dabei **EUR 62,5 Mio.** Die 26 Unternehmen verfügten zum Erhebungszeitpunkt über 1.226 F&E-Beschäftigte (VZÄ) im Bereich Weltraum.

Szenario 1 „Weiter wie bisher“ geht davon aus, dass im Rahmen der nächsten ESA-Ministerratskonferenz im November 2025 in Bremen seitens Österreichs erneut **Wahlbeiträge i.d.H. von EUR 15,5 Mio.** für die **Terra Novae Programme Envelope** gezeichnet werden.⁴ Es bleibt die Struktur des Mitteleinsatzes somit für die kommenden Perioden (2026 bis 2031) unverändert. Es zeigt sich dabei, dass auch ohne eine Ausweitung der Wahlbeiträge Österreichs im Bereich HRE zumindest **moderate positive direkte und indirekte wirtschaftliche Effekte** zu erwarten sind. Dem steht jedoch weder ein verbesserter Zugang zu europäischen Forschungsnetzwerken noch zu europäischen Märkten gegenüber. In Ermangelung einer astronautischen Mission kann auch nicht mit einer mobilisierenden Wirkung im Bereich Bildung (MINT), bzw. mit positiven Impulsen für die öffentliche Wahrnehmung von SpaceTech in Österreich gerechnet werden.

Im Szenario 2 „Ausweitung der österreichischen Wahlbeiträge in der robotischen Exploration“ wird angenommen, dass im Rahmen der nächsten ESA-Ministerratskonferenz im November 2025 in Bremen seitens Österreichs eine **deutliche Ausweitung der Wahlbeiträge auf EUR 80,0 Mio.** für die **Terra Novae Programme Envelope** erfolgt. In den kommen-

¹ Barjak, F.; Heimsch, F.; Thees, O. (2023), Dienstleistungsauftrag zur Erhebung des österreichischen Weltraumsektors, Abschlussbericht

² Ders. S. 4.

³ Ders. S. 47.

⁴ Siehe hierzu Abschnitt 4.3 der Studie

den Perioden (2026 bis 2031) fließen dabei **alle gezeichneten Mittel** in **robotische Missionen**. Es ist sowohl mit einem **deutlichen Anstieg der betrieblichen Einnahmen** aus Verträgen mit der ESA und internationalen Aufträgen als auch mit signifikanten gesamtwirtschaftlichen Effekten in Österreich zu rechnen. Es sind darüber hinaus auch **positive Impulse für Spin-offs** und ein deutlich verbesserter **Zugang zum europäischen Markt** bzw. zu **europäischen Forschungsnetzwerken** zu erwarten. Es ist demgegenüber aber mit einer fehlenden mobilisierenden Wirkung im Bereich Bildung (MINT) sowie mit dem Ausbleiben von positiven Impulsen für die öffentliche Wahrnehmung von Weltraumforschung und -technologie zu rechnen.

Auch im **Szenario 3 „Ausweitung der österreichischen Wahlbeiträge mit einem Schwerpunkt in der Astronautik“** wird angenommen, dass im Rahmen der nächsten ESA-Ministeratskonferenz im November 2025 in Bremen seitens Österreichs eine **Ausweitung der Wahlbeiträge auf EUR 80,0 Mio.** erfolgt. Die Mittel fließen in den kommenden Perioden (2026 bis 2031) **überwiegend in astronautische Missionen**. Es sowohl mit einem **deutlichen Anstieg der betrieblichen Einnahmen** aus Verträgen mit der ESA und internationalen Aufträgen als auch mit **signifikanten gesamtwirtschaftlichen Effekten** in Österreich zu rechnen. Zusätzlich sind auch positive Impulse für Spin-offs und ein deutlich verbesserter Zugang zum europäischen Markt und zu europäischen Forschungsnetzwerken zu erwarten. Hinzu kommen durch die astronautische Mission noch eine **mobilisierende Wirkung im Bereich Bildung (MINT)**, sowie **positive Impulse für die öffentliche Wahrnehmung** von SpaceTech in Österreich. Der wesentliche **Nachteil** von Szenario 3 liegt in der aktuell **sehr unsicheren Zukunft des Artemis Programms der NASA**: Eine starke Redimensionierung oder gar eine Beendigung des Programms hätte naturgemäß weit über die USA hinaus sehr starke Auswirkungen auf die aktuellen und geplanten Aktivitäten im Bereich der astronautischen Exploration.

Szenario 4 „Beibehalten des Österreichischen Aktivitätsniveaus im Terra Novae Programm der ESA + Zukauf einer privaten Weltraummission“ geht von denselben Annahmen wie Szenario 1 aus. In Ergänzung dazu wird zusätzlich der Zukauf einer astronautischen Kurzzeitmission (Kosten rd. EUR 65 Mio.) bei einem privaten Anbieter angenommen. Analog sind auch hier zumindest **moderate positive direkte und indirekte wirtschaftliche Effekte** und in Folge der zugekauften privaten astronautischen Mission sowohl eine **mobilisierende Wirkung im Bereich Bildung (MINT)**, als auch **positive Impulse für die öffentliche Wahrnehmung** von SpaceTech in Österreich zu erwarten. Dem steht wie in Szenario 1 jedoch weder ein verbesserter Zugang zu europäischen Forschungsnetzwerken noch zu europäischen Märkten gegenüber.

Inhalt

Executive Summary.....	3
1 Einleitung.....	10
1.1 Hintergrund und Motivation	10
1.1.1 Weltweit gesteigertes Interesse an bemannter Raumfahrt	10
1.1.2 Bemannte Raumfahrt auch Priorität der ESA	11
1.2 Begriffsklärung im Rahmen des Projekts.....	11
1.2.1 Astronautische Exploration.....	11
1.2.2 Robotische Exploration	12
1.2.3 ESA Reserveastronaut*in	13
1.2.4 Upstream-Bereich	13
1.2.5 Downstream-Bereich	13
1.3 Methodik und Vorgehen.....	13
1.3.1 Literaturanalyse.....	14
1.3.2 Expert*innen-Interviews – international	14
1.3.3 Online-Befragung der im Bereich Exploration tätigen österreichischen Unternehmen	15
1.3.4 Expert*innen-Interviews – Österreich	16
1.3.5 Fokusgruppe zur Reflexion und Validierung der Rohergebnisse	17
1.4 Inhaltlicher Aufbau	17
2 Globale Lage und aktuelle Trends im Bereich robotische und astronautische Exploration	18
2.1 Einleitung	18
2.2 Internationale Entwicklungen im Überblick	18
2.3 Länderweise Betrachtung.....	21
2.3.1 USA (NASA).....	21
2.3.2 China.....	24
2.3.3 Russland	25
2.3.4 Japan.....	27
2.3.5 Indien.....	28
2.3.6 Kanada.....	29
2.3.7 Vereinigte Arabische Emirate (VAE).....	30
2.3.8 Weitere internationale Spieler*innen	31
2.4 Strategien der ESA und ihrer Mitgliedsländer im Bereich Exploration	33
2.4.1 Die ESA Terra Novae Roadmap	33
2.4.2 Die robotische Raumfahrt in der ESA.....	34

2.4.3 Bemannte Raumfahrt in der ESA	36
2.4.4 Projektastronaut*innen	36
2.4.5 Entwicklungen in ESA-Mitgliedsstaaten.....	38
3 Robotische und astronautische Exploration – der Status Quo in Österreich	42
3.1 Einleitung	42
3.2 Das österreichische Engagement in den Wahlprogrammen der ESA	42
3.3 Das österreichische Innovationsökosystem im Bereich robotische und astronautische Exploration	45
3.3.1 Schlüsselhandelnde und innovationsökonomische Eckdaten	45
3.3.2 Inhaltliche Tätigkeitsbereiche	47
3.3.3 Einbindung in europäische FTI-Netzwerke	52
3.3.4 Relevante Bildungseinrichtungen	55
3.3.5 Start-ups im Bereich HRE	56
4 Problemidentifikation und Beschreibung der Szenarien	58
4.1 Einleitung	58
4.2 Problemstellung.....	58
4.2.1 Anstoß	58
4.2.2 Herausforderungen	58
4.3 Definition der Szenarien	59
4.3.1 Szenario 1: Beibehalten des österreichischen Aktivitätsniveaus im Terra Novae Programm der ESA	60
4.3.2 Szenario 2: Ausweitung der österreichischen Wahlbeiträge in der robotischen Exploration	60
4.3.3 Szenario 3: Ausweitung der österreichischen Wahlbeiträge mit einem Schwerpunkt in der Astronautik	61
4.3.4 Szenario 4: Beibehalten des österreichischen Aktivitätsniveaus im Terra Novae Programm + Zukauf einer privaten Mission.....	61
5 Festlegung und Erfassung der Wirkungen für die vier Szenarien	64
5.1 Einleitung	64
5.2 Die Erfassung der Wirkungen	64
6 Wirkungshypothesen und Evidenzlagen für die Terra Novae Perioden 2026 bis 2031.	67
6.1 Einleitung	67
6.2 Der Wirkungspfad Wissenschaft und Technologie.....	67
6.2.1 Die Wirkungshypothesen und erwarteten Risiken	67
6.2.2 Die Evidenzlage für die Szenarien im Vergleich	71
6.2.3 Die Bewertung der Wirkungen im Szenariovergleich	74

6.3 Der Wirkungspfad Gesellschaft	75
6.3.1 Die Wirkungshypothesen und erwarteten Risiken	75
6.3.2 Die Evidenzlage für die Szenarien im Vergleich	76
6.3.3 Die Bewertung der Wirkungen im Szenariovergleich	79
6.4 Der Wirkungspfad Wirtschaft	80
6.4.1 Die Evidenzlage für die Szenarien im Vergleich	82
6.4.2 Gesamtwirtschaftliche Effekte	86
6.4.3 Indirekte wirtschaftliche Effekte	89
6.4.4 Die Bewertung der Wirkungen im Szenariovergleich	91
7 Schlussfolgerungen.....	93
7.1 Einleitung	93
7.2 Resümierender Vergleich der vier Szenarien	94
Tabellenverzeichnis.....	99
Abbildungsverzeichnis.....	101
Literaturverzeichnis	102
Abkürzungen.....	104
8 Anhang 1: Europäische Vergleichsländer.....	106
8.1 Belgien	106
8.1.1 Robotische Exploration	107
8.1.2 Astronautische Exploration	108
8.2 Dänemark.....	108
8.2.1 Robotische Exploration	109
8.2.2 Astronautische Exploration und deren gesellschaftliche Wirkung.....	110
8.3 Luxemburg	111
8.3.1 Robotische Exploration	112
8.3.2 Astronautische Exploration	112
8.4 Norwegen	113
8.4.1 Robotische Exploration	114
8.4.2 Astronautische Exploration	115
8.5 Niederlande	116
8.5.1 Robotische Exploration	116
8.5.2 Astronautische Exploration	117
8.6 Norwegen	118
8.6.1 Robotische Exploration	119
8.6.2 Astronautische Exploration	120

8.7 Polen	121
8.7.1 Robotische Exploration	121
8.7.2 Astronautische Exploration	122
8.8 Schweden	123
8.8.1 Robotische Exploration	123
8.8.2 Astronautische Exploration	124
8.8.3 Gesellschaftliche Wirkung	125
8.9 Schweiz	126
8.9.1 Robotische Exploration	128
8.9.2 Astronautische Exploration und deren gesellschaftliche Wirkung	128
8.10 Ungarn	131
8.10.1 Robotische Exploration	131
8.10.2 Astronautische Exploration	132
9 Anhang 2: Die Ergebnisse der Befragung in der Zusammenschau	134
9.1 Status Quo - Kompetenzen im Bereich Exploration in Österreich	134
9.1.1 Raumfahrzeuge und -komponenten	135
9.1.2 Robotische Exploration	135
9.1.3 Astronautische Exploration	136
9.1.4 Sonstige Raumfahrtssystemtechnologien	136
9.2 Status Quo - Beteiligung an F&E Programmen und F&E Kapazitäten	137
9.3 Szenario 1 und Szenario 4	140
9.4 Szenario 2	141
9.5 Szenario 3	146
10 Anhang 3: Wirkungsanalysen zu astronautischer und / oder robotischer Exploration	150
Anhang 4: Schlagwörter für die bibliometrische Analyse	152

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Motivation

Die in den folgenden Kapiteln zusammengefasste ex-Ante Wirkungsschätzung aus österreichischer Perspektive zu astronautischer und robotischer Exploration (HRE) dient der Identifikation und Reflexion möglicher Effekte und Risiken einer Ausweitung des österreichischen Engagements im Bereich HRE aus der Perspektive relevanter Anspruchsgruppen und schafft eine Grundlage zur Diskussion unterschiedlicher Handlungsoptionen für das zuständige Ressort bzw. die im Bereich der Austrian Space Agency vertretenen Anspruchsgruppen.

1.1.1 Weltweit gesteigertes Interesse an bemannter Raumfahrt

Weltweit ist ein stark gestiegenes öffentliches sowie auch privatwirtschaftliches Interesse an der bemannten Raumfahrt festzustellen. Die US-amerikanische Raumfahrtbehörde NASA konzentriert sich vor allem auf Mondprogramm "Artemis", bei dem nach mehr als einem halben Jahrhundert wieder Astronaut*innen auf dem Mond landen sollen. Darunter sollen erstmals eine Frau und eine nicht-weiße Person sein. Im Zentrum des chinesischen Weltraumprogramms steht die so gut wie fertiggestellte Raumstation "Tiangong" (Himmelspalast). Dazu gehört auch ein "Xuntian" genanntes Raumteleskop, das dem US-amerikanischen "Hubble"-Teleskop ähneln soll. Es soll regelmäßig an den "Himmelspalast" andocken, um Treibstoff nachzutanken und gewartet zu werden. Auch die asiatische Hightech-Nation Japan verfolgt Pläne zur Erkundung des Mondes und des Mars. Im Rahmen des "Artemis"-Programms der USA strebt Japan die erstmalige Landung eines*r eigenen Astronaut*in auf dem Mond an. Im arabischen Raum ist im Bereich Raumfahrt vor allem die emiratische Regierung in Abu Dhabi engagiert. Die indische Raumfahrtbehörde (ISRO) entwickelt das bemannte Gaganyaan-Raumschiff, mit dem ab 2025 bemannte Flüge in niedrige Erdumlaufbahnen geplant sind. In Ergänzung hierzu lassen sich auch etliche private Initiativen festhalten:

- Als erstes Privatunternehmen befördert die US-amerikanische Firma SpaceX seit Mai 2020 Raumfahrer zur ISS. Zusätzlich betreibt SpaceX mit seinem Raumschiff Crew Dragon auch mehrtägige Charterflüge von Privatpersonen in eine Erdumlaufbahn.

- Der Luft- und Raumfahrtkonzern Boeing entwickelt mit dem CST-100 Starliner ebenfalls ein Raumschiff für ISS Zubringerflüge.
- Das Unternehmen Blue Origin bestreitet hingegen mit seiner Rakete New Shepard kurze suborbitale Flüge.

Die Vereinigten Arabischen Emirate wollen über zehn Jahre hinweg umgerechnet mehr als EUR 800 Mio. in die private Raumfahrt investieren, Unternehmen und Start-Ups sollen unter anderem in Dubai in speziellen Wirtschaftszonen an die Arbeit gehen.

1.1.2 Bemannte Raumfahrt auch Priorität der ESA

Die von der ESA eingesetzte hochrangige Beratergruppe hat in ihrem Bericht „Revolution Raumfahrt – Europas Mission für die Exploration des Weltraums“ (veröffentlicht im März 2023) Europa aufgefordert, visionär, anders und jetzt zu handeln, und seine Ambitionen in der Weltraumexploration zu steigern. Als Reaktion auf diesen nachdrücklichen Aufruf sprach sich der ESA-Generaldirektor beim Space Summit 2023 für eine kühne Vision und ein ehrgeiziges Explorationsprogramm aus. Die Explorationsstrategie der ESA ist auf folgende drei Zielbereiche ausgerichtet: die erdnahe Umlaufbahn (LEO), den Mond und den Mars. Die ESA wird für die Ministerratstagung 2025 eine „ganzheitliche“ Weltraumexplorationsstrategie mit entsprechenden Programmen vorlegen.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie aus der österreichischen Perspektive mögliche Vorstöße im Bereich Exploration hypothetisch zu beurteilen sind. Österreich hat nach AUSTROMIR-91 keine größeren Vorstöße im Bereich der astronautischen Raumfahrt unternommen.

1.2 Begriffsklärung im Rahmen des Projekts

Für die Diskussion der Abschätzung potenzieller Wirkungen von robotischer und astronautischer Exploration für Österreich ist es notwendig, ein gemeinsames Begriffsverständnis herzustellen. Im Folgenden werden daher einige zentrale Begriffe für den Kontext dieser Studie definiert.

1.2.1 Astronautische Exploration

Astronautische Exploration bezeichnet die Erforschung des Weltraums durch Raumfahrtmissionen mit menschlicher Besatzung. Dabei werden Astronaut*innen in den Weltraum

geschickt, um das Universum direkt zu erkunden, wissenschaftliche Experimente durchzuführen und technologische Entwicklungen voranzutreiben. Diese Form der Exploration umfasst Aktivitäten wie:

- Missionen zur Erdumlaufbahn (z.B. die Internationale Raumstation ISS)
- Mondmissionen (z.B. Apollo-Programm, geplante Artemis-Missionen)
- Langfristige Ziele wie Mars-Exploration (z.B. zukünftige Mars-Missionen)

1.2.2 Robotische Exploration

Robotische Exploration bezeichnet die Erforschung des Weltraums mithilfe unbemannter, automatisierter Roboter und Sonden. Dabei werden Technologien wie Rover, Raumsonden, Satelliten und Drohnen eingesetzt, um Informationen über das All zu sammeln, ohne dass Menschen direkt vor Ort sein müssen. Wichtige Merkmale der robotischen Exploration sind:

- Raumsonden: Unbemannte Sonden, die zu Planeten, Monden, Asteroiden oder Kometen geschickt werden, um Daten zu sammeln (z.B. Voyager, New Horizons).
- Rover: Roboter, die auf Planeten oder Monden landen und dort Proben sammeln, Bilder machen und wissenschaftliche Experimente durchführen (z.B. Mars-Rover Curiosity und Perseverance).
- Orbitalsatelliten: Satelliten, die um Himmelskörper kreisen und dabei wichtige Messungen und Beobachtungen aus dem Orbit durchführen (z.B. Mars Orbiter, Hubble-Teleskop).
- Lander: Stationäre Roboter, die auf der Oberfläche von Himmelskörpern landen und Daten sammeln (z.B. die Mondsonde Luna oder die Kometen-sonde Philae).

Robotische Exploration ist besonders nützlich in extremen Umgebungen, die für Menschen gefährlich oder schwer zugänglich sind, wie der Mars, weit entfernte Planeten oder der äußere Bereich unseres Sonnensystems. Ebenso kann die robotische Exploration ein Element sein, das astronautische Exploration begleitet.

1.2.3 ESA Reserveastronaut*in

Eine ESA Reserveastronaut*in ist Teil des Astronautenkorps der Europäischen Weltraumorganisation (ESA), wird für zukünftige Missionen bereitgehalten, aber nimmt aktuell nicht aktiv an Raumflügen teil. Diese Astronaut*innen haben den Auswahlprozess erfolgreich durchlaufen und sind voll ausgebildet, werden erst bei Bedarf in das aktive Astronaut*innenkorps aufgenommen.

1.2.4 Upstream-Bereich

Der Upstream-Bereich im Weltraum-Sektor bezieht sich auf alle Aktivitäten und Industrien, die mit der Entwicklung, dem Bau, dem Start und dem Betrieb von Raumfahrttechnologien und -infrastrukturen zu tun haben. Er umfasst alle Prozesse und Technologien, die erforderlich sind, um Satelliten, Raketen und andere Raumfahrzeuge ins All zu bringen und zu betreiben.

1.2.5 Downstream-Bereich

Der Downstream-Bereich im Weltraum-Sektor hingegen umfasst alle Anwendungen und Dienste, die von der Nutzung der im Upstream-Bereich geschaffenen Raumfahrtinfrastrukturen abhängen, wie Satellitenkommunikation, Erdbeobachtung und Navigationsdienste.

Der Upstream-Bereich schafft demnach die physischen und technischen Grundlagen für alle raumbasierten Anwendungen im Downstream-Bereich. Der Upstream- und der Downstream-Bereich zusammengefasst bilden die gesamte Wertschöpfungskette des Weltraum-Sektors.

1.3 Methodik und Vorgehen

Für die Studie wurde eine breite Palette von quantitativen und qualitativen Methoden gewählt, um sowohl die direkten wirtschaftlichen Effekte als auch die indirekten Wirkungen auf Wirtschaft, Gesellschaft und Wissenschaft einer Erhöhung der ESA-Wahlbeiträge, so wie auch internationale Entwicklungen zu erfassen. Neben einer einführenden Literaturanalyse wurden qualitative Interviews mit zwei Zielgruppen geführt, einerseits mit ESA-Vertreter*innen ausgewählter Länder und andererseits mit wichtigen Handelnden im Weltraum Bereich aus der Forschung und der Industrie in Österreich. Parallel zu den Expert*innen-Interviews wurde eine Online-Befragung unter österreichischen Unternehmen, welche im

Bereich Exploration aktiv sind, durchgeführt. Zusätzlich dazu wurden Förderdaten über Forschungsprojekte im Bereich Exploration ausgewertet, welche von der FFG zur Verfügung gestellt wurden. Abschließend fand eine Fokusgruppe zur Reflexion und Validierung der Rohergebnisse statt, wozu die Interviewpartner*innen aus Österreich und die Ansprechpersonen der Unternehmen, welche Zielgruppe der Befragung waren, eingeladen wurden.

1.3.1 Literaturanalyse

Zu Beginn der Studie wurde eine Literaturanalyse durchgeführt. Dadurch konnten internationale Entwicklungen, sowie wichtige Handelnde im Bereich Weltraumexploration identifiziert werden. Einerseits konnte durch Vorstudien und vergleichbare Studien aus anderen Nationen die Methodik verfeinert werden, so wurde die Umsetzung des Fragebogens von ähnlichen Befragungen in anderen Kontexten inspiriert. Andererseits flossen die Ergebnisse aus der Literatur in die Erstellung der Leitfäden für die qualitativen Interviews ein. Einige Ergebnisse aus der Literaturanalyse flossen auch direkt in die Ergebnisdarstellung ein.

1.3.2 Expert*innen-Interviews – international

Ziel der Expert*innen Interviews mit ESA-Delegierten ausgewählter Nationen, welche im Oktober und November 2024 durchgeführt wurden, war es, die Ambitionen und Strategien hinsichtlich astronautischer und robotischer Exploration (HRE) in den jeweiligen Nationen zu erfassen. Die Auswahl der Nationen ergab sich aus der Literaturrecherche sowie in Abstimmung mit dem Auftraggeber. Wesentliche Auswahlkriterien waren dabei einerseits das Vorhandensein von intensiven Aktivitäten im Bereich HRE, andererseits die Verfügbarkeit von Monitoringsystemen bzw. Wirkungsschätzungen der jeweiligen Aktivitäten. Von ESA-Vertreter*innen aus insgesamt 10 Nationen, welche für die Interviews adressiert wurden, wurden schlussendlich mit Vertreter*innen aus fünf Nationen Interviews geführt, diese waren Dänemark, Luxemburg, Norwegen, Schweden und die Schweiz.

Aus dem Interviewmaterial, sowie ergänzend aus der Literaturrecherche wurde ein Vergleich relevanter Vergleichsnationen angestellt, woraus sich eine grobe Kategorisierung der nationalen Herangehensweisen und Strategien hinsichtlich Weltraumexploration identifizieren lies (siehe Abschnitt 2.3.5). Diese unterstützte dabei, die Möglichkeiten und möglichen Positionierungen für Österreich abzuwiegen. Die detaillierte Beschreibung der nationalen Ambitionen in robotischer und astronautischer Exploration der Vergleichsnationen ist in 9.1 zu finden.

1.3.3 Online-Befragung der im Bereich Exploration tätigen österreichischen Unternehmen

Um den Status Quo des österreichischen Weltraumsektors zu erfassen und die direkten und indirekten wirtschaftlichen Effekte einer Erhöhung der ESA-Wahlbeiträge messbar zu machen, wurde eine gezielte Konsultation in der Form einer Online-Befragung von österreichischen Unternehmen, welche im Bereich Exploration tätig sind, im März 2025 durchgeführt. Die Zielgruppe der Befragung wurde aus der Erhebung von Barjak et.al.⁵ des österreichischen Weltraumsektors heraus identifiziert. Aus der Stichprobe wurden diejenigen Unternehmen selektiert, welche in dieser Erhebung angaben, Weltraumeinnahmen in den Bereichen Raumtransport und Erforschung des Weltraums zu verzeichnen. So konnten in der Befragung gezielt jene Unternehmen adressiert werden, die direktes Interesse an robotischen oder astronautischen Explorationsaktivitäten haben. Im Rahmen der Vorarbeiten wurde noch ein weiteres Unternehmen identifiziert, das in der Vorerhebung 2023 nicht miterfasst worden war. Damit ergab sich eine Grundgesamtheit von 26 Unternehmen, wovon 16 die Befragung schlussendlich beendet haben, woraus sich eine Rücklaufquote von 61% ergibt. Unternehmen, welche nach mehrmaligen Erinnerungen die Befragung noch nicht gestartet oder nicht beendet haben, wurden vom Projektteam telefonisch kontaktiert, um ihnen einerseits Unterstützung anzubieten und andererseits auszuloten, was die Gründe für das Nichtbeantworten sind.

Im ersten Teil der Befragung wurden die Unternehmen nach ihren derzeitigen Aktivitäten gefragt. Es wurde erhoben, in welchen speziellen Bereichen die Unternehmen tätig sind und welche Kompetenzen sie aufweisen. Von besonderem Interesse war, in welchen Programmbereichen für Exploration der ESA oder der NASA die Unternehmen tätig sind. Gleichzeitig wurden mit dem Blick auf vorhandene Ressourcen und Kompetenzen im HRE auch die damit korrespondierenden Beschäftigten- und Umsatzzahlen erhoben. Daran anknüpfend wurden die direkten Effekte im Unternehmen in der ESA Terrae Novae Periode 3 (2023-2025) für astronautische und robotische Exploration getrennt erhoben. Diese direkten Effekte wurden definiert durch F&E Kapazitätsaufbau, zusätzliche betriebliche Investitionen zu ESA-Projekten und Einnahmen aus ESA Terrae Novae Industry Contracts, aus sonstigen europäischen Kontrakten und aus Kontrakten mit internationalen Partnern.

Im zweiten Teil der Befragung wurden die Unternehmen gebeten, ihre Einschätzungen zu direkten wirtschaftlichen und indirekten Effekten in der Zukunft abzugeben. Dabei wurden

⁵ Barjak, F.; Heimsch, F.; Thees, O. (2023), Dienstleistungsauftrag zur Erhebung des österreichischen Weltraumsektors, Abschlussbericht

die in Abstimmung mit dem Auftraggeber akzentuierten hypothetischen Szenarien (verbunden mit gleichbleibenden oder erhöhten ESA-Wahlbeiträgen) von den befragten Unternehmen im Vergleich bewerten und erwartete Effekte zu quantifizieren. Neben direkten wirtschaftlichen Effekten wurden auch mögliche indirekten Effekte qualitativ bewertet.

1.3.4 Expert*innen-Interviews – Österreich

In Ergänzung zur erwähnten standardisierten Online-Erhebung im Bereich des Weltraumsektors wurden qualitative Interviews mit ausgewählten Handelnden aus Industrie und Forschung in Österreich geführt, um die Wirkungen und indirekten Effekte auf Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft in Österreich noch tiefergehender zu erfassen, als es mit einer rein quantitativen Befragung möglich wäre.

Tabelle 1: Liste der Interviewpartner*innen, Vertreter*innen in Österreich

Interviewpartner*in	Organisation
Austrospace, Peak Technology	Unternehmen
Joanneum Research	Außeruniversitäre Forschungseinrichtung
ESA Technology Broker Austria c/o Brimatech	Sonstige
TTTech Computertechnik AG	Unternehmen
Beyond Gravity Austria GmbH	Unternehmen
LIQUIFER Systems Group GmbH	Unternehmen
MAGNA STEYR FAHRZEUGTECHNIK GmbH & CO KG	Unternehmen
Department of Metallurgy Montanuniversität Leoben	Universität
Meduni Graz, Diagnostik- und Forschungsinstitut für Hygiene, Mikrobiologie und Umweltmedizin	Universität

Quelle: Eigener Entwurf

Eine Liste von 13 Interviewpartner*innen, bestehend aus Vertreter*innen einzelner Schlüsselunternehmen und Vertreter*innen von ausgewählten Forschungseinheiten in Österreich, welche sich direkt mit Weltraumexploration beschäftigten, wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber zusammengestellt. Letztendlich konnten neun Interviews durchgeführt werden. Die Liste der Interviewpartner*innen ist in Tabelle 1 zu finden.

1.3.5 Fokusgruppe zur Reflexion und Validierung der Rohergebnisse

Zur Reflexion und Validierung der Rohergebnisse der Studie fand am 24.04.2025 eine Fokusgruppe statt, zu welcher sowohl Unternehmen eingeladen wurden, welche auch an der Befragung teilgenommen haben, als auch die weiteren Gesprächspartner*innen aus Industrie und Forschung in Österreich. An der Fokusgruppe teilgenommen haben 21 Personen, die Teilnehmer*innen aus Projektteam und von Auftraggeber Seite nicht mitgezählt. Die Teilnehmer*innen nach Präsentation der Rohergebnisse der Wirkungsschätzung dazu eingeladen, die Feedback zu geben und auch weitere Gedanken einzubringen. Die Ergebnisse dieser Diskussionen wurden dann abschließend in den Endbericht eingepflegt.

1.4 Inhaltlicher Aufbau

Der Bericht ist folgendermaßen aufgebaut. Kapitel 2 diskutiert und bewertet die globale Lage und aktuelle Trends im Bereich robotische und astronautische Exploration, Kapitel 3 diskutiert den Status Quo der robotischen und astronautische Exploration in Österreich. Kapitel 4 widmet sich der Problemidentifikation und Beschreibung der Szenarien, in Kapitel 5 erfolgt die Festlegung und Erfassung der Wirkungspfade für die vier Szenarien. Kapitel 6 diskutiert dann die Wirkungshypothesen und Evidenzlagen für die Terra Novae Perioden 2026 bis 2031 für die Wirkungspfade Wissenschaft und Technologie, Gesellschaft sowie Wirtschaft. In Kapitel 7 erfolgt dann ein resümierender Vergleich der Szenarien, der die jeweiligen Vor- und Nachteile gegenüberstellt und diskutiert.

2 Globale Lage und aktuelle Trends im Bereich robotische und astronautische Exploration

2.1 Einleitung

Kapitel 2 beschreibt sowohl die aktuelle globale Lage als auch die relevanten Trends im Bereich der robotischen und astronautischen Exploration. In Abschnitt 2.2 erfolgt zuerst eine summierende Darstellung im Überblick, gefolgt von Darstellungen für die relevanten internationalen Handelnde (d.h. USA, China, Russland, Japan, Indien, Kanada, Vereinigte Arabische Emirate und sonstige internationale Handelnde). Im Abschnitt 2.3 werden dann die Strategien der ESA und ihrer Mitgliedsländer im Bereich Exploration diskutiert. Ein besonderes Augenmerk wird dabei auch das Konzept der ESA-Reserve- bzw. Projektastronaut*innen gerichtet.

2.2 Internationale Entwicklungen im Überblick

Die **robotische und astronautische Exploration** befindet sich in einer **dynamischen Phase**, geprägt durch eine **Mischung** aus **staatlichen Programmen und privaten Initiativen**, die zunehmend miteinander verflochten sind.

Die **NASA** und die **ESA** setzen weiterhin auf **robotische Missionen**, um Schlüsselziele wie die Erforschung des Mondes, des Mars und von Asteroiden voranzutreiben, während gleichzeitig die Vorbereitungen für bemannte Missionen intensiviert werden. Im Jahr 2025 stehen mehrere **robotische Mondmissionen** im Fokus, darunter die **CLPS-Initiative der NASA**, die in Zusammenarbeit mit Unternehmen wie **Astrobotics** und **Intuitive Machines** wissenschaftliche Instrumente und Technologiedemonstratoren zur Mondoberfläche bringt, um die geologische Beschaffenheit zu analysieren und Infrastrukturen für zukünftige Astronaut*innenmissionen zu testen.⁶ Parallel dazu hat **Japan** mit der **M2/Resiliencia-Mission** am 5. Juni 2025 die Landung eines Micro-Rovers, der Experimente zur Wassergewinnung durchführt,

⁶ <https://www.nasa.gov/commercial-lunar-payload-services/clps-providers/>

um präzise Navigationssysteme zu validieren.⁷ China bereitet mit **Tianwen-2** eine Asteroiden-Probenrückholmission vor, die gleichzeitig einen Kometen erkunden wird, um Einblicke in die Entstehung organischer Moleküle zu gewinnen.⁸ Diese **robotischen Missionen** dienen als Wegbereiter für astronautische Vorhaben, indem sie kritische Technologien wie autonome Landesysteme und Ressourcennutzung (ISRU) erproben.^{9 10}

Die **ESA** setzt mit dem **wiederverwendbaren Raumflugzeug Space Rider** auf eine Plattform für Mikrogravitationsexperimente, die ab dem dritten Quartal 2025 Pflanzenwachstum und Materialverhalten unter Weltraumbedingungen untersuchen soll.¹¹

Gleichzeitig rücken **private Handelnde** wie **SpaceX** und **Blue Origin** stärker in den Vordergrund, wobei SpaceX mit dem Starship-Programm nicht nur Mond- und Marsambitionen verfolgt, sondern auch robotische Vorstöße plant – wie die Ankündigung, den **Tesla-Roboter Optimus** bis 2026 als Vorhut zum Mars zu schicken.¹² Allerdings offenbarten jüngste Rückschläge beim Starship-Prototypen die technischen Hürden, insbesondere bei der Entwicklung zuverlässiger Antriebs- und Landesysteme. Die Integration von künstlicher Intelligenz in robotische Systeme gewinnt an Bedeutung, wie die **World Robot Olympiad 2025** zeigt, bei der KI-gesteuerte Roboter Weltraummüll identifizieren und Satellitenbahnen optimieren sollen.¹³

Im Bereich der **astronautischen Exploration** konzentrieren sich die USA auf die **Artemis-Missionen**, die bis 2026 eine Rückkehr von Astronaut*innen zum Mond anstreben,¹⁴ während die ESA und internationale Partner am **Lunar Gateway** arbeiten, einer orbitalen Station, die als Ausgangspunkt für Mond- und Marsmissionen dienen soll.¹⁵

Russland und **China** verfolgen **eigene Mondpläne**, wobei China mit der Tiangong-Raumstation bereits eine permanente Präsenz im Orbit etabliert hat und langfristig bemannte

⁷ <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=RESILIENC>

⁸ <https://spacenews.com/china-readies-tianwen-2-asteroid-sample-return-spacecraft-for-launch/>

⁹ <https://www.nasa.gov/overview-in-situ-resource-utilization/>

¹⁰ <https://lunarexploration.esa.int/explore/esa/233?ia=418>

¹¹ <https://www.it-boltwise.de/spannende-weltraummissionen-im-jahr-2025-von-der-mondlandung-bis-zur-asteroidenforschung.html>

¹² <https://www.iotworldtoday.com/robotics/tesla-humanoid-robot-heading-to-mars-in-2026>

¹³ [https://worldrobotolympiad.at/cms/saison-2025/aufgaben-2025#:~:text=Aufgabenstellungen%20WRO%202025%20*%20Das%20Thema%20der,%2D%20Altersklasse%20Senior%20\(14%2D19%20Jahre\)%20Rocket%20Assembly.](https://worldrobotolympiad.at/cms/saison-2025/aufgaben-2025#:~:text=Aufgabenstellungen%20WRO%202025%20*%20Das%20Thema%20der,%2D%20Altersklasse%20Senior%20(14%2D19%20Jahre)%20Rocket%20Assembly.)

¹⁴ <https://www.dlr.de/de/forschung-und-transfer/themen/artemis-programm>

¹⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/Lunar_Gateway

Mondlandungen anvisiert.¹⁶ **Kommerzielle Raumstationen** wie **Orbital Reef** (Blue Origin/Sierra Space)¹⁷ und **Starlab** (Voyager Space)¹⁸ ergänzen diese staatlichen Programme, indem sie Infrastrukturen für Forschung, Tourismus und industrielle Anwendungen in der erdnahen Umlaufbahn schaffen.

Technologische Innovationen prägen beide Bereiche: In der **robotischen Exploration** setzen sich **miniaturisierte Instrumente** durch, die leichter und energieeffizienter sind,¹⁹ während **Fortschritte in der Telekommunikation** (z. B. Lasersysteme) die Datenübertragungsraten von fernen Missionen wie BepiColombo zu Merkur oder Europa Clipper zu Jupiter erhöhen.²⁰ Die **Robotik** wird **zunehmend autonom** (intelligent selbststeuernd), wie die Pläne für KI-gesteuerte Aufräummissionen gegen Weltraummüll zeigen, während Astronaut*innenmissionen von Lebenserhaltungssystemen profitieren, die teilweise auf geschlossenen Kreisläufen basieren und somit Nachhaltigkeit fördern.²¹ **Globale Kooperationen bleiben entscheidend**, etwa bei der BepiColombo-Mission (ESA/JAXA), doch **nationale Alleingänge** – insbesondere Chinas ehrgeiziges Mondprogramm – verdeutlichen die **geopolitische Dimension der Raumfahrt**.²²

Die **Grenze zwischen robotischer und astronautischer Exploration verschwimmt**, da humanoide Roboter wie Optimus zukünftig als Vorposten für Astronaut*innen agieren könnten, während gleichzeitig Astronaut*innen in orbitalen Labors wie dem Space Rider robotische Experimente überwachen.²³ Die ESA plant ab Herbst 2025 Testflüge mit ihrem Raumflugzeug, das automatisiert Experimente durchführen und wiederverwendbare Technologien für tiefere Raummissionen validieren soll.²⁴ Parallel dazu treiben private Unternehmen die Kommerzialisierung der erdnahen Umlaufbahn voran, indem sie Dienstleistungen wie Satellitenwartung oder Weltraumtourismus anbieten.

¹⁶ <https://t3n.de/news/china-plant-ausbau-tiangong-warum-raumstation-vergroessert-werden-soll-1656406/>

¹⁷ <https://www.sierraspace.com/commercial-space-stations/orbital-reef-space-station/>

¹⁸ <https://starlab-space.com/>

¹⁹ <https://www.astronews.com/news/artikel/2004/01/0401-014.shtml>

²⁰

https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/Laserkommunikation_ermoeslicht_schnellere_Datenuebertragung_als_je_zuvor

²¹ <https://spj.science.org/doi/10.34133/2022/9832053>

²² <https://www.blaetter.de/ausgabe/2025/februar/der-neue-weltraumkolonialismus>

²³ <https://www.allaboutai.com/de-de/ressourcen/die-zukunft-der-weltraumforschung/>

²⁴ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/space-rider#eop-quick-facts-section>

2.3 Länderweise Betrachtung

2.3.1 USA (NASA)

Die unten dargestellten von der NASA geplanten Aktivitäten im Bereich HRE sind vor dem Hintergrund massiver budgetärer Unsicherheiten zu interpretieren. Für das laufende Haushaltsjahr 2025 wurde der NASA ursprünglich ein Budget von rund USD 25,4 Mrd. vorgeschlagen, was einem leichten Anstieg von etwa 2 % gegenüber 2024 entspricht. Aufgrund politischer Blockaden im US-Kongress wurde jedoch kein neues Budget verabschiedet, sondern eine sogenannte "full-year continuing resolution" beschlossen. Das bedeutet, dass die NASA im Wesentlichen mit dem Budget des Vorjahres weiterarbeiten muss, also rund USD 24,9 Mrd.²⁵

Für das Haushaltsjahr 2026 sieht der Vorschlag der neuen US-Regierung (Trump-Vance-Administration) eine drastische Kürzung um fast 25 % auf nur noch USD 18,8 Mrd. vor. Damit verbunden sind die folgenden weitreichende Einschnitte: (1) Einstellung des Space Launch Systems (SLS) und der Orion-Kapsel nach Artemis III, (2) Reduzierung oder Streichung etablierter Programme (z.B. Mars Sample Return, Gateway), Konzentration auf Mond- und Marsmissionen, aber mit deutlich geringerem Budget.²⁶

Die Europäische Weltraumorganisation ESA hat auf die geplanten Budgetkürzungen der NASA mit großer Besorgnis reagiert und prüft derzeit die möglichen Auswirkungen auf ihre eigenen Programme und die europäische Raumfahrtindustrie. ESA-Generaldirektor Josef Aschbacher betont die langjährige und erfolgreiche Partnerschaft mit NASA, insbesondere im Bereich der Weltraumexploration, und unterstreicht die Bedeutung internationaler Zusammenarbeit, gerade in Zeiten finanzieller Unsicherheiten.²⁷

Die NASA plant für die kommenden Jahre eine Reihe ambitionierter Missionen, die sich vor allem auf die **Mond- und Marserkundung** sowie die **Erforschung des äußeren Sonnensystems** konzentrieren. Im Zentrum steht das **Artemis-Programm**, das mit **Artemis II** (geplant für April 2026) erstmals seit 50 Jahren Astronaut*innen in eine Mondumlaufbahn schicken

²⁵ <https://www.planetary.org/space-policy/nasas-fy-2025-budget>

²⁶ <https://www.heise.de/news/US-Regierung-will-NASA-Budget-um-fast-25-Prozent-reduzieren-und-Stellenkuerzen-10371080.html>

²⁷

https://www.esa.int/Newsroom/Press_Releases/ESA_Council_decisions_emphasise_importance_of_international_cooperation

soll, um Systeme für künftige Landungen zu testen.²⁸ **Artemis III**, frühestens 2027 geplant, soll dann eine bemannte Landung am lunaren Südpol ermöglichen, unterstützt von SpaceX' Starship als Landefähre.²⁹

Für die **Mondinfrastruktur** entwickelt die NASA gemeinsam mit Partnern wie SpaceX und Blue Origin Frachtlandegeräte, die ab den frühen 2030er-Jahren schwere Lasten wie unter Druck stehende Rover (in Kooperation mit Japans JAXA) und Habitate zum Mond transportieren sollen. Zudem erforschen Missionen wie **Lunar Trailblazer** und **Prime-1** (Start 26. Februar 2025) die Ressourcennutzung und geologische Prozesse.³⁰

Im **Marsbereich** spielt die **Mars Sample Return-Mission** eine Schlüsselrolle, bei der Proben des Perseverance-Rovers zur Erde gebracht werden sollen.³¹ Ergänzt wird dies durch EscaPADE (geplant ab Herbst 2025), eine Mission mit zwei Kleinsatelliten zur Untersuchung der Marsatmosphäre und ihres Wechselspiels mit dem Sonnenwind.³²

Für das **äußere Sonnensystem** steht die **Europa Clipper-Mission** (Start 2024) im Fokus, die den Jupitermond Europa auf habitable Bedingungen untersuchen soll.³³ Als langfristiges Flagship-Projekt plant die NASA einen Uranus Orbiter mit Atmosphärensonde für die 2030er-Jahre.³⁴

Technologische Innovationen umfassen die **Weiterentwicklung des Space Launch System (SLS)** und die Integration nuklearer Antriebe für tiefere Weltraummissionen.³⁵ Zudem setzt die NASA auf **kommerzielle Partnerschaften**, etwa mit **SpaceX für Starship** und mit **Blue Origin** für die **New Glenn-Rakete**, deren Jungfernflug 2025 erfolgte.³⁶

Die **wissenschaftlichen Ziele** reichen von der **Suche nach außerirdischem Leben** (Europa Clipper)³⁷ bis zur **Erprobung planetarer Abwehrsysteme**, unterstützt durch Missionen wie

²⁸ <https://www.nasa.gov/mission/artemis-ii/>

²⁹ <https://www.nasa.gov/mission/artemis-iii/>

³⁰ <https://www.jpl.nasa.gov/missions/lunar-trailblazer/>

³¹ <https://science.nasa.gov/mission/mars-sample-return/>

³² <https://science.nasa.gov/mission/escapade/>

³³ <https://europa.nasa.gov/mission/about/>

³⁴ <https://nap.nationalacademies.org/read/27209/chapter/8>

³⁵ <https://www.nasa.gov/humans-in-space/space-launch-system/>

³⁶ <https://www.faz.net/aktuell/wissen/weltraum/new-glenn-von-blue-origin-auch-jeff-bezos-superrakete-fliegt-110234459.html>

³⁷ <https://science.nasa.gov/mission/europa-clipper/>

Hera (ESA, Start 2024)³⁸, die die Auswirkungen der NASA-Mission DART auf den Asteroiden Dimorphos analysiert. Internationale Kooperationen, etwa mit der ESA beim Lunar Gateway und der Mars Sample Return, bleiben ein Grundpfeiler der Strategie.³⁹

Für das **Artemisprogramm** sind die folgenden kurz-, mittel- und langfristigen **Schritte** für die **nächsten zwei Dekaden** geplant:

- **Testflüge und Technologievalidierung:** Die NASA startete Artemis I (2022) als unbemannten Test des Space Launch System (SLS) und der Orion-Kapsel, um Systeme wie das European Service Module (ESM) der ESA zu prüfen.⁴⁰ Weitere unbemannte Missionen unter dem Commercial Lunar Payload Services (CLPS)-Programm erkunden robotisch Mondressourcen wie Wassereis am Südpol.⁴¹
- **Bemannter Mondumlauf (Artemis II):** Artemis II (geplant für April 2026) soll vier Astronaut*innen in eine Mondumlaufbahn bringen, um Lebenserhaltungssysteme und Kommunikationstechnologien zu testen. Dies ist der erste bemannte Flug zum Mond seit 1972.⁴²
- **Landevorbereitungen:** Parallel entwickeln private Partner wie SpaceX das Starship als Landefähre für Artemis III⁴³, während die NASA Infrastrukturvorhaben wie das Lunar Gateway vorantreibt – eine internationale Raumstation im Mondorbit, die als Zwischenstation für Landungen dient. Das Lunar Gateway wird gemeinsam mit der ESA, JAXA (Japan) und CSA (Kanada) entwickelt. Es soll in Zukunft als Labor, Umschlagplatz und Schutz vor Strahlung für Astronaut*innen vor dem Abstieg zur Oberfläche dienen.⁴⁴
- **Bemannte Mondlandung (Artemis III):** Artemis III (frühestens 2027) plant die Landung von zwei Astronaut*innen, darunter der ersten Frau, am lunaren Südpol. Die Besatzung wird Proben nehmen, Technologien zur Ressourcennutzung testen und bis zu sieben Tage auf der Oberfläche verbringen.⁴⁵

³⁸ <https://www.tagesschau.de/wissen/forschung/hera-mission-100.html>

³⁹ <https://www.nasa.gov/oiiir/>

⁴⁰ <https://www.nasa.gov/mission/artemis-i/>

⁴¹ <https://www.nasa.gov/commercial-lunar-payload-services/>

⁴² <https://www.nasa.gov/mission/artemis-ii/>

⁴³ <https://www.nasa.gov/news-release/nasa-awards-launch-services-contract-for-spacex-starship/>

⁴⁴ <https://www.nasa.gov/mission/gateway/>

⁴⁵ <https://www.nasa.gov/mission/artemis-iii/>

- **Aufbau einer Mondbasis:** Ab den 2030er-Jahren soll das Artemis Base Camp entstehen – eine ausbaubare Station mit Habitatmodulen, Energieversorgung und Forschungsinfrastruktur. Geplant sind auch mobile Rover und Anlagen zur Herstellung von Sauerstoff aus Mondgestein.⁴⁶
- **Nachhaltige Präsenz:** Langfristig sollen CLPS-Missionen Fracht transportieren, während Wiederverwendbarkeit (z. B. Starship) und In-situ Resource Utilization (ISRU) die Kosten senken. Geplant sind auch kommerzielle Habitate und Startrampen.⁴⁷
- **Marsvorbereitung:** Die gewonnenen Erkenntnisse, insbesondere zu Lebenserhaltung und Strahlenschutz, fließen in die Planung zukünftiger bemannter Marsmissionen ab 2040 ein.⁴⁸

2.3.2 China

Chinas **Pläne** für **bemannte Missionen** konzentrieren sich auf den **Mond**, die **eigene Raumstation Tiangong** und **langfristige Marsvorhaben**, um bis 2050 zur führenden Weltraumnation aufzusteigen. Bis 2030 plant China eine bemannte Mondlandung am lunaren Südpol, unterstützt durch eine **neue Generation von Schwerlastraketen** (z. B. die Langer-Marsch-10) und eine wiederverwendbare Landefähre. Die Mission soll zwei Raketenstarts umfassen: eine für das Raumschiff Mengzhou und eine für das Lander-Modul Lanyue, die im Mondorbit koppeln, bevor zwei Taikonauten zur Oberfläche absteigen.⁴⁹

Parallel dazu baut China die **International Lunar Research Station (ILRS)** auf, eine robotische und später bemannte Forschungsstation am Mond-Südpol, die bis 2035 in ihrer ersten Phase fertiggestellt werden soll. Partner wie Russland, Venezuela und Ägypten sind beteiligt, während Queqiao-Kommunikationssatelliten die Verbindung zur Erde sicherstellen. Die Chang'e-7-Mission (2026) und Chang'e-8 (2028) erkunden vorab Ressourcen wie Wassereis und testen 3D-Druck mit Mondmaterial.⁵⁰

Auf der **Raumstation Tiangong**, die bis 2035 auf das Doppelte erweitert werden soll, laufen derzeit Experimente zu Lebenserhaltungssystemen, Strahlenschutz und Materialforschung

⁴⁶ <https://www.space.com/nasa-artemis-base-camp-more-moon-bases>

⁴⁷ <https://editverse.com/de/lunar-base-construction/>

⁴⁸ <https://www.wienerzeitung.at/a/was-zu-einer-reise-zum-mars-alles-dazugehoert>

⁴⁹ <https://www.telepolis.de/features/Chinas-bemannte-Mondmission-auf-Kurs-Erste-Tests-erfolgreich-abgeschlossen-10361145.html>

⁵⁰ https://english.www.gov.cn/news/202409/07/content_WS66dbeb9dc6d0868f4e8eab63.html

– Grundlagen für künftige Mondhabitate.⁵¹ Die **Shenzhou-Missionen** (z.b. Shenzhou 19 im Oktober 2024) trainieren Crews für längere Aufenthalte und komplexe Aufgaben wie Weltraumspaziergänge.⁵²

Langfristig zielt China auf **bemannte Marsmissionen** ab, unterstützt durch **robotische Vorläufer** wie **Tianwen-3** (2028), die Marsproben zur Erde bringen soll⁵³, und **Tianwen-4** (2029), die den Jupitermond Callisto erkunden wird. Bis 2043 sind Frachtmissionen zum Mars geplant, um Infrastruktur für eine Basis aufzubauen.⁵⁴

Das **Entwicklungsprogramm bis 2050** umfasst etwa 30 Missionen, darunter die Suche nach bewohnbaren Exoplaneten, die Erforschung von Schwarzen Löchern und die Nutzung von Mondressourcen. Technologisch setzt China auf KI-gesteuerte Rover, nukleare Antriebe und internationale Kooperationen, um trotz politischer Spannungen (z. B. mit den USA) Partnerschaften in der BRICS-Gruppe und mit Schwellenländern zu stärken.⁵⁵

Die **militärische Führung des Programms** unterstreicht den **strategischen Anspruch**, während private Unternehmen zunehmend in Logistik und Technologieentwicklung eingebunden werden⁵⁶. Mit diesem Mix aus staatlicher Planung, wissenschaftlichen Zielen und geopolitischer Ambition verfolgt China das Ziel, die USA als dominierende Raumfahrtmacht abzulösen und bis 2050 die „erste Liga“ der Weltraumforschung anzuführen.⁵⁷

2.3.3 Russland

Russlands **Raumfahrtpläne** konzentrieren sich trotz geopolitischer Spannungen und wirtschaftlicher Herausforderungen auf den **Ausbau eigener Infrastrukturen** und die Sicherung seiner Rolle als Raumfahrtnation. Ein zentrales Vorhaben ist die **eigene Orbitalstation (ROS)** in einem polaren Orbit, die ab 2027 mit dem Start des **Forschungs- und Energiemoduls**

⁵¹ <https://www.golem.de/news/tiangong-china-zeigt-seine-vollstaendig-montierte-raumstation-2312-179997.html>

⁵² <https://chinaspacereport.wordpress.com/spacecraft/shenzhou/mission-profile/>

⁵³ <https://www.heise.de/news/Tianwen-3-China-will-2028-zum-Mars-fliegen-und-Proben-zur-Erde-zurueckbringen-9859278.html>

⁵⁴ <https://spacenews.com/china-unveils-planetary-exploration-roadmap-targeting-habitability-and-extraterrestrial-life/>

⁵⁵ <https://t3n.de/news/vormachtstellung-weltraum-china-30-missionen-geplant-1654040/>

⁵⁶ <https://merics.org/de/merics-briefs/chinas-neuer-plan-fuer-die-weltraumforschung-brics-gipfel-stahlexporte>

⁵⁷ Ibid

(NEM) aufgebaut werden soll.⁵⁸ Die Station soll ganz Russland überwachen, den nördlichen Seeweg beobachten und fortschrittliche Experimente ermöglichen, wobei die Kosten auf EUR 7,0 Mrd. geschätzt werden⁵⁹. Parallel entwickelt Russland das neue **Raumschiff Orjol (Adler)**, das bis zu sechs Kosmonauten transportieren und bis zu zehnmal wiederverwendbar sein soll. Der erste unbemannte Start ist für 2028, der bemannte Flug für 2029 geplant.⁶⁰

Im **Mondprogramm** plant Russland die **Missionen Luna-26 (Orbiter, 2027)** und **Luna-27 (Lander, 2028)**, um die Südpolregion zu erkunden.⁶¹ Nach dem Scheitern von Luna-25 im Jahr 2023 strebt Moskau eine Wiederholung der Mission bis 2026 an, obwohl Sanktionen und Budgetengpässe dies erschweren.⁶² Langfristig zielt Russland auf eine bemannte Mondlandung, unterstützt durch die geplante ROS und den Atomreaktor auf dem Mond bis 2035, der Energie für zukünftige Stationen liefern soll.⁶³ **Kooperationen mit China** im Rahmen der **International Lunar Research Station (ILRS)** am **Mondsüdpol** ergänzen diese Ambitionen, wobei Russland hier jedoch zunehmend in eine Nebenrolle gedrängt wird.⁶⁴

Für die **Trägerraketen-Entwicklung** arbeitet Russland an der **wiederverwendbaren Amur-Rakete**, die ab 2030 die Sojus-2 ablösen und mit 10,5–12,5 Tonnen Nutzlast konkurrenzfähig zu SpaceXs Falcon 9 werden soll.⁶⁵ Der Prototypenbau startet 2025, wobei das Projekt durch Verzögerungen und technologische Hürden geprägt ist.⁶⁶ Trotz des Krieges in Ukraine plant Russland 2025 Raumfahrtausgaben von EUR 3,0 Mrd. und setzt die Zusammenarbeit mit der ISS bis 2025 fort, einschließlich Überkreuzflügen mit NASA-Astronaut*innen.⁶⁷ Gleichzeitig wird die Weltraumtourismus-Initiative mit ISS-Besuchen ab 2025 wiederaufgenommen, um zusätzliche Einnahmen zu generieren.⁶⁸

⁵⁸ <https://www.flugrevue.de/raumfahrt/moskau-will-weiter-ins-all-der-kosmos-ruft-russlands-raumfahrtplaene/>

⁵⁹ <https://www.flugrevue.de/raumfahrt/moskau-will-weiter-ins-all-der-kosmos-ruft-russlands-raumfahrtplaene/>

⁶⁰ Ibid

⁶¹ <https://www.flugrevue.de/raumfahrt/international-lunar-research-station-was-china-und-russland-auf-dem-mond-vorhaben/>

⁶² <https://www.faz.net/aktuell/wissen/weltraum/russland-stellt-die-beteiligung-an-der-internationalen-raumstation-nach-2024-in-frage-17303090.html>

⁶³ Ibid

⁶⁴ <https://www.flugrevue.de/raumfahrt/international-lunar-research-station-was-china-und-russland-auf-dem-mond-vorhaben/>

⁶⁵ <https://www.telepolis.de/features/Russland-entwickelt-Prototyp-fuer-wiederverwendbare-Rakete-10032269.html>

⁶⁶ Ibid

⁶⁷ <https://futurezone.at/science/ausblick-raumfahrt-2025-esa-nasa-starlink-musk-bezos/402987948>

⁶⁸ Ibid

2.3.4 Japan

Japan verfolgt derzeit eine ambitionierte und breit angelegte Strategie im Bereich der Welt- raumforschung und Raumfahrttechnologie. Im Zentrum steht die Stärkung der nationalen Raumfahrtindustrie, die laut dem „**Basic Plan for Space**“ bis Anfang der 2030er Jahre einen Umsatz von rund USD 55 Mrd. erreichen soll – eine Verdopplung gegenüber 2020.⁶⁹ Um dieses Ziel zu unterstützen, hat die Regierung einen speziellen Raumfahrtfonds mit einem Volumen von etwa USD 6,6 Mrd. aufgelegt, der sowohl der nationalen Raumfahrtbehörde JAXA als auch Forschungseinrichtungen und privaten Unternehmen zugutekommt.⁷⁰

Im Fokus der aktuellen Aktivitäten stehen **unbemannte Mondmissionen**, die bis 2030 rea- lisiert werden sollen, bevor anschließend der Mars ins Visier genommen wird. Parallel dazu intensiviert Japan seine **internationale Zusammenarbeit**, insbesondere mit der Europäi- schen Weltraumorganisation **ESA**. Beide Agenturen haben 2024 eine neue Absichtserklä- rung unterzeichnet, um gemeinsam Technologien für nachhaltige Mond- und Marsmissio- nen zu entwickeln, wissenschaftliche Untersuchungen zu koordinieren und Schlüsseltech- nologien wie präzise Landetechniken, Schwerlasttransporte und Navigationssysteme voran- zutreiben. Geplant sind unter anderem gemeinsame Studien zu Mondoberflächenoperati- onen, die Zusammenarbeit bei robotischen Missionen und die Vorbereitung einer mögli- chen Probenrückführungsmission vom Marsmond Deimos in den 2030er Jahren.

Auch im Bereich der **bemannten Raumfahrt** ist Japan aktiv: Im Juli 2025 werden die Astro- naut*innen Kimiya Yui und Takuya Onishi Langzeitmissionen auf der **Internationalen Raum- station (ISS)** absolvieren. Sie führen dort Experimente im **japanischen Modul „Kibo“** durch und testen Technologien, die für künftige internationale Missionen zu Mond und Mars re- levant sind.⁷¹ Zwei weitere Astronaut*innen, Ayu Yoneda und Makoto Suwa, befinden sich derzeit in der Ausbildung für künftige Missionen.⁷²

Ein **technologisches Leuchtturmprojekt** ist die geplante **drahtlose Übertragung von Son- nenenergie aus dem All** auf die Erde. JAXA will 2025 erstmals im Weltraum testen, wie Son-

⁶⁹ <https://www8.cao.go.jp/space/english/index-e.html>

⁷⁰ https://www.ey.com/en_gl/technical/tax-alerts/japan-launches-substantial-10-year-fund-to-accelerate-space-busi

⁷¹ <https://humans-in-space.jaxa.jp/en/astronaut/>

⁷² Ibid

nenenergie gesammelt und per Mikrowellenstrahl an Empfangsstationen auf der Erde übertragen werden kann – ein Meilenstein nach jahrzehntelanger Forschung auf diesem Gebiet.⁷³

Neben den staatlichen Aktivitäten wächst die **private Raumfahrtindustrie** in Japan rasant. Über 50 Start-ups und zahlreiche Universitätsausgründungen treiben Innovationen voran, etwa im Bereich Raketenentwicklung, Satellitentechnologien und robotergestützte Exploration.⁷⁴ Die Regierung fördert diese Entwicklung gezielt, etwa durch Initiativen wie den **Space Strategic Fund** und **internationale Branchenevents** wie die International Space Industry Exhibition (ISIEEX) und die SPACETIDE-Konferenz, die als Plattformen für Kooperationen und Technologietransfer dienen.⁷⁵

2.3.5 Indien

Die **Gaganyaan-Mission** ist Indiens erstes **bemanntes Raumfahrtprogramm** unter der Leitung der **Indian Space Research Organisation (ISRO)**. Ziel ist es, eine dreiköpfige Besatzung für drei Tage in eine 400 km hohe Umlaufbahn zu bringen und sicher zur Erde zurückzuholen, wobei die Landung im Indischen Ozean erfolgen soll. Die Mission baut auf umfangreichen Vorläufertests auf, darunter den erfolgreichen TV-D1-Testflug im Oktober 2023, bei dem das Rettungssystem der Kapsel bei einem simulierten Startabbruch geprüft wurde.⁷⁶ Fünf weitere unbemannte Testflüge sind geplant, um Systeme wie Navigation, Kommunikation und Wiedereintrittsmechanismen zu validieren. Ursprünglich für 2025 angesetzt, wurde der erste bemannte Flug aufgrund zusätzlicher Sicherheitsprüfungen auf 2026 verschoben.⁷⁷

Die vier ausgewählten Astronaut*innen – Prashanth Nair, Ajit Krishnan, Shubhanshu Shukla und Angad Pratap – sind erfahrene Testpiloten der indischen Luftwaffe und durchlaufen ein intensives Training, darunter **internationale Kooperationen mit Russland und Axiom Space**.⁷⁸ Shubhanshu Shukla wird voraussichtlich 2025 an einer internationalen Mission zur

⁷³ <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/solarstrom-aus-dem-all-loesung-fuer-unsere-energieprobleme/>

⁷⁴ <https://www.s-ge.com/de/publication/factsheet/2024-e-mem-japan-ct6-raumfahrtmarkt-schweizer-unternehmen?ct>

⁷⁵ <https://spacenews.com/japan-creates-multibillion-dollar-space-strategic-fund-to-boost-space-industry/>

⁷⁶ <https://www.isro.gov.in/Gaganyaan.html>

⁷⁷ <https://visionias.in/current-affairs/news-today/2025-05-07/science-and-technology/isro-moves-gaganyaan-mission-to-first-quarter-of-2027>

⁷⁸ <https://indianexpress.com/article/who-is/gaganyaan-astronauts-prashanth-balakrishnan-nair-angad-prathap-ajit-krishnan-shubhanshu-shukla-9183404/>

ISS teilnehmen, um praktische Erfahrungen für Gaganyaan zu sammeln.⁷⁹ Technologisch setzt ISRO auf eine proprietär entwickelte Kapsel, die mit redundanten Systemen, Hitzeschildern und modernster Avionik ausgestattet ist. Die **Trägerrakete LVM3 (GSLV Mk-III)** wurde für bemannte Flüge modifiziert, um höchste Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Das Lebenserhaltungssystem soll eine erdähnliche Umgebung mit Sauerstoffversorgung, Temperaturregelung und Abfallmanagement schaffen.⁸⁰

Die Mission ist Teil von Indiens Bestreben, sich als **vierte Nation** mit **eigenem bemanntem Raumfahrtprogramm** zu etablieren und die globale Raumfahrtwirtschaft mitzugestalten. Langfristig plant ISRO, die gewonnenen Erkenntnisse für **mondbasierte Missionen** und **internationale Kooperationen** zu nutzen. Die ESA unterstützt das Projekt unter anderem bei der Kommunikationsinfrastruktur.⁸¹ Mit Gaganyaan verfolgt Indien nicht nur wissenschaftliche Ziele, sondern auch den Aufbau eines Technologie-Ökosystems für private und akademische Handelnde, um die heimische Raumfahrtindustrie zu stärken und den Anteil Indiens an der globalen Raumfahrtwirtschaft von 2 % auf 10 % bis 2035 zu steigern.⁸²

2.3.6 Kanada

Kanada verfolgt derzeit eine dynamische und vielseitige Strategie im Bereich der Weltraumforschung und -exploration. Im Zentrum stehen die **Beteiligung an internationalen Großprojekten**, insbesondere an der NASA-geführten **Artemis-Mondmission** und der Entwicklung des **Lunar Gateway**, einer Raumstation im Mondorbit. Mit dem Artemis-II-Flug wird Kanada als zweites Land der Welt eine*n Astronaut*in um den Mond schicken und damit ein historisches Kapitel in der eigenen Raumfahrtgeschichte aufschlagen. Zugleich entwickelt die **Canadian Space Agency (CSA)** mit dem **Canadarm3** ein hochmodernes robotisches System, das eine Schlüsselrolle bei Wartung und Betrieb des Lunar Gateway spielen wird.⁸³

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung von **Mondrovern** und anderen Technologien für die Erkundung der Mondoberfläche. Im Rahmen des **Lunar Exploration Accelerator Program (LEAP)** fördert die CSA-Forschung und Innovation, etwa für Kanadas ersten

⁷⁹ <https://www.axiomspace.com/astronaut/shubhanshu-shukla>

⁸⁰ https://www.isro.gov.in/GSLVmk3_CON.html

⁸¹

[https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/ESA wird indische bemannte Raumfahrtmissionen unterstuetzen](https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/ESA_wird_indische_bemannte_Raumfahrtmissionen_unterstuetzen)

⁸² <https://www.isro.gov.in/Gaganyaan.html>

⁸³ <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/canadarm3/about.asp>

Mondrover, der gezielt nach Wassereis suchen soll – eine Ressource, die für künftige bemannte Missionen von zentraler Bedeutung ist.⁸⁴ Bereits im März 2025 wurden kanadische Technologien im Rahmen der Firefly Blue Ghost Mission 1 auf dem Mond demonstriert.⁸⁵

Kanada bleibt zudem ein **aktiver Partner** auf der **Internationalen Raumstation (ISS)** und betreibt dort weiterhin den berühmten Canadarm2.⁸⁶ Die Vorbereitung auf die vierte Langzeitmission eines*r kanadischen Astronaut*in zur ISS ist in vollem Gange.⁸⁷ Parallel dazu engagiert sich Kanada in der Weltraumforschung, etwa durch die Beteiligung am **James Webb Space Telescope (JWST)** und an der kommenden **ESA-Mission Ariel** zur Erforschung von Exoplaneten.⁸⁸

Zur Stärkung der nationalen Raumfahrtindustrie investiert die CSA gezielt in neue Technologien und fördert Start-ups sowie Forschungsprojekte, etwa durch das **Space Technology Development Program**, das 2025 mit 15 Millionen Dollar neue Innovationsprojekte unterstützt.⁸⁹ Die **Einrichtung des SpaceHub** soll zudem Wissenschaft und Unternehmertum stärker vernetzen und die Wettbewerbsfähigkeit kanadischer Unternehmen im internationalen Raumfahrtsektor sichern.⁹⁰

Nicht zuletzt bereitet sich Kanada darauf vor, einen Teil der Proben des Asteroiden Bennu, die mit der OSIRIS-REx-Mission zur Erde gebracht wurden, zu analysieren und zu kuratieren – damit ist Kanada eines von nur fünf Ländern weltweit, dass Weltraumproben dieser Art erhält.⁹¹

2.3.7 Vereinigte Arabische Emirate (VAE)

Die VAE haben sich im Nahen Osten als **Vorreiter im Bereich astronautische und robotische Raumfahrt** etabliert: Mit der **Marsmission „Hope“ (Al-Amal)** gelang ihnen 2021 der erfolgreiche Eintritt in den Marsorbit – ein Meilenstein, der das Land in den Kreis der wenigen Nationen mit interplanetaren Missionen brachte.⁹² Aufbauend darauf verfolgen die Emirate ambitionierte Pläne, darunter die Entwicklung eines eigenen **Mondrovers („Rashid“)**, der

⁸⁴ <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/funding-programs/programs/leap/>

⁸⁵ <https://fireflyspace.com/missions/blue-ghost-mission-1/>

⁸⁶ <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/iss/canadarm2/about.asp>

⁸⁷ <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/iss/>

⁸⁸ <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/astronomy/>

⁸⁹ <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/funding-programs/programs/stdp/contributions-awarded.asp>

⁹⁰ <https://spaceq.ca/canadian-space-agency-to-create-canadian-space-hub/>

⁹¹ <https://www.nasa.gov/solar-system/canada-contributes-to-nasas-osiris-rex-mission/>

⁹² <https://www.emiratesmarsmission.ae/>

in Kooperation mit internationalen Partnern auf dem Mond landen soll.⁹³ Die VAE planen für März 2028 den Start der **Raumsonde MBR Explorer** zum Asteroidengürtel zwischen Mars und Jupiter. Die Sonde wird zunächst Venus (2028) und die Erde (2029) für sogenannte Swing-by-Manöver passieren, um Geschwindigkeit zu gewinnen. Ab 2030 sollen sieben Asteroiden im Hauptgürtel untersucht werden, darunter Vorbeiflüge und detaillierte Beobachtungen. 2033/2034 ist eine Landung auf einem Asteroiden vorgesehen, was die VAE zur vierten Nation weltweit mit einer Asteroidenlandung machen würde. Die Mission wird in Partnerschaft mit dem Laboratory for Atmospheric and Space Physics (LASP) der University of Colorado entwickelt und soll die Kompetenzen der emiratischen Raumfahrt weiter stärken.⁹⁴

Die VAE sind aktiver Partner beim internationalen Mondstationsprojekt "Lunar Gateway". Das Mohammed bin Rashid Space Centre (MBRSC) liefert eine spezielle Luftschleuse für das Gateway, die den Transfer von Astronaut*innen und wissenschaftlichen Experimenten zwischen der Station und dem Weltraum ermöglicht. Im Rahmen der Artemis-Missionen der NASA ist auch ein Flug eines emiratischen Astronaut*innen zum Gateway geplant.⁹⁵ Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf dem **Ausbau des nationalen Astronaut*innenprogramms**. Nach den erfolgreichen Missionen von Hazzaa Almansoori und Sultan Al Neyadi zur Internationalen Raumstation werden weitere emiratische Astronaut*innen in den USA ausgebildet und für künftige Missionen vorbereitet.⁹⁶

2.3.8 Weitere internationale Spieler*innen

Israel hat mit der „**Beresheet**“-Mission 2019 einen ersten privaten Versuch einer Mondlandung unternommen und plant mit „**Beresheet 2**“ einen weiteren Anlauf, der sowohl einen Orbiter als auch zwei Lander umfasst.⁹⁷ Ziel ist es, technologische Kompetenzen auszubauen und Israel als Innovationsstandort im Bereich der Raumfahrt zu positionieren.

Saudi-Arabien investiert verstärkt in den Aufbau einer eigenen Raumfahrtinfrastruktur und ist 2023 dem Artemis-Programm der NASA beigetreten. Saudi-Arabien hat **bereits Astronaut*innen in den Weltraum geschickt**, darunter Rayyanah Barnawi, die erste saudi-arabische Frau im All und beteiligt sich an internationalen Missionen, etwa durch Kooperationen

⁹³ <https://www.wam.ae/de/details/1395303119186>

⁹⁴ <https://www.space.com/uae-asteroid-belt-mission-progress-2028-launch>

⁹⁵ <https://www.riffreporter.de/de/wissen/emirate-liefern-bauteil-fuer-lunar-gateway-raumstation>

⁹⁶ <https://www.cockpit.aero/rubriken/detailseite/news/artemis-emirati-bauen-und-fliegen-mit>

⁹⁷ <https://www.golem.de/news/beresheet-2-israel-testet-technologie-fuer-geplante-mondlandung-2402-182189.html>

mit der NASA und der ESA.⁹⁸ Auch der Ausbau nationaler Satellitenprogramme und die Entwicklung von Weltraumtechnologien stehen im Fokus.⁹⁹

Die **Australian Space Agency** hat mit dem „Robotics and Automation on Earth and in Space Roadmap 2021–2030“ einen klaren Fahrplan veröffentlicht, der die Entwicklung und Anwendung von Robotik für Weltraummissionen priorisiert. Schwerpunkte liegen auf ferngesteuerten Operationen, Interoperabilität, Analogeinrichtungen zur Simulation von Mond- und Marsbedingungen, robotischen Plattformen, In-situ-Ressourcennutzung und sogenannten Foundation Services wie Überwachung, Wartung, Materialtransport und Bau im All.¹⁰⁰ Ein zentrales Projekt ist die Beteiligung am Artemis-Programm der NASA, bei dem Australien einen eigenen, **halbautonomen Mondrover** entwickelt. Dieser Rover soll ab etwa 2026 im Rahmen des Trailblazer-Programms auf dem Mond eingesetzt werden, um Regolith (Mondboden) zu sammeln und so die Voraussetzungen für eine nachhaltige menschliche Präsenz auf dem Mond zu schaffen.¹⁰¹ Parallel dazu entstehen in Australien neue Analogeinrichtungen wie das **Exterres Analogue Facility**, in denen Technologien und Rover unter realitätsnahen Bedingungen getestet werden können.¹⁰² Auch **internationale Kooperationen**, etwa mit der **NASA** zur Erprobung des **humanoiden Roboters Valkyrie** in Westaustralien, stärken die robotischen Kompetenzen und liefern wichtige Erkenntnisse für den Einsatz von Robotern in gefährlichen oder schwer zugänglichen Umgebungen auf Erde und Mond.¹⁰³ Im Bereich der astronautischen Raumfahrt hat Australien bislang kein eigenes bemanntes Raumfahrtprogramm und keine Pläne für eigenständige bemannte Missionen.¹⁰⁴ Allerdings wurde 2023 erstmals eine australische Staatsbürgerin, Katherine Bennell-Pegg, zur Grundausbildung für Astronaut*innen bei der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) entsandt.¹⁰⁵

Südkorea verfolgt derzeit eine ehrgeizige und breit aufgestellte Strategie im Bereich der Weltraumforschung und -exploration. Mit der Gründung der **Korea Aerospace Administration (KASA)** im Jahr 2024 hat das Land eine zentrale Behörde geschaffen, die die Aktivitäten im Bereich Raumtransport, Satelliten, Weltraumforschung und Luftfahrt koordiniert und ausbaut. Ein zentrales Ziel ist es, Südkorea zu einer der fünf führenden Raumfahrtnationen

⁹⁸ <https://www.vietnam.vn/de/saudi-arabia-co-nu-phi-hanh-gia-dau-tien-bay-vao-vu-tru>

⁹⁹ <https://www.zdf.de/nachrichten/wissen/raumfahrt-2024-100.html>

¹⁰⁰ <https://www.space.gov.au/about-agency/publications/robotics-and-automation-earth-and-space-roadmap>

¹⁰¹ <https://lotfourteen.com.au/news/team-artemis-australia/>

¹⁰² <https://www.space.gov.au/news-and-media/new-facility-to-support-robotics>

¹⁰³ <https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/johnson/nasa-humanoid-robot-to-be-tested-in-australia/>

¹⁰⁴ <https://www.space.gov.au/astronaut>

¹⁰⁵ <https://europeanspaceflight.com/australia-spent-aud-466000-on-esa-astronaut-training/>

weltweit zu machen.¹⁰⁶ Im Bereich Raumfahrtstechnik entwickelt KASA die **Trägerrakete KSLV („Nuri“)** weiter, investiert in Technologien für wiederverwendbare Raketen und plant den Aufbau eines eigenen regionalen Satellitennavigationssystems. Bereits 2022 gelang mit der Nuri-Rakete der erfolgreiche Start eines eigenen Satelliten, womit Südkorea zu den wenigen Ländern zählt, die Satelliten aus eigener Kraft ins All bringen können.¹⁰⁷ Die wissenschaftliche Weltraumforschung wird durch **internationale Kooperationen** gestärkt, etwa mit der NASA beim **SPHEREx-Weltraumteleskop** (Start März 2025), das eine 3D-Kartierung des Universums ermöglichen soll. In Zusammenarbeit mit den USA plant Südkorea außerdem den Einsatz des **LUSEM-Instruments** auf einer kommerziellen **Mondlandemission** im Herbst 2025.¹⁰⁸ Langfristig arbeitet das Land an der Entwicklung eines **eigenen Mondlanders** für eine unabhängige Mondlandung bis 2032 und plant sogar eine Marsmission für das Jahr 2045.¹⁰⁹ Zusätzlich fördert KASA aktiv die **private Raumfahrtindustrie**, unterstützt Start-ups und Forschungseinrichtungen und veranstaltet internationale Konferenzen und Branchenevents, um den Austausch und die Entwicklung neuer Technologien zu fördern.¹¹⁰

2.4 Strategien der ESA und ihrer Mitgliedsländer im Bereich Exploration

2.4.1 Die ESA Terra Novae Roadmap

Die Terra Novae-Roadmap der ESA formuliert **Europas strategische Vision für die Weltraumexploration bis 2040** und kombiniert wissenschaftliche, technologische und politische Ziele. Sie konzentriert sich auf **drei Hauptziele**: 1. eine nachhaltige Präsenz in der erdnahen Umlaufbahn (LEO), 2. die Entsendung europäischer Astronaut*innen zum Mond bis Anfang der 2030er-Jahre und 3. die Vorbereitung bemannter Marsmissionen bis 2040.¹¹¹

Die Roadmap sieht vor, die internationale Zusammenarbeit zu stärken, gleichzeitig aber Europas Autonomie in Schlüsseltechnologien wie der Nutzung von Mondressourcen (ISRU) und der Entwicklung von Landesystemen zu sichern. Ein zentraler Aspekt ist der **Aufbau**

¹⁰⁶ <https://www.kasa.go.kr/eng/index.do>

¹⁰⁷ <https://german.korea.net/NewsFocus/Sci-Tech/view?articleId=233302>

¹⁰⁸ <https://pda.kasi.re.kr/lusem.php?lang=en>

¹⁰⁹ <https://futurezone.at/science/koreanische-mond-sonde-fotos-erde-orbiter-bild-aufnahme-weltraum-danuri-pathfinder-artemis/402279962>

¹¹⁰ <https://www.koreatimes.co.kr/southkorea/health/20240526/korea-launches-space-agency-to-compete-in-global-space-race>

¹¹¹ ESA (2022), Terra Novae 2030+ Strategy Roadmap

kommerzieller LEO-Infrastrukturen nach dem Auslaufen der ISS, um Forschung und industrielle Anwendungen fortzusetzen. Für den **Mond** plant die ESA **autonome Landekapazitäten, Rover** zur Erkundung des lunaren Südpols und die **Beteiligung an internationalen Habitat-Projekten**, um langfristige Präsenz zu ermöglichen. Die **Marsvorbereitung** umfasst robotische Vorläufermissionen, darunter die Mars Sample Return-Kampagne mit der NASA, sowie die Entwicklung von Überlebenssystemen, Radioisotopenbatterien und präzisen Landetechnologien.¹¹²

Die Roadmap betont die **Kommerzialisierung des Weltraums** durch Partnerschaften mit Start-ups und KMUs, um Kosten zu senken und Innovationen zu beschleunigen. Gleichzeitig strebt Europa die Fähigkeit an, **eigenständig Nutzlasten zu Mond und Mars zu transportieren**, ohne jedoch zunächst eigene bemannte Landesysteme zu entwickeln.¹¹³ Die **wissenschaftlichen Schwerpunkte** liegen auf der Erforschung von Wassereis auf dem Mond, der Suche nach Lebensspuren auf dem Mars und der Erprobung kreislaufsystembasierter Lebenserhaltung. Die Integration von KI und Robotik soll autonome Missionen ermöglichen, während Technologietransfers irdische Anwendungen in Energie und Kommunikation vorantreiben.¹¹⁴ Die Roadmap ist bewusst flexibel gestaltet, um auf politische, budgetäre und technologische Veränderungen reagieren zu können. Sie verknüpft die drei Zieldestinationen LEO, Mond und Mars durch synchrone Technologieentwicklung, um Synergien in Antrieben, Lebenserhaltung und Logistik zu nutzen.¹¹⁵ Die **internationale Kooperation** bleibt ein **Grundpfeiler**, wobei Europa Führungsrollen in ausgewählten Bereichen wie ISRU und Mondmobilität anstrebt.¹¹⁶ Ansätze zur Verbesserung der Nachhaltigkeit umfassen sowohl umweltverträgliche Antriebe als auch die Vermeidung von Weltraummüll durch recycling-orientierte Designs.¹¹⁷ Die Roadmap dient auch der Inspiration junger Generationen und soll Europas Position als gleichberechtigter Partner neben den USA und China festigen.¹¹⁸

2.4.2 Die robotische Raumfahrt in der ESA

Die Europäische Weltraumorganisation ESA verfolgt im Bereich der robotischen Exploration eine Vielzahl ambitionierter Projekte, die sich auf die Erkundung von Mond, Mars, Merkur

¹¹² ESA (2022), Terrae Novae 2030+ Strategy Roadmap

¹¹³ Ibid

¹¹⁴ Ibid

¹¹⁵ Ibid

¹¹⁶ Ibid

¹¹⁷ Ibid

¹¹⁸ Ibid

und anderen Himmelskörpern konzentrieren. Ein **zentrales Vorhaben** ist der **Rosalind-Franklin-Mars-Rover**, dessen Start nun für 2028 geplant ist.¹¹⁹ In enger Zusammenarbeit mit der NASA wird der Rover überarbeitet und mit US-Technologien wie Landetriebwerken und Radionuklid-Heizelementen ausgestattet, um den Mars zu erforschen und nach Spuren vergangenen Lebens zu suchen. Parallel dazu engagiert sich die ESA maßgeblich an der **Mars Sample Return Mission**, bei der erstmals Proben vom Mars zur Erde gebracht werden sollen – ein Meilenstein für die planetare Wissenschaft und ein Eckpfeiler der europäischen Marsforschung.¹²⁰

Im Bereich der **robotischen Kooperationen** arbeitet die ESA gemeinsam mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) an **intelligenten, kollaborativen Robotersystemen**. Hierzu zählen Experimente, bei denen Astronaut*innen von der Internationalen Raumstation ISS aus Roboter auf der Erde oder in simulierten Marsumgebungen steuern. Ziel ist es, dass künftig Teams aus unterschiedlichen Robotern unter Anleitung von Astronaut*innen Mond- und Marsstationen aufbauen, warten und wissenschaftliche Aufgaben übernehmen. Innovative KI-Algorithmen ermöglichen dabei die effiziente Steuerung ganzer Roboterteams durch eine einzige Person, was die Effizienz und Sicherheit zukünftiger Missionen erheblich steigern soll.

Darüber hinaus unternimmt die ESA weitere **robotische Missionen** zu verschiedenen Zielen im Sonnensystem. Dazu zählen die **BepiColombo-Mission** zum Merkur¹²¹, die **JUICE-Mission** zur Erforschung der Jupitermonde¹²² sowie die **Hera-Mission** (Start Oktober 2024), die 2025 detaillierte Beobachtungen des erdnahen Doppelasteroiden Didymos/Dimorphos liefern soll.¹²³ Diese Projekte dienen nicht nur der Grundlagenforschung, sondern auch der Entwicklung und Erprobung neuer Technologien für Navigation, Kommunikation und autonome Systeme im All.

¹¹⁹

https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/ExoMars/ExoMars_rover

¹²⁰ <https://science.nasa.gov/mission/mars-sample-return/>

¹²¹ https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/BepiColombo

¹²² <https://www.dlr.de/de/forschung-und-transfer/projekte-und-missionen/juice>

¹²³ <https://www.heramission.space/>

2.4.3 Bemannte Raumfahrt in der ESA

Die bemannten Raumfahrtaktivitäten der ESA zählen zu dem ESA-Programm Human and Robotic Exploration (bemannte und unbemannte Erkundung), die seit 2019 der Sparte Science & Exploration (Wissenschaft & Erkundung) zugeordnet ist.¹²⁴

Die ESA betreibt in Köln ein **eigenes Ausbildungs- und Trainingszentrum** zur Auswahl und Vorbereitung von Astronaut*innen, hat aber bisher **kein eigenes bemanntes Raumfahrtprogramm**. Stattdessen beteiligt sie sich an diversen Programmen anderer Weltraumagenturen mit eigenen Beiträgen und liefert im Gegenzug wichtige technische Komponenten und Personal im Bodensegment.¹²⁵ Dazu gehören die Aktivitäten in Bezug auf die **Internationale Raumstation (ISS)** und das **europäische Astronaut*innenkorps**. Die ESA ist am Artemis-Mondprogramm der NASA mit dem **Europäischen Servicemodul (ESM)** des **Orion-Raumschiffs** beteiligt und kann dafür im Gegenzug eigene Astronaut*innen zum Mond schicken.¹²⁶ Europäische Astronaut*innen sind somit für künftige Flüge zum Lunar Gateway und langfristig auch für Mondlandungen vorgesehen.

Die ESA trägt derzeit **8,3 Prozent** der **Kosten der Internationalen Raumstation**, und ESA-Astronaut*innen erhalten somit diesen Anteil an den sechsmonatigen Einsätzen dort. Das entspricht derzeit nur noch vier Flüge bis zur geplanten Stilllegung der Raumstation im Jahr 2030.¹²⁷

2.4.4 Projektastronaut*innen

Seit 2023 hat die ESA damit begonnen, auch Astronaut*innen für **privat organisierte Raumflüge zur ISS auszubilden**. Zuvor waren ESA-Astronaut*innen als Teil von Partnerschaften mit anderen Raumfahrtorganisationen, etwa der NASA, für Missionen nominiert worden. Die privaten Raumflüge, etwa durchgeführt vom Unternehmen Axiom Space, sind dabei **komplementär** zu den **Langzeitmissionen der ESA** gedacht. Sie gehen auf die Initiative von einzelnen Mitgliedsstaaten zurück, die Interesse an bemannten Raumflügen bekunden und diese finanzieren. Die **ESA** fungiert dabei als „**crew provider**“ (engl.: „Besatzungsvermittler“), das heißt die Astronaut*innen sind für die Vorbereitung und Dauer ihrer Mission als

¹²⁴ https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration

¹²⁵ https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/Abteilung_Astronautentraining

¹²⁶ <https://www.dlr.de/de/forschung-und-transfer/themen/artemis-programm/das-europaeische-servicemodul-esm>

¹²⁷ <https://www.fr.de/wissen/esa-europaeische-weltraumorganisation-daten-zahlen-fakten-iss-sonne-asteroid-astronaut-91739381.html>

sogenannte „**project astronauts**“, also „Projekt-Astronaut*innen“ Teil des Astronaut*innenkorps. Es handelt sich um unbezahlte Stellen, aber Reserve-Astronaut*innen erhalten eine Ausbildung, wenn diese vom jeweiligen Staat bezahlt wird. Gleichmaßen haben sie dann Anspruch auf eine Mission ins All, wenn sich eine kommerzielle Möglichkeit ergibt und ihr Herkunftsstaat bereit ist, das Ticket zu bezahlen.¹²⁸

Parallel schlossen die ESA-Mitglieder Italien und Ungarn Verträge für bemannte Raumflüge von nationalen Astronaut*innen, ohne die ESA einzubinden.¹²⁹

Die **Mission von Marcus Wandt** wurde durch eine Kombination aus staatlichen und privaten Mitteln finanziert. Die schwedische Regierung, vertreten durch das Bildungsministerium und die Schwedische Nationale Raumfahrtbehörde (SNSA), stellte gemeinsam mit dem Verteidigungsministerium einen Teil der Gelder bereit. Hinzu kamen private Unternehmen wie der Luftfahrtkonzern Saab, der als größter privater Investor auftrat, sowie der Industriekonzern FAM und die Schwedische Raumfahrtgesellschaft (SSC), die als Mitfinanzierer fungierten.¹³⁰ Die Mission Muninn wurde im Rahmen einer Kooperation zwischen der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) und Axiom Space organisiert, wobei die ESA die Rolle des Vermittlers übernahm und die schwedischen Interessen bündelte.¹³¹ Die Axiom Mission 3 (Ax-3), bei der Wandt als erster ESA-„Projektastronaut“ teilnahm, basierte auf einem kostenpflichtigen Modell: Pro Sitzplatz wurden Schätzungen zufolge etwa EUR 50 Mio. fällig, die jedoch im Fall Wandts durch die genannte Public-Private-Partnership aufgebracht wurden.¹³² Die schwedische Beteiligung ermöglichte dabei 20 wissenschaftliche Experimente auf der ISS, darunter Stammzellenforschung der Universität Uppsala und kognitionswissenschaftliche Projekte des KTH Royal Institute of Technology.¹³³

Sławosz Uznański, der ebenfalls zuvor Teil der Astronaut*innenreserve war, ist der zweite Projekt-Astronaut, der mit einem Axiom-Flug zur ISS fliegen soll. Er ist seit 1. September 2023 Mitglied des Astronautenkorps.¹³⁴ Auch Großbritannien hat einen Axiom-Flug gekauft,

¹²⁸ <https://www.nasa.gov/international-space-station/>

¹²⁹ <https://www.axiomspace.com/release/poland-esa-agreement>

¹³⁰ <https://www.nordisch.info/schweden/astronaut-wird-zur-internationalen-raumstation-reisen/>

¹³¹ https://www.esa.int/Newsroom/Press_Releases/Marcus_Wandt_fliegt_mit_der_dritten_Axiom-Space-Mission_zur_Internationalen_Raumstation

¹³² <https://www.vdi-nachrichten.com/technik/raumfahrt/50-millionen-euro-pro-ticket-raumfahrer-auf-dritter-privater-reise-zur-iss/>

¹³³ https://en.wikipedia.org/wiki/Marcus_Wandt

¹³⁴ https://de.wikipedia.org/wiki/S%C5%82awosz_Uzna%C5%84ski-Wi%C5%9Bniewski

dabei ist eine komplett britische Besatzung vorgesehen. Es könnten hierbei ebenfalls Reserveastronaut*innen fliegen.¹³⁵

2.4.5 Entwicklungen in ESA-Mitgliedsstaaten

Um die internationalen Entwicklungen im Bereich der bemannten Raumfahrt zu erfassen, wurden in enger Abstimmung mit dem/der Auftraggeber*in neun ESA-Mitgliedsstaaten mit Aktivitäten und Ambitionen in Bereich HRE als Vergleichsnationen ausgewählt. Es handelt sich hierbei um Belgien, Dänemark, Luxemburg, die Niederlande, Norwegen, Polen, Schweden, die Schweiz und Ungarn. Bei der Auswahl der Vergleichsnationen wurde darauf geachtet, dass möglichst unterschiedliche nationale Zugänge zum Weltraumbereich abgedeckt sind. Eine genaue Beschreibung der Weltraumstrategien und Ambitionen hinsichtlich robotischer und astronautischer Exploration der sieben Nationen ist im Anhang zu finden. Für fünf der sieben europäischen Vergleichsländer wurde ein Interview mit ESA-Delegierten über die nationalen Ambitionen geführt. Für die restlichen Nationen wurde eine Internetrecherche über deren Weltraumstrategien und Aktivitäten durchgeführt. Aus den Interviews und der Recherche lassen sich drei unterschiedliche Ansätze hinsichtlich astronautischer Exploration identifizieren. Die treibenden Kräfte können hier die Wissenschaft, die Politik oder die Wirtschaft sein. Die Wahl des Zugangs hängt von mehreren Faktoren ab, wie der Größe, des Einflussbereichs und der finanziellen Lage der Nation. Trotzdem, wie aus den Interviews hervorgeht, bleibt es im Endeffekt eine politische Entscheidung, ob astronautische Exploration als Priorität gesehen wird.

2.4.5.1 Astronautische Exploration

Polen, Ungarn, Luxemburg, Schweden, Dänemark, die Niederlande, Norwegen und die Schweiz verfolgen aktuell ambitionierte Ziele im Bereich der astronautischen Exploration, wobei insbesondere die Einbindung von Reserveastronaut*innen neue Dynamik in die europäische Raumfahrt bringt. Polen steht kurz vor einem historischen Moment: Mit Sławosz Uznański wird im Frühjahr 2025 erstmals ein polnischer Reserveastronaut im Rahmen der Ax-4-Mission zur Internationalen Raumstation (ISS) fliegen. Uznański, der aus dem ESA-Reservekorps stammt, wird als Missionsspezialist insgesamt 13 wissenschaftliche Experimente

¹³⁵ <https://europeanspaceflight.com/uk-space-agency-signs-agreement-with-axiom-space/>

durchführen und damit nicht nur die polnische Forschung stärken, sondern auch die internationale Sichtbarkeit des Landes erhöhen.^{136 137} Auch Ungarn setzt auf die neue Generation von Astronaut*innen: Tibor Kapu, ebenfalls Teil eines intensiven Auswahl- und Trainingsprozesses, wird gemeinsam mit Uznański an der Ax-4-Mission teilnehmen. Unterstützt wird er von seinem Reservisten Gyula Cserenyi, der als Backup bereitsteht. Diese Mission markiert für Ungarn die Rückkehr in die bemannte Raumfahrt nach Jahrzehnten und unterstreicht das Ziel, sich als verlässlicher Partner in internationalen Forschungsmissionen zu etablieren.¹³⁸

Luxemburg verfolgt eine andere, aber ebenso ambitionierte Strategie: Bis 2035 sind sechs Weltraummissionen geplant, die von Mondlandungen über Asteroiden- bis hin zu Venus-Erkundungen reichen. Zwar liegt der Schwerpunkt aktuell auf robotischen Missionen wie dem Mikro-Rover TENACIOUS, doch Luxemburg baut gezielt Kompetenzen für künftige astronautische Beteiligungen auf und positioniert sich als Innovationsmotor in Europa.¹³⁹

Schweden engagiert sich intensiv in der astronautischen Exploration, sowohl durch die Förderung von Nachwuchs als auch durch die Beteiligung an internationalen Programmen. Schweden war mit Marcus Wandt einer der ersten Staaten, dessen Reserveastronaut im Rahmen einer privaten Mission bereits 2024 zur ISS flog und dort wichtige wissenschaftliche Aufgaben übernahm. Das Land setzt auf die Weiterentwicklung von Technologien und die gezielte Ausbildung von Reserveastronaut*innen, um auch in Zukunft aktiv an bemannten Missionen teilzunehmen.¹⁴⁰

Dänemark, die Niederlande, Norwegen und die Schweiz investieren ebenfalls in die Ausbildung und Einbindung von Astronaut*innen und Reserveastronaut*innen. Die Schweiz etwa ist mit Marco Sieber im aktuellen ESA-Astronaut*innenkorps vertreten und fördert die Vorbereitung weiterer Kandidaten aus der Reserve für zukünftige Missionen.¹⁴¹ Diese Länder setzen auf eine enge Zusammenarbeit mit der ESA, die gezielte Förderung von Wissenschaft

¹³⁶ <https://www.cockpit.aero/rubriken/detailseite/news/esa-beginnt-mit-der-ausbildung-der-reserve-astronauten>

¹³⁷ <https://researchinpoland.org/news/polish-astronaut-slawosz-uznanski-wisniewski-to-fly-to-the-international-space-station-on-may-29/>

¹³⁸ <https://abouthungary.hu/news-in-brief/hungarian-astronaut-kapu-to-embark-on-space-mission-to-the-iss-on-may-29>

¹³⁹ <https://de.editorialge.com/luxemburg-weltraummissionen/>

¹⁴⁰ https://www.esa.int/Newsroom/Press_Releases/Die_ESA-Astronautenreserve_beginnt_im_Oktober_mit_dem_Training

¹⁴¹ Ibid

und Technologie sowie die Entwicklung von Infrastrukturen, um ihre Rolle in der astronautischen Exploration weiter auszubauen.

2.4.5.2 Robotische Exploration

Im Bereich der robotischen Exploration verfolgen Polen, Ungarn, Luxemburg, Schweden, Dänemark, die Niederlande, Norwegen und die Schweiz jeweils eigene, teils sehr innovative Strategien, um ihre Kompetenzen in der Weltraumforschung auszubauen und sich international zu positionieren. Polen investiert gezielt in die Entwicklung von Weltraumrobotik und verfügt mit dem Space Robot Testing Centre der Technischen Universität Posen über eine hochmoderne Infrastruktur, in der mobile Roboter für planetare Erkundungsmissionen unter realitätsnahen Bedingungen getestet und weiterentwickelt werden. Diese Einrichtung ermöglicht es, neue Fahrzeugkonzepte und Steuerungsalgorithmen für die planetare Exploration zu erforschen und markiert einen wichtigen Schritt für die polnische Raumfahrtindustrie.¹⁴² Ungarn arbeitet eng mit internationalen Partnern zusammen und beteiligt sich an ESA-Programmen, um robotische Technologien für wissenschaftliche Missionen und die Unterstützung astronautischer Aktivitäten weiterzuentwickeln. Luxemburg hat sich als Vorreiter im Bereich der Weltraumressourcen-Exploration etabliert. Mit Initiativen wie space-resources.lu und dem European Space Resources Innovation Centre (ESRIC) fördert das Land gezielt Forschung und Unternehmensgründungen im Bereich der Weltraumrobotik, insbesondere für die Erkundung und spätere Nutzung von Ressourcen auf dem Mond und Asteroiden. Bereits heute sind zahlreiche Unternehmen und Forschungseinrichtungen in Luxemburg aktiv an internationalen Projekten beteiligt.¹⁴³

Schweden betreibt mit dem Raumfahrtzentrum Esrange eine der wichtigsten europäischen Startbasen für Höhenforschungsraketen und robotische Experimente. Hier werden regelmäßig neue Technologien und wissenschaftliche Nutzlasten unter Weltraumbedingungen getestet, was Schweden eine zentrale Rolle bei der Entwicklung und Erprobung robotischer Systeme für die Exploration sichert.¹⁴⁴ Dänemark bringt seine Kompetenzen vor allem in die Entwicklung von Schlüsseltechnologien für internationale Missionen ein: So sind dänische Robotik-Expert*innen maßgeblich am Bau und der Programmierung des Sample Transfer

¹⁴² <https://lenalighting.com/new-projects/public-facilities/3866-space-robot-testing-centre-otrk-of-poznan-university-of-technology-at-kakolewo-campus>

¹⁴³ <https://letzscience.fnr.lu/a-piece-of-moon-in-luxembourg/>

¹⁴⁴

[https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/Europaeische Wissenschaft auf Expressfahrt ins All](https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/Europaeische_Wissenschaft_auf_Expressfahrt_ins_All)

Arm für die Mars Sample Return Mission von ESA und NASA beteiligt, der Gesteinsproben auf dem Mars aufnehmen und für den Rücktransport zur Erde vorbereiten soll.¹⁴⁵

Die Niederlande sind führend bei der Entwicklung und dem Einsatz des Europäischen Roboterarms (ERA) auf der Internationalen Raumstation, der komplexe Aufgaben im russischen Segment der ISS übernimmt und damit die Fähigkeiten europäischer Robotik im Weltraum eindrucksvoll demonstriert.¹⁴⁶ Norwegen setzt auf robotische Systeme für die Überwachung und Erforschung des arktischen Raums aus dem All und entwickelt eigene Satelliten und Sensorplattformen, die auch für wissenschaftliche und sicherheitsrelevante Zwecke eingesetzt werden.

Die Schweiz beteiligt sich aktiv an ESA-Missionen und ist bekannt für ihre Präzisionsinstrumente und Technologien, die in robotische Explorationssysteme integriert werden. Schweizer Forschungseinrichtungen und Unternehmen entwickeln unter anderem Komponenten für Satelliten, robotische Systeme und Instrumente für die Erforschung von Planeten und Asteroiden.

¹⁴⁵ <https://investindk.com/insights/danish-robot-technology-will-help-collect-samples-from-mars>

¹⁴⁶

https://www.esa.int/Newsroom/Press_Releases/Europaeischer_Roboterarm_wird_in_den_Weltraum_gestartet

3 Robotische und astronautische Exploration – der Status Quo in Österreich

3.1 Einleitung

Kapitel 4 bietet einen umfassenden Überblick über den österreichischen Status Quo im Bereich der robotischen und astronautischen Exploration (HRE) auf Basis von quantitativen und qualitativen Informationen. Im Abschnitt 3.2 erfolgt eine Darstellung der Entwicklung der Höhe der österreichischen Wahlbeträge im Bereich HRE in der letzten Dekade im Vergleich zu anderen ESA-Mitgliedern; dies wird ergänzt um eine Betrachtung der der Mittelrückflüsse nach Österreich für denselben Zeitraum. Im Abschnitt 3.3 erfolgt dann eine umfassende Analyse des österreichischen Innovationsökosystems in HRE. Neben einer Diskussion von Schlüsselspieler*innen und innovationsökonomische Eckdaten erfolgt auch eine qualitative Betrachtung von relevanten indirekten Spieler*innen. Ergänzend dazu wird auch die Einbindung österreichischer Handelnden in europäische FTI-Netzwerke analysiert und die HRE-relevante Bildungslandschaft sowie das nationale Ökosystem für Gründer*innen betrachtet.

3.2 Das österreichische Engagement in den Wahlprogrammen der ESA

Österreich nimmt am Pflichtprogramm (obligatorische Tätigkeiten) und den meisten Wahlprogrammen (Optionale Programme) der ESA teil. Für das Pflichtprogramm trägt jeder Mitgliedsstaat einen festen Prozentsatz entsprechend seines Bruttoinlandsprodukts (BIP) bei. Das Wissenschaftsprogramm ist die bedeutendste "Pflichtaktivität" und erhält dementsprechend den größten Teil dieser Finanzierung.

Zu den optionalen Programmen trägt jeder Mitgliedsstaat entsprechend den wirtschaftlichen Kompetenzen und Möglichkeiten bei. Die optionalen Programme machen den überwiegenden Anteil der Beiträge der Mitgliedsstaaten zur ESA aus. Österreich nimmt an opti-

onalen Programmen in folgenden Themenbereichen teil: Erdbeobachtung, Telekommunikation, Navigation, Exploration, Trägerraketen, Weltraumsicherheit, Technologieentwicklung und wissenschaftliche Instrumente.

Der österreichische Beitrag zum Jahresbudget der ESA 2022 war insgesamt rund EUR 50 Mio., davon gingen in die Pflichtprogramme EUR 20,9 Mio. und in die Wahlprogramme EUR 28,9 Mio. Die österreichischen Beiträge zu einzelnen Wahlprogrammen unterscheidet sich beträchtlich, diese reicht von einigen EUR 100 Tsd. bis zu EUR 8 Mio. pro Jahr und richtet sich vor allem nach den Möglichkeiten österreichischer Spieler*innen. Zu den aus österreichischer Sicht "finanziell großen" Themenbereichen gehören vor allem die Erdbeobachtung und die Telekommunikation.

Tabelle 2 bietet einen strukturierten Überblick über die Entwicklung der Beiträge im Bereich HRE (Human and Robotic Exploration) für die relevanten ESA-Perioden von 2012 bis 2024 für die ESA-Mitgliedsstaaten.

Tabelle 2: ESA-Wahlbeiträge in HRE von 2012 bis 2022, in Mio. EUR

Land	2012	2016	2019	2022
Österreich	2,5	2,2	2,0	15,5
Belgien	56,59	35,85	74,73	132
Tschechische Republik	1,8	1,5	1,3	10
Dänemark	13	10,34	13	13,7
Estland	0	0	0	2
Finnland	0	0	0	4
Frankreich	291	300	345	515,5
Deutschland	645,64	456,01	552,72	725,61
Griechenland	0	0,3	0,3	0,3
Ungarn	0	0	14	11,5
Irland	1,9	0,5	0,5	2
Italien	146,9	376,51	503,5	719
Luxemburg	0	0	11	10
Niederlande	20	14	14	25
Norwegen	10,38	11,3	30,1	29,2

Land	2012	2016	2019	2022
Polen	0,72	3,8	6	12,5
Portugal	0,25	1,4	1,5	2,25
Rumänien	4,97	8,2	0	9,05
Spanien	6	28,33	80	103
Schweden	19,27	12,8	15	27
Schweiz	43,5	26	45	85
Vereinigtes Königreich	58,52	155,16	218,3	245
Slowenien	0	0	2	4,5
Kanada	3	0	23,3	3
Gesamt		1444,2	1953,25	2706,61

Quelle: ESA

Es wird dabei deutlich, dass die österreichischen Beiträge besonders im Vergleich zu strukturell ähnlichen Ländern wie Belgien, Dänemark, Norwegen, Schweiz und Schweden sehr gering ausgefallen sind. Dies gilt insbesondere für die Perioden 2012 bis 2019. Für die laufende ESA Terra Novae Periode (2022-2025) hat Österreich seine Wahlbeträge im Bereich HRE zwar deutlich auf EUR 15,5 Mio. angehoben; jedoch fällt dieser Beitrag im Vergleich zu Belgien (EUR 132 Mio.), Norwegen (EUR 29,2 Mio.), der Schweiz (EUR 81 Mio.), bzw. Schweden (EUR 27 Mio.) noch immer gering aus. Wie sich in den internationalen Expert*innen-Interviews gezeigt hat, haben die niedrigen österreichischen Wahlbeiträge bei anderen ESA-Mitgliedsstaaten die Wahrnehmung entstehen lassen, dass Österreich kein stark committed Partner in HRE ist.

Da die Zahl bzw. der Umfang der ESA Contracts von der Höhe der bereitgestellten Wahlbeiträge abhängt, fallen erwartungsgemäß auch geringe Rückflüsse über ESA Contracts im Bereich HRE für den Beobachtungszeitraum an. Tabelle 3 bietet eine entsprechende Übersicht für die Jahre 2012 bis 2024.

Insgesamt stehen im Beobachtungszeitraum dem österreichischen Beitrag zum HRE i.d.H. von EUR 22,2 Mio. Rückflüsse von EUR 23 Mio. gegenüber. Die jährlichen Rückflüsse schwanken über den Beobachtungszeitraum, die von mehreren Hunderttausend EUR bis zu einstelligen Millionenbeträgen reicht. Auffällig ist dabei aber auch der deutliche Anstieg der Rückflüsse für die laufende ESA Terra Novae Periode (2022-2024). Die Rückflüsse sind ins-

gesamt in der im Beobachtungszeitraum von 2012 bis 2024 dabei überwiegend an Unternehmen gegangen (EUR 20,8 Mio.), Forschungseinrichtungen haben demgegenüber nur kleinere Summen erhalten (EUR 978 Tsd.).

Tabelle 3: Rückflüsse nach Österreich aus ESA Contracts im Bereich HRE, 2012-2024

Jahr	Summe
2024	EUR 2.462.132,40
2023	EUR 3.341.538,00
2022	EUR 727.500,00
2021	EUR 841.523,00
2020	EUR 1.996.909,00
2019	EUR 727.500,00
2018	EUR 370.357,49
2017	EUR 906.956,00
2016	EUR 1.123.261,24
2015	EUR 3.896.168,83
2014	EUR 645.689,56
2013	EUR 477.865,35
2012	EUR 1.827.173,28

Quelle: FFG, ESA

3.3 Das österreichische Innovationsökosystem im Bereich robotische und astronautische Exploration

3.3.1 Schlüsselhandelnde und innovationsökonomische Eckdaten

Österreichs Raumfahrtsektor wird durch eine Kombination aus staatlichen Institutionen, Forschungszentren und Industrieunternehmen geprägt, die eng mit internationalen Partnern wie der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) kooperieren. Die Agentur für Luft- und Raumfahrt (ALR) der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) fungiert als zentraler Koordinator und vertritt die Interessen des Landes in Gremien der ESA, der EU sowie bei der Umsetzung nationaler Strategien. Sie verwaltet das Austrian Space Applications Programme (ASAP), das seit 2002 über 800 Projekte zur Förderung von Weltraumtechnologien und Erdbeobachtung unterstützt.

Der Raumfahrtsektor wurde im Jahr 2023 von der Fachhochschule Nordwestschweiz im Auftrag des BMIMI (vormals BMK) erhoben.¹⁴⁷ Im Rahmen der Erhebungen wurden 146 Organisationen im gesamten Weltraumsektor identifiziert, die sich wie folgt aufteilen: 85 Wirtschaftsunternehmen (58%), 45 Organisationseinheiten aus Wissenschaft und Forschung (31%) und 16 Organisationseinheiten aus der öffentlichen Verwaltung und sonstige Organisationen (11%). In diesen 146 Organisationen waren 2023 insgesamt 1.300 VZÄ ausschließlich in Weltraumthemen beschäftigt.¹⁴⁸ Etwa 730 der gesamten Vollzeitäquivalente (62%) arbeiteten dabei in Forschung und Entwicklung.¹⁴⁹

Die Unternehmen und Organisationseinheiten, welche im Weltraumsektor aktiv sind, geben für das letzte erhobene Geschäftsjahr – zu etwa 70% das Jahr 2022 und 30% das Jahr 2021 – Einnahmen und Budgets von insgesamt EUR 10,7 Mrd. an, wovon EUR 209 Mio. pro Jahr ausschließlich mit Weltraumaktivitäten erwirtschaftet wurden. Für die großen Handelnde ist der Weltraum zwar ein Nebengeschäftsfeld, stellt aber ein „Aushängeschild“ für Hochtechnologie dar. Von den insgesamt EUR 184 Mio. Weltraumeinnahmen wurden rund EUR 140 Mio. im Ausland erwirtschaftet (inklusive Einnahmen von der ESA, EU und EUMETSAT), also in der Form von Exporteinnahmen oder ausländischen Zuschüssen.¹⁵⁰

Ein Großteil der befragten Unternehmen und Organisationen konnte die Einnahmen und Budgets auch nach den von der OECD vorgeschlagenen Teilsegmenten in der Wertschöpfungskette differenzieren. Im Upstream-Segment wurden demgemäß in der Summe EUR 151,7 Mio., 88% der insgesamt angegebenen Einnahmen, erwirtschaftet. Die Umsätze von in Summe EUR 21 Mio. im Downstream-Segment sind gering.¹⁵¹

Der Bereich der robotischen und astronautischen Exploration (HRE) macht nur einen Teilbereich des gesamten Weltraumsektors aus und umfasste im Jahr 2023 insgesamt 26 Unternehmen und 7 Forschungseinrichtungen.¹⁵² Diese 26 Unternehmen wiesen im Jahr 2023 23.891 Beschäftigte und einen Weltraumgesamtumsatz von EUR 162,4 Mio. auf. Der Umsatz im Bereich HRE belief sich dabei EUR 62,5 Mio. Die 26 Unternehmen verfügten zum Erhebungszeitpunkt über 1.226 F&E-Beschäftigte (VZÄ) im Bereich Weltraum.

¹⁴⁷ Barjak, F.; Heimsch, F.; Thees, O. (2023), Dienstleistungsauftrag zur Erhebung des österreichischen Weltraumsektors, Abschlussbericht

¹⁴⁸ Ders. S. 4.

¹⁴⁹ Ders. S. 5.

¹⁵⁰ Ders. S. 6.

¹⁵¹ Ders. S. 7.

¹⁵² Ders. S. 47.

3.3.2 Inhaltliche Tätigkeitsbereiche

Der Bereich HRE kann dabei in die folgenden vier Segmente gemäß OECD-Definitionen unterteilt werden. 1. Raumfahrzeuge/-komponenten, 2. robotische Exploration, 3. Systeme zur Unterstützung menschlicher Exploration sowie 4. Sonstige Raumfahrtssystemtechnologien.

Österreichische Unternehmen im Segment Raumfahrzeuge/-komponenten sind dabei u.a. in folgenden Bereichen tätig: Antriebssysteme, 3D Druck von Propulsion Systems, Brennkammern, Katalysatorenträger (chemische Antriebe), Lieferung von Mess- und Prüftechnik, Cubesat Instrumentenbau für die ADLER-1/ADLER-2 Missionen, tribologische Beschichtungen für mechanisch beanspruchte Systeme sowie Trockenschmiersysteme, Thermal Hardware, Computer I/O boards, Entwicklung und Fertigung von Ventilen und Spulen, Entwicklung von Treibstofftanks, Helium Tanks und Strukturen, Avionic Bestandteile, Sub-Systeme, Software, Tools und Services für die Auslegung eines Systems und deren Integration, Komponenten für Satelliten, Hochtemperatur beständige Kunststoffe als alternativ Werkstoff zu Stahl, Aluminium mit niedrigen Gewicht bzw. Laufeigenschaften (ohne Schmierung), sowie im Unterauftrag die Simulation der Kardan Gelenk Oberstufen Antriebe für Ariane 5 und 6.

Unternehmen im Segment robotische Exploration haben dabei u.a. die folgenden Tätigkeitsfelder: Lieferung von Mess- und Prüftechnik, Einbindung von div Robotik-Teams (v.a. aus dem universitären Umfeld) in Mars Analogforschung, Trockenschmiersysteme, Forschung & Entwicklung von Komponenten für Rover, Thermal Hardware, Motor Drive Electronics, Computer I/O boards, Robotic Arm und Lander Avionic, Hochtemperatur beständige Kunststoffe als alternativer Werkstoff zu Stahl, Aluminium mit niedrigen Gewicht bzw. Laufeigenschaften (ohne Schmierung), Antriebssysteme für Rendezvous und Docking Maneuver.

Tätigkeitsschwerpunkte im Segment „Systeme zur Unterstützung menschlicher Exploration“ liegen in den folgenden Themenbereichen: Antriebssysteme, ESA Projekte (PEXTEX, DEAR, etc.) zur Staubmitigation, Textilforschung für Raumanzüge, Mars Analogforschung, Trockenschmiersysteme, Innenraumkonfiguration von Raumstationen, Habitaten auf extra-terrestrischen Oberflächen, Human Factors, Weltraumarchitektur und Design, 3D Druck mit Mondregolith für Habitate, bio-Integrierte Materialien für die Raumfahrt, Time Triggered Ethernet HW Komponenten, Electric Thruster Pointing Mechanism, Entwicklung und Lieferung von Sauerstofftanks, Built-to-print und build-to-spec Komponenten für das NASA Space Launch System sowie Avionics, die alle Sub-Systems steuert z.B. Live-Support, Guidance Navigation and Control, Telemetrie und Telecommanding, Thermal Control etc.

Österreichische Unternehmen im Segment Sonstige Raumfahrtssystemtechnologien sind dabei u.a. in folgenden Bereichen tätig: Software für Modellierung (SysML, BPMN, UML); TT&C (Kommunikation) Systeme in Space- und Earth Segment für Satelliten, Raumfahrtberatung für non-space Industrie, die in diesem Sektor aktiv werden möchte, Trockenschmiersysteme, 3D Druck mit Mondregolith, Studien zu Recycling & Reuse, Vernetzung und Logistik von Komponenten einer lunaren Infrastruktur, built-to-print und build-to-spec Komponenten für das NASA Space Launch System, RF-/MW-Filter, SiC-Spiegel(halter), Hochtemperatur beständige Kunststoffe als alternativ Werkstoff zu Stahl, Aluminium mit niedrigen Gewicht bzw. Laufeigenschaften (ohne Schmierung), sowie Antriebssysteme.

Tabelle 4 bietet einen exemplarischen strukturierten Überblick über direkte und indirekte österreichische Spieler*innen im Bereich der robotischen und der astronautischen Exploration aus dem Bereich der Unternehmen und der Forschung.

Tabelle 4: Beispielhafte österreichische Schlüsselhandelnde im Bereich HRE

Rolle	Typ	Robotische Exploration	Astronautische Exploration
Direkte Spieler*innen	Unternehmen	Magna Aerospace ¹⁵³ (Kryogene und Hochdrucksysteme für Trägerraketen, Komponenten für Raumfahrzeuge)	LIQUIFER ¹⁵⁴ (Habitatdesign zu Flughardware, Mock-Up und Simulation, Technologieentwicklung im Bereich 3D-Druck mit Monds simulationsstaub)
		Aerospace & Advanced Composites GmbH ¹⁵⁵ (Materialien)	Peak Technologies ¹⁵⁶ (Thermomanagement, Treibstofftechnologie)
		Empulsion ¹⁵⁷ (Antriebssysteme)	TTTech ¹⁵⁸ Entwicklung von Elektronik und Netzwerksystemen für Trägerraketen und Raumstationen)
			Beyond Gravity ¹⁵⁹ (Steuermechanismen für

¹⁵³ <https://austria-in-space.at/en/organisations/magnasteyr.php>

¹⁵⁴ <https://liquifer.com/>

¹⁵⁵ <https://www.aac-research.at/ger/>

¹⁵⁶ <https://www.peaktechnology.at/de/>

¹⁵⁷ <https://www.enpulsion.com/>

¹⁵⁸ <https://www.tttech.com/aerospace>

¹⁵⁹ <https://www.beyondgravity.com/en>

Rolle	Typ	Robotische Exploration	Astronautische Exploration
			elektrische Satellitentriebwerke, Thermalschutzsysteme, Strukturen und Komponenten für Trägerraketen)
Direkte Spieler*innen	Forschung	Joanneum Research – DIGITAL ¹⁶⁰ (Weltraumrobotik und 3D-Visualisierung, Entwicklung von weltraumtauglichen Messinstrumenten)	Montanuniversität Leoben ¹⁶¹ (Materialforschung für Weltraumanwendungen, Weltraumbergbau)
		Institut für Weltraumforschung (IWF) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften ¹⁶² (Entwicklung von Messinstrumenten, Weltraumforschung, internationale Missionen)	Sozial-räumliche Studien zur Habitabilität an der TU Wien (Sandra Häuplik-Meusburger ¹⁶³)
			ÖWF ¹⁶⁴ (Simulationsplattform und Analogforschung zu Entwicklung von EVA-Anzügen, Benützung und Bewegung)
			Meduni Graz (Mikrobiomforschung ¹⁶⁵ , Weltraumphysiologie ¹⁶⁶)
			FH Wiener Neustadt ¹⁶⁷ / FOTEC ¹⁶⁸ (Antriebssysteme, Satellitentechnologien, Raumfahrtforschung)

¹⁶⁰ <https://www.joanneum.at/digital/>

¹⁶¹ <https://www.unileoben.ac.at/>

¹⁶² <https://www.oeaw.ac.at/iwf/>

¹⁶³ <https://tiss.tuwien.ac.at/fpl/person/index.xhtml?id=510>

¹⁶⁴ <https://oewf.org/>

¹⁶⁵ <https://www.moissleicherlab.com/>

¹⁶⁶ <https://www.medunigraz.at/team-nandu-goswami>

¹⁶⁷ <https://www.fhwn.ac.at/studiengang/master-aerospace-engineering>

¹⁶⁸ <https://www.fotec.at/>

Rolle	Typ	Robotische Exploration	Astronautische Exploration
Indirekte Spieler*innen	Unternehmen		Textilien für Raumstationen und Habitate (Vienna Textile Lab ¹⁶⁹ , Karin Fleck)
			Autonome Baukonstruktion (Hilti Österreich ¹⁷⁰)
	Forschung		Autonome Baukonstruktion (AIT, TU Wien, Universität Innsbruck)
		Universität Klagenfurt – Stefan Weiss ¹⁷¹ (Robotik, Regelungstechnik, Computersimulation, geometrische Bildverarbeitung, Bildverarbeitung etc.)	
		Robotic Systems Lab, TU Wien ¹⁷² (Robotik, Bewegungsregelung,	
		FH Wels – Raimund Edlinger ¹⁷³ , Research Center Wels (Smart Automation and Robotics, Center of Excellence Automotive/Mobility, Center of Excellence for Smart Production, Stärkefeld Digitale Transformation etc.)	
		Linz Centre of Mechatronics ¹⁷⁴ (Mechatronik für Robotik)	

¹⁶⁹ <https://www.viennatextilelab.at/>

¹⁷⁰ <https://www.hilti.at/>

¹⁷¹ <https://www.aau.at/team/weiss-stephan-michael/>

¹⁷² <https://www.acin.tuwien.ac.at/robotic-systems-lab/>

¹⁷³ <https://pure.fh-ooe.at/de/persons/raimund-edlinger>

¹⁷⁴ <https://www.lcm.at/>

Rolle	Typ	Robotische Exploration	Astronautische Exploration
		Robotic Systems Lab, TU Wien ¹⁷⁵ (Robotik, Bewegungsregelung, humanoide und kollaborative Roboter)	
		JOANNEUM RESEARCH Robotics ¹⁷⁶ (Angewandte Robotik, Entwicklung und Test von robotischen Systemen)	

Quelle: Expert*innen-Interviews, Online-Survey

Es zeigt sich dabei, dass in Österreich neben ausgewiesenen technologischen Kompetenzen im Unternehmensbereich auch starke wissenschaftliche Kompetenzen sowohl im universitären als auch im außeruniversitären Bereich vorhanden sind. Diese Kompetenzen sind dabei sowohl auf direkte Spieler*innen im Weltraum als auch auf indirekte Handelnde verteilt.

Im Bereich der astronautischen Exploration seien hier zwei Kompetenzfelder kurz umrissen, die bestehende technologische industrielle Kompetenzen sehr gut ergänzen können:

- Design- und Konfigurationsexpertise im Bereich von Habitaten ist ein weiterer relevanter Bereich, in dem Österreich über weltweit anerkanntes Know-how verfügt – insbesondere in den Bereichen Habitatdesign für Flughardware, Mock-ups und Simulationen sowie Technologieentwicklung im Bereich des 3D-Drucks mit Mondsand.
- Simulationen und Analogtests dienen der Vorbereitung astronautischer Missionen. Sie sind im Vergleich zu realen Missionen kostengünstig und weltweit zunehmend verfügbar. Das ÖWF (Österreichisches Weltraum Forum) spielt hier seit Jahrzehnten eine Vorreiterrolle.

¹⁷⁵ <https://www.acin.tuwien.ac.at/robotic-systems-lab/>

¹⁷⁶ <https://www.joanneum.at/robotics/>

3.3.3 Einbindung in europäische FTI-Netzwerke

Neben der Partizipation an Projekten im Rahmen der ESA- Programme besteht für Handelnde in Österreich auch die Möglichkeit, innerhalb von Konsortien an den Rahmenprogrammen für Forschung und Innovation der EU teilzunehmen. Tabelle 5 bietet sowohl eine Übersicht der erfolgreichen Projektbeteiligungen im Bereich Space Research für Horizon 2020 und Horizon Europe für die Jahre 2020 bis 2025.

Während in diesem Zeitraum EU-weit insgesamt 1.856 Projektbeteiligungen im Bereich Space zu verzeichnen sind, entfallen davon 925 Beteiligungen auf Projekte in HRE. Österreichische Handelnde konnten im Beobachtungszeitraum insgesamt 54 Projektbeteiligungen im Bereich Space Research erreichen, davon 22 in Projekten im Bereich HRE. Dies sind teilweise deutlich weniger als etwa die Niederlande (52), Belgien (47) bzw. Dänemark (24), jedoch mehr als Schweden (13), Luxemburg (1), Ungarn (8), Norwegen (5) und Polen (5).

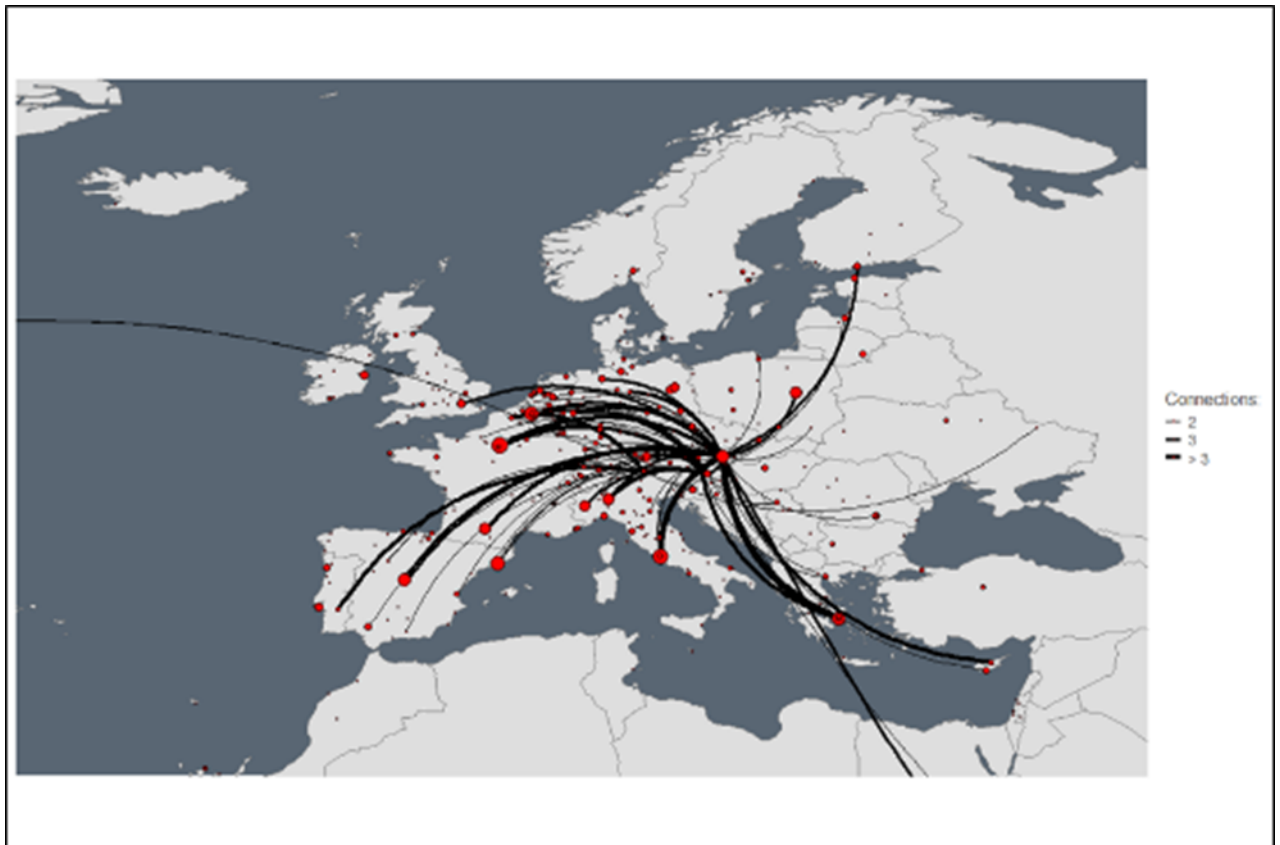
Tabelle 5: Projektbeteiligungen in Space Research sowie HRE in H2020 und HE, 2020-2025

Land	Projektbeteiligungen Space Research	Projektbeteiligungen Exploration
EU	1.856	925
Österreich	54	22
Schweden	29	13
Dänemark	35	24
Belgien	93	47
Niederlande	93	52
Polen	36	15
Tschechische Republik	27	12
Ungarn	9	8
Luxemburg	10	1
Norwegen	19	5
Deutschland	251	145
Frankreich	310	164
Italien	245	138
Spanien	213	96

Quelle: CORDIS

Abbildung 1 präsentiert die Kollaborationen österreichischer Organisationen (gewichtet, mind. 2 Verbindungen) in einem mit Landkarte hinterlegten Netzwerkdiagramm.

Abbildung 1: Kollaborationen österreichischer Organisationen (gewichtet, mind. 2 Verbindungen)



Quelle: CORDIS, eigene Berechnung

Um die geografische Einbettung von österreichischen Organisationen in europäische Forschungsnetzwerke grafisch darzustellen, wurde der Datensatz dahingehend gefiltert, dass nur noch Verbindungen mit österreichischen Organisationen erfasst werden (d.h. Verbindungen zwischen nicht-österreichischen Organisationen untereinander wurden entfernt). Die Anzahl der Verbindungen wurde dann auf Städteebene aggregiert. So wird die Anzahl der europäischen Projektpartner pro Stadt auf Basis der Größe der jeweiligen Punkte auf der Karte dargestellt, die Anzahl der Verbindungen zwischen zwei Standorten (d.h. Städten)

als Stärke der Verbindungslinie dargestellt wird.¹⁷⁷ Um die wichtigsten Kooperationsachsen hervorzuheben, werden in Abbildung 2 werden nur Linien angezeigt, die mindestens 2 Verbindungen (zwischen jeweils zwei Städten) aufweisen.

Es zeigt sich dabei, dass innerhalb des Beobachtungszeitraums die stärksten projektbezogenen Verbindungen zu Forschungspartner*innen an den Standorten Athen, Rom, Madrid und Paris bestanden haben. Weitere intensive Kooperationsachsen sind darüber hinaus für die Standorte Barcelona, Toulouse, Brüssel, Mailand, Turin und Warschau erkennbar.

Tabelle 6: Balassa Indexwerte für die Beteiligung in H2020 und Horizon Europe Projekten im Bereich Exploration, 2020-2025

ESA-Mitgliedsstaat	Indexwert
Belgien	1,01
Dänemark	1,38
Deutschland	1,16
Frankreich	1,06
Italien	1,13
Luxemburg	0,20
Niederlande	1,12
Norwegen	0,53
Österreich	0,82
Polen	0,84
Schweden	0,90
Spanien	0,92
Tschechische Republik	0,89
Ungarn	1,78

Quelle: CORDIS, eigene Berechnung

Für eine Bewertung der relativen Position Österreichs im Bereich HRE innerhalb der Rahmenprogramme der EU wurde auf Basis von CORDIS Daten ein Spezialisierungsindex für

¹⁷⁷ Es gab kaum Unterschiede zwischen der gewichteten und ungewichteten Matrix (auf der Karte sind die Unterschiede nicht erkennbar); die maximale Anzahl der Verbindungen zwischen zwei Organisationen (mind. eine davon aus Österreich) ist 2, so ist auch der geringe Unterschied zwischen gewichtet und ungewichteter erklärbar.

Projektbeteiligungen im Zeitraum 2020 bis 2025 im Vergleich zu anderen EU-Mitgliedsstaaten errechnet (siehe Tabelle 6).¹⁷⁸

Eine Spezialisierung kann dann angenommen werden, wenn der Indexwert größer als 1 ist. Erwartungsgemäß weisen Italien, Frankreich, Deutschland, die Niederlande, Belgien und Dänemark positive Spezialisierungsmuster im Bereich HRE auf. Ungarn fällt mit einem sehr hohen Spezialisierungsindexwert auf, dies ist jedoch der sehr geringen Gesamtbeteiligung des Landes an den Rahmenprogrammen der EU im Bereich Weltraum geschuldet.¹⁷⁹ Der niedrige Indexwert für Luxemburg ist zum einen ebenfalls der geringen Fallzahl geschuldet, zum anderen der Tatsache, dass im Beobachtungszeitraum nur eine Projektbeteiligung im Bereich HRE erfasst werden kann. Österreich weist mit einem Indexwert von 0,82 keine Spezialisierung auf. Es lässt sich auf Basis der oben ausgeführten Analyse also schließen, dass für österreichische Handelnde noch deutliche Verbesserungspotenziale mit Hinblick auf die Integration in europäische FTI-Netzwerke im Bereich HRE vorliegen dürften.

3.3.4 Relevante Bildungseinrichtungen

In Österreich gibt es mehrere Bildungseinrichtungen, die sich mit Weltraumforschung und -technologie befassen. Die **Technische Universität Graz (TU Graz)** und die **Universität Graz** bieten gemeinsam den international ausgerichteten **Masterstudiengang „Space Sciences and Earth from Space“** an, der Schwerpunkte wie Satellitensysteme, Erdbeobachtung und Sonnensystemphysik abdeckt.¹⁸⁰ Dieser Studiengang profitiert von der Expertise des Instituts für Weltraumforschung (IWF) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften in Graz, das an Missionen wie BepiColombo oder JUICE beteiligt ist. Zudem bietet die **TU Graz**

¹⁷⁸ Der Balassa Hoover Index Der Balassa-Hoover-Index, auch bekannt als Hoover-Ungleichverteilung, Hoover-Koeffizient oder Dissimilaritätsindex, ist ein einfaches Maß zur Quantifizierung von Ungleichverteilung oder Konzentration. Er gibt an, welcher Anteil einer Ressource (z. B. Einkommen, Beschäftigung, Produktion) umverteilt werden müsste, um eine vollständige Gleichverteilung zu erreichen. In der Regionalökonomik und Wirtschaftsgeographie wird der Balassa-Hoover-Index häufig verwendet, um die räumliche Konzentration oder Spezialisierung von Branchen oder Beschäftigung zu messen. In der Handelstheorie wird er auch als Balassa-Index bezeichnet und dient der Analyse komparativer Vorteile.

¹⁷⁹ Ungarn weist 8 Projektbeteiligungen im Bereich Exploration aus, das fast um die Hälfte kleinere Dänemark demgegenüber 24. Aufgrund der geringen Beteiligung Ungarns an H2020 und HE kommt es zu einer positiven Verzerrung des Indexwertes.

¹⁸⁰ <https://www.uni-graz.at/en/studies/master-programmes/space-sciences-and-earth-from-space/>

den **berufsbegleitenden Universitätslehrgang „SpaceTech“** an, der Fachkräfte in Systemtechnik, Missionsdesign und Weltraummanagement ausbildet und sieben europäische Raumfahrtstandorte einbezieht.¹⁸¹

Die **Fachhochschule Wiener Neustadt** spielt mit ihrem **Masterprogramm „Aerospace Engineering“** eine zentrale Rolle in der praxisnahen Ausbildung. Studierende entwickeln hier Antriebe, Satellitenkomponenten und Faserverbundwerkstoffe in Laboren, die mit Partnern wie der ESA und Unternehmen wie ENPULSION kooperieren.¹⁸² Die **Forschungstochter FO-TEC** der FH Wiener Neustadt treibt zudem Projekte im Bereich elektrischer Antriebe und Energiesysteme für die Raumfahrt voran.¹⁸³

Die **Fachhochschule Joanneum** ergänzt das Angebot mit **Studiengängen wie „Luftfahrt / Aviation“**, die Grundlagen für luft- und raumfahrttechnische Anwendungen vermitteln. Für Führungskräfte bietet die **Universität für Weiterbildung Krems** einen **MBA Aviation Management** mit **optionalen Raumfahrtmodulen** an¹⁸⁴, daneben steht die **International Space University (ISU)**¹⁸⁵ im Elsass österreichischen Studierenden offen, die durch das nationale Weltraumprogramm der FFG finanzielle Unterstützung erhalten können.¹⁸⁶

Das **European Space Education Resource Office (ESERO)** in Linz ist eine österreichische Niederlassung des von der Europäischen Weltraumagentur (ESA) initiierten Bildungsnetzwerks, das seit Juni 2016 im Ars Electronica Center angesiedelt ist.¹⁸⁷ ESERO versucht mittels Edutainment Angeboten im Bereich Raumfahrt, Schüler*innen und Lehrkräfte für MINT-Fächer (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik) zu begeistern. Ziel ist es, durch innovative Unterrichtsmaterialien, Fortbildungen und Projekte das Interesse an naturwissenschaftlichen Berufen zu fördern und langfristig mehr Jugendliche für technische Karrieren zu gewinnen.

3.3.5 Start-ups im Bereich HRE

Österreichs Space-Start-up-Szene ist ein dynamisches und wachsendes Ökosystem, das von internationaler Vernetzung, staatlicher Förderung und technologischer Innovation geprägt

¹⁸¹ <https://www.tugraz.at/institute/iks/weiterbildung/spacetech>

¹⁸² <https://www.fhwn.ac.at/studiengang/master-aerospace-engineering>

¹⁸³ <https://www.fotec.at/>

¹⁸⁴ <https://www.donau-uni.ac.at/de/studium/mba-aviation-management.html>

¹⁸⁵ <https://www.isunet.edu/>

¹⁸⁶ <https://www.ffg.at/page/internationale-weltraumuniversitaet-isu>

¹⁸⁷ <https://ars.electronica.art/esero/de/>

ist. Zentrale Handelnde wie das **ESA Business Incubation Centre (BIC) Austria** mit Standorten in Graz, Wiener Neustadt und Salzburg unterstützen Gründer*innen dabei, Weltraumtechnologien in kommerzielle Anwendungen zu überführen – etwa in den Bereichen Satellitennavigation, Erdbeobachtung oder Materialforschung.¹⁸⁸ In Wien-Schwechat wurde im April 2024 das erste **ESA Phi-Lab** Europas, ein Kompetenzzentrum für die Kommerzialisierung von Upstream-Technologien in der Raumfahrttechnik, eröffnet.¹⁸⁹

Das ESA BIC Austria bietet Startups finanzielle Förderung, technisches Know-how und Zugang zu einem europaweiten Netzwerk, das seit 2016 über 50 Projekte begleitet hat. Förderprogramme wie das österreichische Weltraumprogramm ASAP stellen jährlich Millionenbudgets bereit (2025: EUR 12,85 Mio.), wobei ein Schwerpunkt auf Nachwuchsförderung und Kooperationen zwischen Forschung und Industrie liegt.¹⁹⁰ Startups profitieren zudem von Initiativen wie der **ESA Ambassador Platform**, die branchenübergreifenden Partnerschaften vermittelt, sowie von Wettbewerben wie der **glaubandich CHALLENGE**¹⁹¹, bei der 2025 das Raumfahrt-Startup SpeedPox (Spezialist für Epoxid-Systeme in der Luft- und Raumfahrt)¹⁹² als Gesamtsieger hervorging.

Die **geografische Verteilung der Space-Startups** konzentriert sich auf Forschungsstandorte wie Graz (TU Graz, Institut für Weltraumforschung), Wiener Neustadt (FH, FOTEC) und Wien, wo etablierte Player wie ENPULSION (elektrische Antriebe) und Gate Space (Antriebs- und Bremssysteme für Mars-Missionen) als Vorbilder und Kooperationspartner dienen. Salzburg etabliert sich durch das Local Incubation Partner-Programm des ESA BIC als weiterer Knotenpunkt, der gezielt Startups mit Space-Bezug fördert.

Werden **Daten aus Dealroom**¹⁹³ zu Start-ups im Bereich Weltraumtechnologien abgefragt, so zeigt sich, dass in Österreich insgesamt 55 Unternehmen dem Bereich Weltraum zuordnenbar sind. Wird der Beobachtungszeitraum der aktuellen ESA Terra Novae Periode betrachtet (2022-2025), so lassen sich insgesamt 8 neue Unternehmen im Bereich HRE identifizieren.

¹⁸⁸ <https://austria-in-space.at/de/austria-in-space/Institutionen/ESABICde.php>

¹⁸⁹ <https://esaphilab.at/>

¹⁹⁰ <https://foerderkompass.at/foerderungen/fte/austrian-space-applications-programme-asap/>

¹⁹¹ <https://www.sparkasse.at/sgruppe/kampagne-unternehmen/glaubandich-challenge>

¹⁹² <https://www.speedpox.com/>

¹⁹³ <https://austria.dealroom.co/intro>; Abfrage erfolgt am 11.02.2025

4 Problemidentifikation und Beschreibung der Szenarien

4.1 Einleitung

Im Kapitel 4 erfolgt zum einen die konkrete Problemidentifikation als Grundlage für die Wirkungsszenarien (Abschnitt 4.2); zum anderen werden auch die vier alternativen Wirkungsszenarien (Abschnitt 4.3) mit ihren Grundparametern und Eigenschaften festgeschrieben.

4.2 Problemstellung

4.2.1 Anstoß

Neben fünf neuen Berufsastronaut*innen wählte die ESA im September 2022 erstmals auch elf Reservisten aus, die bei Bedarf für eine zukünftige Mission einberufen werden können. Am 23. November 2022 wurde die Weltraummedizinerin Carmen Possnig in Paris als Reserveastronautin des Europäischen Astronaut*innenkorps in der 17-köpfigen ESA-Astronaut*innenklasse 2022 präsentiert. Sie setzte sich in einem Auswahlverfahren unter mehr als 22.500 Bewerbern durch. Im Falle eines Einsatzes als Astronautin wäre sie die erste Österreicherin im Weltall.

4.2.2 Herausforderungen

Mitgliedsländer, die sich substantiell an den freiwilligen bemannten Raumfahrtprogrammen der ESA beteiligen, erhöhen ihre Chancen, eine*n eigenen Astronaut*in für eine Kurzmission zu nominieren. Die Teilnahme an diesen Programmen ist freiwillig und erfordert entsprechende finanzielle Beiträge. Für eine Kurzzeitmission Österreichs innerhalb der ESA ist somit ein hinreichend großes finanzielles Commitment innerhalb des ESA Terra Novae Wahlprogramms erforderlich.

Bei der Umsetzung der ESA-Wahlprogramme in Österreich zeigen sich mehrere zentrale Herausforderungen. Ein wesentliches Problem ist die (noch immer) vergleichsweise geringe finanzielle Beteiligung Österreichs an den optionalen ESA-Programmen und insbesondere

an der ESA Terra Novae Programme Envelope für HRE. Da die Vergabe von Aufträgen durch die ESA stark an die Höhe der nationalen Beiträge gekoppelt ist, führt dies dazu, dass österreichische Unternehmen und Forschungseinrichtungen bei der Vergabe von Projekten gegenüber anderen Mitgliedsländern benachteiligt werden. Dadurch gehen nicht nur wirtschaftliche Chancen, sondern auch Entwicklungsmöglichkeiten verloren, da die Teilnahme an ESA-Missionen oft als Sprungbrett für internationale Folgeaufträge dient.

4.3 Definition der Szenarien

Auf Basis der oben skizzierten Problemstellung wurden in enger Abstimmung mit dem*der Auftraggeber*in vier Szenarien für die Umsetzung der Wirkungsschätzung definiert. Tabelle 7 bietet einen zusammenfassenden Überblick. In den folgenden Abschnitten erfolgt dann eine detaillierte Diskussion der vier Szenarien.

Tabelle 7: Die vier Szenarien im Überblick

	Szenario 1: „Weiter wie bisher“	Szenario 2: „Ausweitung der Wahlbeiträge nur Robotik“	Szenario 3: „Ausweitung der Wahlbeiträge Schwerpunkt Astronautik“	Szenario 4: „Weiter wie bisher plus Zukauf von Mission“
Wahlbeiträge in HRE	Wahlbeiträge in HRE bleiben auf Niveau von EUR 15,5 Mio.	Wahlbeiträge in HRE werden auf EUR 80 Mio. angehoben	Wahlbeiträge in HRE werden auf EUR 80 Mio. angehoben	Wahlbeiträge in HRE bleiben auf Niveau von EUR 15,5 Mio.
(zusätzliche) Mittelallokation	Struktur des Mitteleinsatzes bleibt unverändert	Mittel nur in robotischer Exploration	Mittel überwiegend in astronautischer Exploration	Zusätzliche Kosten für Kurzzeitmission: EUR 65 Mio. Für Vorbereitung und wissenschaftliches Programm zus. EUR 25 Mio.
Strategische Positionierung im ESA- Engagement	Position Österreichs in ESA unverändert	Signal stärkeren Commitments zu ESA	Signal stärkeren Commitments zu ESA	Position Österreichs in ESA unverändert

	Szenario 1: „Weiter wie bisher“	Szenario 2: „Ausweitung der Wahlbeiträge nur Robotik“	Szenario 3: „Ausweitung der Wahlbeiträge Schwerpunkt Astronautik“	Szenario 4: „Weiter wie bisher plus Zukauf von Mission“
Option auf astronautische Mission	Keine Option auf astronautische Mission mit ESA	Keine Option auf astronautische Mission mit ESA	Option auf astronautische Mission mit ESA	Astronautische Mission außerhalb von ESA (Vorbild Schweden oder Ungarn)

Quelle: Eigene Darstellung

4.3.1 Szenario 1: Beibehalten des österreichischen Aktivitätsniveaus im Terra Novae Programm der ESA

Szenario 1 „Weiter wie bisher“ geht davon aus, dass im Rahmen der nächsten ESA-Ministerratskonferenz im November 2025 in Bremen seitens Österreichs erneut Wahlbeiträge i.d.H. von EUR 15,5 Mio. für die Terra Novae Programme Envelope gezeichnet werden.¹⁹⁴ Es bleibt die Struktur des Mitteleinsatzes somit für die kommende Periode (2026 bis 2028) somit unverändert. Darüber hinaus wird angenommen, dass die Höhe Wahlbeiträge auch für die Folgeperiode (2027-2031) auf dem gleichen Niveau bleibt.

Österreich hat in Folge keine Option auf eine astronautische Mission innerhalb der Programme der ESA und die Position bleibt betreffend HRE gegenüber der laufenden ESA Terra Novae Periode unverändert.

4.3.2 Szenario 2: Ausweitung der österreichischen Wahlbeiträge in der robotischen Exploration

Im Szenario 2 „Ausweitung der österreichischen Wahlbeiträge in der robotischen Exploration“ wird angenommen, dass im Rahmen der nächsten ESA-Ministerratskonferenz im November 2025 in Bremen seitens Österreichs eine deutliche Ausweitung der Wahlbeiträge auf EUR 80,0 Mio. für die Terra Novae Programme Envelope erfolgt. Österreich folgt im Ansatz der Höhe der gezeichneten Wahlbeiträge dabei dem Vorbild der Schweiz, das als strukturell ähnliches Referenzland herangezogen wird.¹⁹⁵ Die Struktur des Mitteleinsatzes

¹⁹⁴ Siehe hierzu Tabelle 2

¹⁹⁵ Ibid: Die Schweiz hat die Wahlbeiträge von EUR 45 Mio. im Jahr 2019 auf EUR 85 Mio. im Jahr 2022 ausgeweitet.

wird für die kommende Periode (2026 bis 2028) dabei so angepasst, dass alle gezeichneten Mittel in robotische Missionen fließen. Darüber hinaus wird angenommen, dass die Höhe Wahlbeiträge auch für die Folgeperiode (2027-2031) auf dem gleichen Niveau bleibt.

Durch die deutliche Erhöhung der Wahlbeiträge wird die strategische Position Österreichs im ESA-Engagement deutlich gestärkt und das Land als sichtbar committeter Partner wahrgenommen. Österreich hat in diesem Szenario aber keine Option auf eine astronautische Mission innerhalb der Programme der ESA.

4.3.3 Szenario 3: Ausweitung der österreichischen Wahlbeiträge mit einem Schwerpunkt in der Astronautik

Auch im Szenario 3 „Ausweitung der österreichischen Wahlbeiträge mit einem Schwerpunkt in der Astronautik“ wird angenommen, dass im Rahmen der nächsten ESA-Ministerratskonferenz im November 2025 in Bremen seitens Österreichs eine deutliche Ausweitung der Wahlbeiträge auf EUR 80,0 Mio. für die Terra Novae Programme Envelope erfolgt. Österreich folgt im Ansatz der Höhe der gezeichneten Wahlbeiträge dabei dem Vorbild der Schweiz, das als strukturell ähnliches Referenzland herangezogen wird.¹⁹⁶ Die Struktur des Mitteleinsatzes wird für die kommende Periode (2026 bis 2028) dabei so angepasst, dass der überwiegende Anteil der gezeichneten Mittel in astronautische Missionen fließt. So kann ein Anspruch auf die Option einer Mission von Projektastronaut*innen verankert werden. Darüber hinaus wird angenommen, dass die Höhe Wahlbeiträge auch für die Folgeperiode (2027-2031) auf dem gleichen Niveau bleibt.

Durch die deutliche Erhöhung der Wahlbeiträge wird die strategische Position Österreichs im ESA-Engagement deutlich gestärkt und das Land als sichtbar committeter Partner wahrgenommen.

4.3.4 Szenario 4: Beibehalten des österreichischen Aktivitätsniveaus im Terra Novae Programm + Zukauf einer privaten Mission

Szenario 4 „Beibehalten des Österreichischen Aktivitätsniveaus im Terra Novae Programm der ESA + Zukauf einer privaten Weltraummission“ geht davon aus, dass im Rahmen der nächsten ESA-Ministerratskonferenz im November 2025 in Bremen seitens Österreichs er-

¹⁹⁶ Siehe hierzu Tabelle 2: Die Schweiz hat die Wahlbeiträge von EUR 45 Mio. im Jahr 2019 auf EUR 85 Mio. im Jahr 2022 ausgeweitet.

neut Wahlbeiträge i.d.H. von EUR 15,5 Mio. für die Terra Novae Programme Envelope gezeichnet werden. Es bleibt die Struktur des Mitteleinsatzes somit für die kommende Periode (2026 bis 2028) somit unverändert. Darüber hinaus wird angenommen, dass die Höhe Wahlbeiträge auch für die Folgeperiode (2027-2031) auf dem gleichen Niveau bleibt.

In Ergänzung zu Szenario 1 wird zusätzlich der Zukauf einer astronautischen Kurzzeitmission bei einem privaten Anbieter analog zu den entsprechenden Aktivitäten in Schweden oder Ungarn angenommen. Die Kosten für eine private Weltraummission variieren dabei stark und hängen maßgeblich davon ab, ob es sich um einen suborbitalen Kurzflug, einen Orbitalflug oder einen Aufenthalt auf der Internationalen Raumstation (ISS) handelt.

Suborbitale Flüge: Anbieter wie Virgin Galactic oder Blue Origin bieten suborbitale Flüge an, bei denen Passagiere für wenige Minuten die Schwerelosigkeit erleben und kurz in den Weltraum vordringen (typisch: 80–100 km Höhe). Die aktuellen Ticketpreise für einen solchen Flug liegen zwischen USD 250 Tsd. und USD 500 Tsd. (ca. EUR 230 Tsd.– EUR 460 Tsd.); so verlangt Virgin Galactic bspw. derzeit etwa USD 450 Tsd. pro Ticket.^{197 198}

Orbitalflüge und ISS-Aufenthalte: Private Missionen in den Erdorbit, insbesondere zur ISS sind deutlich teurer. Ein Ticket für eine etwa zweiwöchige Forschungsreise zur ISS kostet derzeit rund EUR 50 bis 65 Mio. pro Person.¹⁹⁹ Anbieter wie SpaceX (in Kooperation mit Axiom Space und NASA) organisieren solche Missionen. Die Kosten umfassen Transport, Aufenthalt und Betreuung an Bord der ISS.²⁰⁰ Frühere private Weltraummissionen (z.B. der Flug erste Weltraumtourist Dennis Tito im Jahr 2001) kosteten rund USD 20 Mio., die Preise sind seither jedoch deutlich gestiegen.²⁰¹

¹⁹⁷ <https://oewf.org/2024/01/private-raumfahrt-co2-schleuder-oder-nur-teures-hobby/>

¹⁹⁸ <https://www.nationalgeographic.de/reise-und-abenteuer/2021/08/der-hohe-preis-des-weltraumtourismus>

¹⁹⁹ <https://www.vdi-nachrichten.com/technik/raumfahrt/50-millionen-euro-pro-ticket-raumfahrer-auf-dritter-privater-reise-zur-iss/>; im Interview mit Axiom Space am 22.10.2024 wurde als aktueller Preis für eine Kurzzeitmission ein Betrag von EUR 65 Mio. genannt.

²⁰⁰ Ibid.

²⁰¹ <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1057316/umfrage/ticketpreise-von-ausgewaehlten-touristenfluegen-ins-weltall/>

Für Szenario 4 werden Kosten für eine 14-tägige Kurzzeitmission zur ISS i.d.H. von EUR 65 Mio. geschätzt, wobei hier noch EUR 25 Mio. für die Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung von Experimenten auf der ISS hinzukommen.²⁰² Es ergeben sich für Szenario 4 somit Gesamtkosten i.d.H. von EUR 115,5 Mio.

²⁰² Dieser Wert wurde als Referenz im Interview mit Axiom Space am 22.10.2024 genannt.

5 Festlegung und Erfassung der Wirkungen für die vier Szenarien

5.1 Einleitung

Die Auswahl der Bewertungskriterien ist ein entscheidender Schritt im Prozess des Impact Assessments. In dieser Phase werden relevante Indikatoren und Benchmarks definiert, um die potenziellen Auswirkungen der zu untersuchenden Interventionen zu bewerten. Die Kriterien müssen auf den spezifischen Kontext und die Ziele der Bewertung zugeschnitten sein und sicherstellen, dass sie alle wesentlichen wirtschaftlichen, gesellschaftlichen, wissenschaftlichen und technologischen Auswirkungen erfassen.

Für die Festlegung der Bewertungskriterien wurden insgesamt 20 internationale Wirkungsstudien mit dem Schwerpunkt HRE gesichtet und eine Rohliste von Bewertungskriterien erstellt. Eine Übersicht über diese Studien findet sich im Anhang der Studie. In einem zweiten Schritt erfolgte dann eine Verdichtung der Rohliste sowie eine Kontextualisierung für die in Kapitel 4 dargestellte Problembeschreibung bzw. für die vier zu analysierenden Szenarien.

5.2 Die Erfassung der Wirkungen

Tabelle 8 präsentiert die für die vorliegende Studie festgelegten elf Bewertungskriterien (Spalte 1), in Ergänzung dazu werden in Spalte 2 auch die zugeordneten Effekte (bzw. die Begründung für die Aufnahme in die Liste), sowie in den Spalten 3 und 4 die jeweiligen Parameter für die Wirkungsmessung bzw. die zugeordneten Datenquellen dargestellt. Spalte 6 stellt dazu ergänzend dar, welche Anspruchsgruppen von dem jeweiligen Bewertungskriterium besonders betroffen sein werden.

Tabelle 8: Festlegung der Impacts für die vier Szenarien

Bewertungskriterien	Erwartete Wirkung	Indikatoren zur Erfassung der Wirkung	Datenquellen	Sensitivität / wer ist am stärksten betroffen
1. Wissenschaftlicher Output	Erhöhte ESA-Mittel führen zu mehr und größeren Projekten, deren Ergebnisse publiziert werden	Zahl der Peer Reviewed Papers pro Terra Novae Periode gemessen am Wahlbeitrag	OpenAlex Datenabfrage für Österreich, 2022-2025	Universitäten, FHs, ÖAW und RTO (JR, AIT); Firmen sind geringer betroffen
	In astronautischen Kurzzeitmissionen werden Experimente durchgeführt, deren Ergebnisse publiziert werden	Zahl der Experimente pro Kurzzeitmission sowie durchschnittliche Zahl von Veröffentlichungen	Medienbeiträge über Kurzzeitmissionen	Universitäten, FHs, ÖAW und RTO (JR, AIT); Firmen sind geringer betroffen
2. Zugang zu europäischen FTI-Netzwerken	Erhöhte ESA-Mittel führen zu mehr Projekten mit europäischen Partnern	Zahl der österreichische Projektbeteiligungen im European Space Programme	CORDIS Datenabfrage, 2020-2025	Unternehmen im Bereich Space, Unis und RTO
3. Neues technologisches Wissen	Erhöhte ESA-Mittel führen zu mehr und größeren Projekten, die schutzwürdiges Wissen schaffen	Zahl der Patentanmeldungen im Bereich Exploration pro Terra Novae Periode	Abfrage zu Patentanmeldungen von 2022-2025 für Unternehmen und RTO in Österreich	Unternehmen im Bereich Space Unis und RTO
4. Neue technologische Kompetenzen	Erhöhte ESA-Mittel führen zu mehr und größeren Projekten, in denen technologisches Wissen aufgebaut wird	Zusätzliches F&E Personal in VZÄ pro Terra Novae Periode	Unternehmens-Survey	Unternehmen im Bereich Space und RTOs
5. Transfer von Technologien aus HRE	Im Rahmen der Projekte entstehen Innovationen, die außerhalb von Space kommerzialisierbar sind	Produktinnovation für andere Märkte; Prozessinnovationen für andere Branchen	Unternehmens-Survey, Expert*innen-Interviews	Unternehmen im Bereich Space, Spin-offs
6. Öffentliche Wahrnehmung von HRE im Weltraum	Laut Literatur beeinflussen Astronaut*innen die	Anteil der Bürger*innen mit positiver und negativer Einstellung	Eurobarometer zu Vertrauen in Wissenschaft 2021 und 2024	Bürger*innen in AT, mittelbar Forscher*innen in AT, sowie

Bewertungskriterien	Erwartete Wirkung	Indikatoren zur Erfassung der Wirkung	Datenquellen	Sensitivität / wer ist am stärksten betroffen
	Wahrnehmung zu Space positiv	zu Weltraumforschung an der Gesamtbevölkerung		Vertreter*innen des Governance Sektors
7. Ausbildung und Nachwuchsrekrutierung in relevanten Bereichen (insbesondere MINT)	Role-Modelwirkung für Schüler*innen und Student*innen bei Studien und Berufswahl – Präferenz für MINT	Anzahl der Inskriptionen in MINT-Studienprogrammen pro Terra Novae Periode	Expert*innen-Interviews, Literaturanalyse	Schüler*innen und Student*innen, mittelbar Unis/FHs, sowie Unternehmen
8. Betriebliche Investitionen im Bereich HRE	Erhöhte ESA-Mittel führen zu mehr und größeren Projekten, in denen Maschinen und Ausstattung angeschafft werden müssen	Zusätzliche Investitionen in EUR Tsd. pro Terra Novae Periode	Unternehmens-Survey	Unternehmen im Bereich Space; indirekt Unternehmen über Vorleistungen
9. Betriebliche Einnahmen im Bereich HRE	Erhöhte ESA-Mittel haben in Österreich eine Rückflussquote über Projekte von bis zu 92%	Einnahmen aus ESA Contracts; Einnahmen aus sonstigen bis Contracts (Europa, International) in EUR Tsd.	Unternehmens-Survey	Unternehmen im Bereich Space; indirekt Unternehmen über Vorleistungen
10. Zugang zu europäischen und internationalen Märkten	Österreichische Handelnde können sich nur im Umfang der ESA-Mittel an ESA-Projekten beteiligen	Zahl der ESA Contracts, sonstiger Contracts (Europa, International)	Expert*innen-Interviews, Unternehmens-Survey	Unternehmen im Bereich Space; indirekt Unternehmen über Vorleistungen
11. Gründung von Start-ups im Bereich Space Exploration	Erhöhte ESA-Mittel führen zu mehr und größeren Projekten, in denen Wissen für neue Firmengründungen aufgebaut wird	Zahl der Start-ups pro Terra Novae Periode	Daten aus Dealroom, 2022-2025	Unternehmen im Bereich Space; indirekt Unternehmen über Vorleistungen

Quelle: Eigene Darstellung

6 Wirkungshypothesen und Evidenzlagen für die Terra Novae Perioden 2026 bis 2031

6.1 Einleitung

Im Kapitel 6 erfolgt die Diskussion der abgeschätzten Wirkungen für die vier definierten Szenarien. Diese Diskussion erfolgt dabei aufbauend auf den festgelegten Bewertungskriterien (Kapitel 6) innerhalb der folgenden Wirkungspfade: Wissenschaft und Technologie, Gesellschaft sowie Wirtschaft (Abschnitte 6.2, 6.3 und 6.4). Innerhalb dieser Wirkungspfade werden aus Gründen der Anschaulichkeit alle vier Szenarien immer parallel diskutiert. Die Diskussion jedes Wirkungspfades ist dabei inhaltlich jeweils gleich aufgebaut: In einem ersten Schritt erfolgt eine Diskussion der Wirkungshypothesen und der damit verbundenen Risiken für allen vier Szenarien, im zweiten Schritt erfolgt dann die Präsentation und Diskussion der Evidenzlage der Szenarien im Vergleich; abschließend erfolgt für jeden Wirkungspfad die Bewertung der Wirkungen im Szenariovergleich, wobei einfache Scores für die im Rahmen der Evidenzlage identifizierten Wirkungen vergeben werden.

6.2 Der Wirkungspfad Wissenschaft und Technologie

6.2.1 Die Wirkungshypothesen und erwarteten Risiken

Tabelle 9 bietet für die Szenarien 1 bis 4 einen Überblick über die Wirkungshypothesen und Risiken im Bereich Wissenschaft.

Im Szenario 1 ist weder eine Erhöhung der Wahlbeiträge noch eine astronautische Kurzzeitmission vorgesehen; entsprechend sind im Bereich Weltraumforschung und -technologie keine zusätzlichen stimulierenden Impulse für wissenschaftliche Publikationen zu erwarten. Das Niveau der Wissensproduktion bleibt auf jenem der vergangenen Jahre. Das Szenario 1 weist demgemäß auch ein Risiko auf: Ohne erhöhte Wahlbeiträge bleibt den Spieler*innen der verbesserte Zugang zu europäischen Forschungsnetzwerken weiter verwehrt, da in Folge des Geo-Return-Prinzips kein erweiterter Zugang zu ESA-Konsortien möglich ist.

Im Szenario 2 wird angenommen, dass durch die erhöhten Wahlbeiträge im Bereich Robotik sowohl ein verbesserter Zugang zu europäischen Forschungsnetzwerken (durch Zugang zu ESA-Konsortien) ermöglicht wird, als auch durch eine größere Zahl von ESA-Projekten in Robotik mehr Publikationen aus diesen Projekten induziert werden. Ein Risiko stellt hier der Umfang der Projekte im Bereich Robotik dar. Diese sind besonders im Vergleich zum Lunar Gateway deutlich geringer skaliert als im Bereich Astronautik.

Tabelle 9: Wirkungshypothesen und Risiken für den Wirkungspfad Wissenschaft

	Szenario 1: „Weiter wie bisher“	Szenario 2: „Ausweitung der Wahlbeiträge nur Robotik“	Szenario 3: „Ausweitung der Wahlbeiträge Schwerpunkt Astronautik“	Szenario 4: „Weiter wie bisher plus Zukauf von Mission“
Erwartete Wirkungen	Keine zusätzlichen Projekte: Wissensproduktion bleibt auf dem Niveau der laufenden ESA Terra Novae Periode (2022-2025)	Mehr ESA-Projekte in Robotik; mehr Publikationen aus ESA-Projekten	Keine zusätzlichen Projekte: Wissensproduktion bleibt auf dem Niveau der laufenden ESA Terra Novae Periode (2022-2025)	Mehr ESA-Projekte in Robotik; mehr Publikationen aus ESA-Projekten
		Verbesserter Zugang zu europäischen Forschungsnetzwerken durch Zugang zu ESA-Konsortien	Verbesserter Zugang zu europäischen Forschungsnetzwerken durch Zugang zu ESA-Konsortien	
Risiken	Kein verbesserter Zugang zu europäischen Forschungsnetzwerken, da kein erweiterter Zugang zu ESA-Konsortien	Umfang der Projekte im Bereich Robotik deutlich geringer skaliert als im Bereich Astronautik	Einmaleffekt bei Wahlbeiträgen kann auch das Risiko von durchbrochenen Forscherkarrieren oder Abwanderung beinhalten	Kein verbesserter Zugang zu europäischen Forschungsnetzwerken, da keine Erhöhung der Wahlbeiträge

Quelle: Eigene Darstellung

Für Szenario 3 besteht die Hypothese, dass erhöhte Wahlbeiträge einerseits zu mehr und/oder größeren ESA-Projekten in der Astronautik und damit zu einem Anstieg des Publikationsaufkommens aus ESA-Projekten führen werden. Andererseits wird ein verbesserter Zugang zu europäischen Forschungsnetzwerken durch Zugang zu ESA-Konsortien ermöglicht. Ein Risiko besteht hier für den Fall, dass die Anhebung der Wahlbeiträge nur für eine

ESA Terra Novae Periode erfolgt. In diesem Fall kann der Einmaleffekt bei den Wahlbeiträgen auch zu durchbrochenen Forscherkarrieren oder Abwanderung ins Ausland führen.

Im Szenario 4 ist durch Experimente im Rahmen der Kurzzeitmission ein moderater Aufbau neuen Wissens zusätzlich zur Wissensproduktion auf Niveau der laufenden Terra Novae Periode (2022-2025) möglich. Das Szenario 4 weist das gleiche Risiko wie Szenario 1 auf: Ohne erhöhte Wahlbeiträge bleibt den Spieler*innen der verbesserte Zugang zu europäischen Forschungsnetzwerken weiter verwehrt, da in Folge des Geo-Return-Prinzips kein erweiterter Zugang zu ESA-Konsortien möglich ist.

Tabelle 10 bietet für die Szenarien 1 bis 4 einen Überblick über die Wirkungshypothesen und Risiken im Bereich Technologie.

Tabelle 10: Wirkungshypothesen und Risiken für den Wirkungspfad Technologie

	Szenario 1: „Weiter wie bisher“	Szenario 2: „Ausweitung der Wahlbeiträge nur Robotik“	Szenario 3: „Ausweitung der Wahlbeiträge Schwerpunkt Astronautik“	Szenario 4: „Weiter wie bisher plus Zukauf von Mission“
Erwartete Wirkungen	Keine zusätzlichen Projekte: Die Entwicklung neuen technologischen Wissens bleibt auf dem Niveau der laufenden ESA Terra Novae Periode	Mehr ESA-Projekte in Robotik: Anstieg bei Entwicklung neuen technologischen Wissens	Mehr/größere ESA-Projekte in Astronautik: Zusätzliche Entwicklung neuen technologischen Wissens	Keine Projekte mit privatem Anbieter: Die Entwicklung neuen technologischen Wissens bleibt auf dem Niveau der laufenden ESA Terra Novae Periode
	Der technologische Kompetenzaufbau bleibt auf dem Niveau der laufenden ESA Terra Novae Periode	Zusätzlicher technologischer Kompetenzaufbau	Zusätzlicher technologischer Kompetenzaufbau	Der technologische Kompetenzaufbau bleibt auf dem Niveau der laufenden ESA Terra Novae Periode
Risiken	Zu geringe finanzielle Anreize für Aufbau neuen technologischen Wissen in den	Umfang der Projekte im Bereich Robotik deutlich geringer skaliert als im Bereich Astronautik	Für einige Großprojekte rund um den Lunar Gateway wurden die Konsortien bereits in der laufenden ESA Terra	Keine Projekte mit privatem Anbieter: Keine zusätzliche Entwicklung neuen

Szenario 1: „Weiter wie bisher“	Szenario 2: „Ausweitung der Wahlbeiträge nur Robotik“	Szenario 3: „Ausweitung der Wahlbeiträge Schwerpunkt Astronautik“	Szenario 4: „Weiter wie bisher plus Zukauf von Mission“
Bereichen Robotik und Astronautik		Novae Periode festgelegt.	technologischen Wissens
Kein zusätzlicher technologischer Kompetenzaufbau			Kein zusätzlicher technologischer Kompetenzaufbau

Quelle: Eigene Darstellung

Im Szenario 1 ist keine Erhöhung der Wahlbeiträge vorgesehen; entsprechend sind keine zusätzlichen Projekte zu erwarten. In Folge bleibt die Entwicklung neuen technologischen Wissens auf dem Niveau der laufenden ESA Terra Novae Periode; gleiches gilt für den technologischen Kompetenzaufbau. Das Szenario 1 weist demgemäß auch ein Risiko auf: Ohne erhöhte Wahlbeiträge bestehen zu geringe finanzielle Anreize sowohl für den Aufbau neuen technologischen Wissens in den Bereichen Robotik und Astronautik, als auch für den technologischen Kompetenzaufbau in diesen Feldern.

Im Szenario 2 wird angenommen, dass durch die erhöhten Wahlbeiträge im Bereich Robotik durch eine größere Anzahl an ESA-Projekten sowohl ein Anstieg bei Entwicklung neuen technologischen Wissens als auch ein zusätzlicher technologischer Kompetenzaufbau zu erwarten ist. Ein Risiko stellt auch hier der Umfang der Projekte im Bereich Robotik dar. Diese sind besonders im Vergleich zum Lunar Gateway deutlich geringer skaliert als im Bereich Astronautik.

Für Szenario 3 besteht die Hypothese, dass erhöhte Wahlbeiträge einerseits zu mehr und/oder größeren ESA-Projekten in der Astronautik und damit zu einer zusätzlichen Entwicklung neuen technologischen Wissens bzw. zu zusätzlichem technologischem Kompetenzaufbau führen. Ein Risiko besteht durch die Tatsache, dass für einige Großprojekte rund um den Lunar Gateway die Konsortien bereits in der laufenden ESA Terra Novae Periode festgelegt wurden und somit bereits Pfadabhängigkeiten bestehen dürften.

Szenario 4 geht davon aus, dass keine zusätzlichen Projekte mit dem privaten Anbieter der Kurzzeit-Mission durchgeführt werden. Die Entwicklung neuen technologischen Wissens bleibt daher auf dem Niveau der laufenden ESA Terra Novae Periode. Gleiches gilt für den technologischen Kompetenzaufbau.

6.2.2 Die Evidenzlage für die Szenarien im Vergleich

Tabelle 11 bietet eine Übersicht über die Evidenzlage für die Wissensproduktion sowie den Zugang zu Forschungspartnerschaften in HRE für Handelnde aus Österreich.

Tabelle 11: Wissensproduktion und Zugang zu Forschungspartnerschaften in HRE

Wirkungspfad	Indikatoren	Szenario 1: „Weiter wie bisher“	Szenario 2: „Ausweitung der Wahlbeiträge nur Robotik“	Szenario 3: „Ausweitung der Wahlbeiträge Schwerpunkt Astronautik“	Szenario 4: „Weiter wie bisher plus Zukauf von Mission“
Wissenschaft	Publikationen zu HRE bis 2031	65	309	309	85
	Zugang zu neuen Forschungs- partnerschaften in HRE	Nein	Ja	Ja	Nein

Quelle: OpenAlex, Eigene Erhebungen

Eine Abfrage von OpenAlex für die Jahre 2022 bis 2025 auf Basis einer Schlagwortliste²⁰³ für Autor*innen mit einer österreichischen Affiliation ergibt insgesamt 65 Publikationen in Peer-Reviewed Journals. Unter der Annahme, dass diese Publikationen durch den Geo-Return der ESA-Wahlbeiträge für die Jahre 2022 bis 2025 induziert worden sind, wurde als Proxy der Quotient aus der Zahl der Publikationen geteilt durch die Summe der gezeichneten Wahlbeiträge in Mio. EUR in HRE gebildet. Es ergibt sich dabei ein Wert von 4,2 Publikationen pro 1 Mio. EUR Wahlbeiträge. Werden die Wahlbeiträge in HRE auf EUR 80 Mio. erhöht, so sind im Szenario 2 bzw. Szenario 3 von 2026 bis 2031 insgesamt jeweils 309 Publikationen zu erwarten. Für das Szenario 1 ergibt sich auf dieser Basis ein geschätzter Wert von 65 Publikationen; für Szenario 4 dürfte dieser Wert höher ausfallen, da aus den Experimenten innerhalb der Kurzzeitmission publiziert werden wird. Bei einer Annahme von 20 Experimenten in einer 14-tägigen Mission in Analogie zu Muninn Mission Schwedens 2024 können hier in Ergänzung zu 65 Publikationen zumindest 20 zusätzliche Veröffentlichungen erwartet werden.

²⁰³ Die Schlagwortliste ist im Anhang 4 dargestellt

Wie in den Kapiteln 3.2 und 3.3 dargestellt, verfügen Handelnde aus Österreich aufgrund der vergleichsweise niedrigen Wahlbeiträge in HRE derzeit nur über eingeschränkte Zugänge zu europäischen und internationalen FTI-Netzwerken. Die Rahmenprogramme der EU sind dabei nicht in der Lage dieses Defizit zu kompensieren. Werden die Wahlbeiträge nicht erhöht (Szenario 1 und Szenario 4) so bleibt dieser Zustand aufrecht. Bei einer deutlichen Erhöhung der Wahlbeiträge in HRE sind von 2026 bis 2031 demgegenüber deutlich verbesserte Zugänge zu FTI-Partnerschaften mit Handelnden in anderen ESA-Mitgliedsstaaten zu erwarten.

Dieser Befund spiegelt sich auch in den durchgeführten Expert*innen-Interviews wider. So haben die Interviewpartner*innen angegeben, dass erhöhte Wahlbeiträge in HRE als „Eintrittskarte“ für Beteiligungen an Projekten von LSI (ESA und international) zu verstehen sind. Als komplementärer Effekt wurde wiederholt angeführt, dass Österreich dann als verlässlicher Partner mit ausreichendem Commitment wahrgenommen wird, was sich auch auf die Attraktivität der österreichischen Unternehmen auswirkt. Zugleich ist darauf hingewiesen worden, dass die großen Projekte in den nächsten 10 Jahren vor allem im Bereich der astronautischen Exploration (Artemis, Lunar Gateway) zu finden sind.

Tabelle 12 bietet eine Übersicht über die Evidenzlage für die Technologieproduktion sowie den Aufbau neuer technologischer Kompetenzen für Handelnde aus Österreich.

Tabelle 12: Technologieproduktion und Aufbau neuer technologischer Kompetenzen in HRE

Wirkungspfad	Indikatoren	Szenario 1: „Weiter wie bisher“	Szenario 2: „Ausweitung der Wahlbeiträge nur Robotik“	Szenario 3: „Ausweitung der Wahlbeiträge Schwerpunkt Astronautik“	Szenario 4: „Weiter wie bisher plus Zukauf von Mission“
Technologie	Zusätzliches F&E Personal in VZÄ	11 in Robotik	41 in Robotik		11 in Robotik
		11 in Astronautik	61,5 in Robotik		11 in Astronautik
	Patentanmeldungen in HRE bis 2031	15	82	82	15

Quelle: OpenAlex, Eigene Erhebungen

Wie aus Tabelle 12 ersichtlich, sind im Szenario 1 bzw. Szenario 4 sind für die Jahre 2026 bis 2031 11 VZÄ im Bereich robotische Exploration sowie 11 VZÄ im Bereich astronautische Exploration zu erwarten. Dem stehen im Szenario 2 für denselben Zeitraum insgesamt 41 VZÄ bzw. im Szenario 3 dann 61,5 VZÄ im Bereich astronautische Exploration gegenüber.

Tabelle 13: Durch Projekte in HRE erwartete Wahrscheinlichkeit von Produkt- und Prozessinnovationen, 2026-2031

	Robotische Exploration		Astronautische Exploration	
	Szenario 1: „Weiter wie bisher“	Szenario 2: „Ausweitung der Wahlbeiträge nur Robotik“	Szenario 3: „Ausweitung der Wahlbeiträge Schwerpunkt Astronautik“	Szenario 4: „Weiter wie bisher plus Zukauf von Mission“
Produktinnovationen für neue Märkte	18 % Hoch	0 % Hoch	18 % Hoch	27 % Hoch
		36 % sehr hoch		18 % sehr hoch
Prozessinnovationen für andere Branchen	27 % Hoch	18 % Hoch	18 % Hoch	18 % Hoch
		27 % sehr hoch		27 % sehr hoch

Quelle: Eigene Erhebung und Berechnung

Eine Patentanmelder bzw. Erfinderbezogene Abfrage von ESPACENET²⁰⁴ hat für die laufende ESA Terra Novae Periode (2022-2025) insgesamt 15 Patentanmeldungen im Bereich HRE ergeben. Unter der Annahme, dass diese Patentanmeldungen durch den Geo-Return der ESA-Wahlbeiträge für die Jahre 2022 bis 2025 induziert worden sind, wurde als Proxy der Quotient aus der Zahl der Patentanmeldungen geteilt durch die Summe der gezeichneten Wahlbeiträge in Mio. EUR in HRE gebildet. Es ergibt sich dabei ein Wert von 0,97 Patentanmeldungen pro 1 Mio. EUR Wahlbeiträge. Werden die Wahlbeiträge in HRE auf EUR 80 Mio. erhöht, so sind im Szenario 2 bzw. Szenario 3 von 2026 bis 2031 insgesamt jeweils 82 Patentanmeldungen zu erwarten. Für die Szenarien 1 und 4 ergibt sich auf dieser Basis ein geschätzter Wert von 15 Patentanmeldungen.

²⁰⁴ https://worldwide.espacenet.com/?locale=de_EP; Abfrage erfolgt am 20.02.2025

Die Potenziale für Technologietransfer wurden zum einen in der Unternehmensbefragung durch die Abschätzung der erwarteten Produktinnovationen in neuen Märkten sowie von Prozessinnovationen in neuen Branchen abgefragt (siehe Tabelle 13).

Es zeigt sich dabei, dass Seitens der befragten Unternehmen ein positiver Impuls durch eine Erhöhung der Wahlbeiträge erwartet wird. Während im Szenario 1 insgesamt 18% der befragten Unternehmen die Wahrscheinlichkeit von Produktinnovationen in neuen Märkten sowie 27% von Prozessinnovationen in neuen Branchen als hoch angegeben haben, ergeben sich für Szenario 2 die folgenden Werte: Sehr hohe Wahrscheinlichkeit von Produktinnovationen 36%; sowie 18% für eine noch hohe bzw. rd. 27% für eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit für Prozessinnovationen. Im Szenario 3 haben insgesamt jeweils 18% der Unternehmen eine hohe Wahrscheinlichkeit für Produktinnovationen sowie für Prozessinnovationen bekanntgegeben.

Zum anderen wurde auf qualitativer Ebene in den Expert*innen-Interviews angeführt, dass erhöhte Wahlbeiträge in HRE über mehr Projekte ein erhöhtes Transferpotenzial schaffen können, wobei als Mechanismus vor allem Start-ups zum Tragen kommen werden. Als konkrete aktuelle Beispiele sind hier die Unternehmen Pneumo Planet²⁰⁵ und 2nd Cycle²⁰⁶ genannt worden. Besonders im Zusammenhang mit astronautischer Exploration wurde überdies hervorgehoben, dass große mittel- bis langfristige Technologietransferpotenziale im Bereich Health Tech bestehen. Weiters wurde auch auf Synergieeffekte von Raumfahrt-Technologien mit Autozulieferer, 3D-Druck, der Skiindustrie und der Wasserstoff-Branche verwiesen.

6.2.3 Die Bewertung der Wirkungen im Szenariovergleich

Tabelle 14 bietet einen strukturierten Überblick über die Bewertung der erhobenen erwarteten Wirkungen für die Wirkungspfade Wissenschaft und Technologie über die vier Szenarien hinweg. Eine 0 bedeutet hierbei, dass keine (zusätzliche) Wirkung zu erwarten ist; eine 1 steht für eine erkennbare Wirkung; eine 2 für eine signifikante Wirkung. Die Bewertungen wurden vom Projektteam auf Basis der Evidenzlage durchgeführt und in der Fokusgruppe am 24.04.2025 reflektiert und validiert.

²⁰⁵ <https://www.sciencepark.at/de/p/pneumo-planet/>

²⁰⁶ <https://www.2ndcycle.at/>

Tabelle 14: Gesamtbewertung der Wirkungspfade Wissenschaft und Technologie

		Szenario 1: „Weiter wie bisher“	Szenario 2: „Ausweitung der Wahlbeiträge nur Robotik“	Szenario 3: „Ausweitung der Wahlbeiträge Schwerpunkt Astronautik“	Szenario 4: „Weiter wie bisher plus Zukauf von Mission“
Wissenschaft: Impact Kriterien 1 und 2	Einschätzung Wissensproduktion	Wissensproduktion auf Niveau der laufenden Periode	Mehr Projekte und Publikationen		Kurzfristige Wirkung auf Wissensproduktion
	Bewertung		0	1	1
	Einschätzung Forschungspartner Zugänge schaften	Keine neuen Zugänge	Neue Zugänge zu europ. Forschungspartnerschaften		Keine neuen Zugänge
	Bewertung		0	1	2
Technologie: Impact Kriterien 3, 4 und 5	Einschätzung Technologie	Kein Anstieg	Anstieg technologischen Wissens und Verwertung		Kurzfristige Wirkung
	Bewertung		0	2	2

Quelle: Eigene Darstellung

Beim Betrachten der Tabelle wird deutlich, dass im Szenario 1 die geringste Wirkung zu erwarten sein dürfte; nur im Bereich technologischer Kompetenzaufbau ist hier eine erkennbare Wirkung festzuhalten. Im Szenario 4 sind demgegenüber auch im Bereich der Wissensproduktion durch die Experimente innerhalb der Kurzzeitmission erkennbare Wirkungen zu erwarten. Szenario 2 weist in beiden Wirkungspfaden positive Wirkungen aus, im Pfad „Technologie“ sind dies sogar signifikante Wirkungen. Das Szenario 3 verfügt über ein vergleichbares Wirkungsprofil; hier sind im Bereich der Forschungspartnerschaften Vergleich zu Szenario 2 sogar signifikante Wirkungen zu erwarten.

6.3 Der Wirkungspfad Gesellschaft

6.3.1 Die Wirkungshypothesen und erwarteten Risiken

Tabelle 15 bietet für die Szenarien 1 bis 4 einen Überblick über die Wirkungshypothesen und Risiken im Bereich Gesellschaft.

Tabelle 15: Wirkungshypothesen und Risiken für den Wirkungspfad Gesellschaft

	Szenario 1: „Weiter wie bisher“	Szenario 2: „Ausweitung der Wahlbeiträge nur Robotik“	Szenario 3: „Ausweitung der Wahlbeiträge Schwerpunkt Astronautik“	Szenario 4: „Weiter wie bisher plus Zukauf von Mission“
Erwartete Wirkungen	Keine astronautische Kurzzeitmission: Öffentliche Wahrnehmung von Raumfahrt bleibt auf dem Niveau der vergangenen Jahre		Astronautin erhöht die gesellschaftliche Akzeptanz von Weltraumforschung und Technologie	
			Astronautin hat mobilisierende Wirkung auf Ausbildung und Nachwuchsrekrutierung in relevanten Bereichen (insbes. MINT)	
Risiken	Kein Role Model bei für Schüler*innen und Student*innen betreffend Ausbildung und Nachwuchsrekrutierung in relevanten Bereichen (insbes. MINT)			

Quelle: Eigene Darstellung

In den Szenarien 1 und 2 ist keine astronautische Kurzzeitmission vorgesehen; entsprechend sind aus dem Bereich Weltraumforschung und -technologie keine zusätzlichen stimulierenden Impulse für die öffentliche Wahrnehmung zu erwarten; somit bleibt das Wahrnehmungsniveau auf jenem der vergangenen Jahre. Die Szenarien 1 und 2 weisen demgemäß auch ein Risiko auf: In Folge der Ermangelung einer astronautischen Kurzzeitmission und einer österreichischen Astronautin auf der ISS wird auch kein Role-Model bei für Schüler*innen und Student*innen betreffend Ausbildung und Nachwuchsrekrutierung in relevanten Bereichen (insbes. MINT) angeboten.

In den Szenarien 3 und 4 wird im Gegensatz dazu sowohl eine Erhöhung der gesellschaftlichen Akzeptanz von Weltraumforschung und -technologie in der österreichischen Bevölkerung als auch eine mobilisierende Wirkung auf Ausbildung und Nachwuchsrekrutierung in relevanten Bereichen (insbes. MINT) erwartet.

6.3.2 Die Evidenzlage für die Szenarien im Vergleich

Tabelle 16 bietet eine Übersicht über die Evidenzlage für die gesellschaftlichen Wirkungen von HRE in Österreich.

Tabelle 16: Gesellschaftliche Wirkungen in HRE

Wirkungspfad	Szenario 1: „Weiter wie bisher“	Szenario 2: „Ausweitung der Wahlbeiträge nur Robotik“	Szenario 3: „Ausweitung der Wahlbeiträge Schwerpunkt Astronautik“	Szenario 4: „Weiter wie bisher plus Zukauf von Mission“
Ausbildung und Nachwuchsrekrutierung in relevanten Bereichen (insbes. MINT)	Keine zusätzliche Wirkung bei Ausbildung und Nachwuchsrekrutierung in relevanten Bereichen (insbes. MINT		In Literatur positiver Effekt von Role Models auf Studien- und Berufswahl gegeben; aber keine quantifizierten Befunde verfügbar	
Öffentliche Wahrnehmung von HRE im Weltraum	Eurobarometer zu Vertrauen in Wissenschaft; Anteil der Personen die in den nächsten 20 Jahren positive oder negative Wirkungen durch Weltraumforschung erwarten: 2024 Österreich: 56% positiv; 23% negativ EU27: 65% positiv; 18% negativ Keine Veränderung der Werte erwartet		Eurobarometer zu Vertrauen in Wissenschaft: In Schweden von 2021 auf 2024 Rückgang der Einschätzung negativ um 6 Prozentpunkte („Markus Wandt Effekt“); Analog geschätzter „Carmen Possnig Effekte“ für AT: Rückgang der negativen Einschätzung von 23% auf 17%	

Quelle: OpenAlex, Eigene Erhebungen

Es gibt bisher keine spezifischen wissenschaftlichen Studien, die direkt und quantitativ die Wirkung von Astronaut*innen als Vorbilder auf die Berufswahl von Mädchen oder jungen Frauen belegen. Dasselbe gilt auch für männliche Schüler und Studenten. Die vorhandene Literatur und Berichterstattung liefern jedoch qualitative Hinweise und Erfahrungsberichte, die auf eine solche Wirkung schließen lassen. Eine Literaturanalyse des Instituts für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) hebt hervor, dass Rollenbilder und das gesellschaftliche Umfeld maßgeblichen Einfluss auf die Berufswahl haben. Weibliche Vorbilder im MINT-Bereich, wie Astronautinnen, können stereotype Vorstellungen aufbrechen und das Selbstkonzept sowie das Interesse von Mädchen an technischen Berufen stärken.²⁰⁷ Für die Szenarien 3 und 4 werden demgemäß positive Wirkungen auf die Berufswahl angenommen.

²⁰⁷ Ria Müller, Michael Kreß-Ludwig, Franziska Mohaupt, Magdalena von Drachenfels, Anne Heitmann, Astrid Gorsky (2018), Warum (nicht) MINT? Was beeinflusst die Ausbildungs- und Berufswahlentscheidung junger Menschen? Diskussionspapier des IÖW 69/18

Es liegen auch keine spezifischen wissenschaftlichen Studien vor, die direkt und empirisch den Einfluss von Astronaut*innen auf die gesellschaftliche Einstellung gegenüber Wissenschaft und Technologie untersuchen. Dies betrifft auch Wissenschaftskommunikation: Hier gibt es zwar zahlreiche Studien zur Wirkung und Bedeutung von Wissenschaftskommunikation im Allgemeinen, jedoch keine empirischen Studien, die explizit den Einfluss von Weltraumreisen auf die Wissenschaftskommunikation systematisch untersucht haben.²⁰⁸

Vor diesem Hintergrund sind als Proxy für die öffentliche Wahrnehmung von HRE im Weltraum die Ergebnisse des Eurobarometers zu Vertrauen in die Wissenschaft herangezogen worden.²⁰⁹ Der Eurobarometer zum Vertrauen in die Wissenschaft wird von der Europäischen Kommission in Auftrag gegeben und in mehr als 30 europäischen Ländern durchgeführt. Die Befragung richtet sich an Personen ab 15 Jahren mit Wohnsitz und Staatsangehörigkeit in einem EU-Mitgliedsstaat. Die Datenerhebung erfolgt meist als persönliche oder telefonische Interviews, zunehmend auch als computergestützte Online-Befragungen (CAWI). Die Stichprobe wird so gezogen, dass sie repräsentativ für die Bevölkerung des jeweiligen Landes ist, wobei Merkmale wie Alter, Geschlecht, Bildungsgrad und sozialer Status berücksichtigt werden. Die Fragen umfassen Einstellungen zu Wissenschaft und Technologie, Vertrauen in wissenschaftliche Institutionen, wahrgenommene Auswirkungen auf Gesellschaft und Alltag sowie Governance-Aspekte. Um internationale Vergleichbarkeit zu gewährleisten, werden die Fragen standardisiert und in die jeweiligen Landessprachen übersetzt. Die letzten Erhebungszeitpunkte des Eurobarometers waren die Jahre 2021 und 2024.²¹⁰ Der Anteil der Personen in Österreich die in den nächsten 20 Jahren positive oder negative Wirkungen durch Weltraumforschung erwarten, ist für die Erhebungszeitpunkte 2021 und stabil und beträgt 56% (positiv) bzw. 23% (negativ).²¹¹ Diese Werte liegen dabei deutlich unter dem Durchschnittswert für die EU27 Staaten: 65% positiv sowie 13% negativ.²¹² Für Schweden zeigt der Vergleich der Prozentanteile der Bevölkerung mit negativen Einstellungen zur Weltraumforschung einen Rückgang von 17% (Jahr 2021) auf 11% (Jahr (2024)). Da die Erhebung im Herbst 2024 stattgefunden hat und die Muninn Mission im Frühjahr desselben Jahres erfolgte, kann angenommen werden, dass dieser länderspezifische

²⁰⁸ Fenja De Silva-Schmidt, Liliann Fischer, Svea Krutisch, Ricarda Ziegler (2021), Wie wirkt Wissenschaftskommunikation? Praxisrelevante Erkenntnisse einer systematischen Literaturanalyse wissenschaftlicher Publikationen von 2010-2020, Impact Unit – Wirkung und Evaluation in der Wissenschaftskommunikation

²⁰⁹ Europäische Kommission (2025), Kenntnisse und Einstellungen der europäischen Bürger zu Wissenschaft und Technologie, EUROBAROMETER SPEZIAL 557

²¹⁰ Europäische Kommission (2025), Kenntnisse und Einstellungen der europäischen Bürger zu Wissenschaft und Technologie, EUROBAROMETER SPEZIAL 557, S. 6

²¹¹ Ders. S 90.

²¹² Ibid

Rückgang durch die Kurzzeitmission von Marcus Wandt induziert worden ist. Wird dieser einmalige „Markus Wandt Effekt“ auf den Kontext von Österreich übertragen, so würde in den Szenarien 3 und 4 ein Rückgang des Prozentsatzes von Personen mit negativer Einstellung zur Weltraumforschung von 23% auf 17% zu erwarten sein.

Diese Befunde decken sich weitgehend mit den Ergebnissen der Expert*innen-Interviews. Hier wurde mit Verweis auf aktuelle Debatten in sozialen Medien zum Bereich Satellitentechnologie darauf verwiesen, dass der Nutzen und die Relevanz von Space-Tech per se für Bürger*innen nicht automatisch transparent und nachvollziehbar ist; eine Astronaut*in kann das Technologiefeld demgegenüber angreifbar machen. Hier wurde auch der Coolness-Faktor einer Astronaut*in betont; diesem Faktor werden sowohl positive Effekte hinsichtlich der gesellschaftlichen Akzeptanz als mit Hinblick auf das Image von Österreich als Technologiepartner hervorgehoben. Es wurde in den Interviews auch wiederholt darauf hingewiesen, dass ein*e österreichisch*e Astronaut*in als ein patriotisches Projekt mit Einfluss sowohl auf nationalen Selbstwert eines kleinen Landes als auch auf Studien- und Berufsentscheidungen zu verstehen sein sollte.

6.3.3 Die Bewertung der Wirkungen im Szenariovergleich

Tabelle 17 bietet einen strukturierten Überblick über die Bewertung der erhobenen erwarteten Wirkungen für den Wirkungspfad Gesellschaft über die vier Szenarien hinweg. Eine 0 bedeutet hierbei, dass keine (zusätzliche) Wirkung zu erwarten ist; eine 1 steht für eine erkennbare Wirkung; eine 2 für eine signifikante Wirkung. Die Bewertungen wurden vom Projektteam auf Basis der Evidenzlage durchgeführt und in der Fokusgruppe am 24.04.2025 reflektiert und validiert.

Tabelle 17: Gesamtbewertung des Wirkungspfads Gesellschaft

		Szenario 1: „Weiter wie bisher“	Szenario 2: „Ausweitung der Wahlbeiträge nur Robotik“	Szenario 3: „Ausweitung der Wahlbeiträge Schwerpunkt Astronautik“	Szenario 4: „Weiter wie bisher plus Zukauf von Mission“
Gesellschaft: Impact	Einschätzung öffentliche Wahrnehmung von HRE	Öffentliche Wahrnehmung gleichbleibend		Erhöhte gesellschaftliche Akzeptanz von SpaceTech	

		Szenario 1: „Weiter wie bisher“	Szenario 2: „Ausweitung der Wahlbeiträge nur Robotik“	Szenario 3: „Ausweitung der Wahlbeiträge Schwerpunkt Astronautik“	Szenario 4: „Weiter wie bisher plus Zukauf von Mission“
Kriterien 6 und 7	Bewertung	0	0	1	1
	Einschätzung Mobilisierung für Nachwuchsrekrutierung	Keine mobilisierende Wirkung		Mobilisierende Wirkung	
	Bewertung	0	0	1	1

Quelle: Eigene Darstellung

Beim Betrachten der Tabelle wird deutlich, dass in den Szenarien 1 und 2 die geringste Wirkung zu erwarten sein dürfte; hier sind in keiner Wirkungsdimension (zusätzlichen) Wirkungen zu festzuhalten. Im Szenario 4 sind demgegenüber sowohl hinsichtlich der Einschätzung der Mobilisierung für die Nachwuchsrekrutierung als auch im Bereich der Wissensproduktion durch die Experimente innerhalb der Kurzzeitmission erkennbare Wirkungen zu erwarten. Das Szenario 3 verfügt über ein identisches Wirkungsprofil.

6.4 Der Wirkungspfad Wirtschaft

Tabelle 18 bietet für die Szenarien 1 bis 4 einen Überblick über die Wirkungshypothesen und Risiken im Bereich Wirtschaft.

Tabelle 18: Wirkungshypothesen und Risiken für den Wirkungspfad Wirtschaft

	Szenario 1: „Weiter wie bisher“	Szenario 2: „Ausweitung der Wahlbeiträge nur Robotik“	Szenario 3: „Ausweitung der Wahlbeiträge Schwerpunkt Astronautik“	Szenario 4: „Weiter wie bisher plus Zukauf von Mission“
Erwartete Wirkungen	Keine zusätzlichen Projekte: Erwartungen für Einnahmen bleiben auf dem Niveau der laufenden ESA Terra	Verbesserter Zugang österreichischer Unternehmen zu europäischen und	Verbesserter Zugang österreichischer Unternehmen zu europäischen und	Aus Mission mit privatem Anbieter keine zusätzlichen Impulse für österreichische Wirtschaft, da keine

	Szenario 1: „Weiter wie bisher“	Szenario 2: „Ausweitung der Wahlbeiträge nur Robotik“	Szenario 3: „Ausweitung der Wahlbeiträge Schwerpunkt Astronautik“	Szenario 4: „Weiter wie bisher plus Zukauf von Mission“
	Novae Periode (2022-2025)	internationalen Märkten	internationalen Märkten	Contracts nach ESA-Modell
		Mehr ESA-Projekte in Robotik; Gesteigerte Einnahmen sowohl aus ESA-, als auch aus internationalen Aufträgen	Mehr/größere ESA-Projekte in Astronautik: Gesteigerte Einnahmen sowohl aus ESA-, als auch aus internationalen Aufträgen	
		Mehr ESA-Projekte in Robotik; stärkere Impulse für Spin-off aus TU Graz, TU Wien etc.	Durch Projekte stärkere Impulse für Spin-off aus TU Graz, TU Wien etc.	
Risiken	Kein verbesserter Zugang österreichischer Unternehmen zu Märkten, da kein erweiterter Zugang zu ESA-Konsortien	Relativ geringe Marktgröße für rein robotische Projekte in Europa und international	Volatiles geopolitisches Umfeld erzeugt Unsicherheit hinsichtlich des Fortbestands des Artemis Programms in seiner jetzigen Form	Keine erhöhten ESA-Wahlbeiträge daher kein verbesserter Zugang österreichischer Unternehmen zu europäischen und internationalen Märkten

Quelle: Eigene Darstellung

Für das Szenario 1 sind bei Beibehaltung der aktuellen Höhe der Wahlbeiträge in der Terra Novae Programme Envelope (d.h. EUR 15,5 Mio.) in Folge des Geo-Return Prinzips der keine zusätzlichen Projekte zu erwarten. In Folge wird angenommen, dass auch die erwarteten Einnahmen aus ESA Contracts bis zum Jahr 2031 auf dem Niveau der laufenden Periode bleiben werden. Das wesentliche Risiko dieses Szenarios ist der weiterhin beschränkte Zugang österreichischer Unternehmen zu ESA-Konsortien und auch zu den relevanten Märkten für Weltraumtechnologie.

Für das Szenario 2 (d.h. erhöhte Wahlbeiträge i.d.H. von EUR 80 Mio. in Robotik) sind aufgrund des Geo-Return Prinzips sowohl ein verbesserter Zugang österreichischer Unternehmen zu europäischen und internationalen Märkten als auch ein Anstieg der Zahl der EESA-Projekte in Robotik zu erwarten. Dies führt in Folge sowohl zu gesteigerten Einnahmen aus

ESA-Projekten als auch aus internationalen Aufträgen. Eine Erhöhung der Anzahl der ESA-Projekte in Robotik führt auch zu stärkeren Impulsen für Spin-off aus der TU Graz, der TU Wien, FOTEC etc. Als Risiko ist demgegenüber die geringe Marktgröße für rein robotische Projekte in Europa und auf internationaler Ebene festzuhalten.

Für das Szenario 3 (d.h. erhöhte Wahlbeiträge i.d.H. von EUR 80 Mio. vor allem in Astronautik) sind analoge Wirkungen zu erwarten: Auch hier ist aufgrund des Geo-Return Prinzips sowohl ein verbesserter Zugang österreichischer Unternehmen zu europäischen und internationalen Märkten als auch ein Anstieg der Zahl der ESA-Projekte in Astronautik zu vermuten. Dies führt in Folge ebenfalls sowohl zu gesteigerten Einnahmen aus ESA-Projekten als auch aus internationalen Aufträgen. Eine Erhöhung der Anzahl der ESA-Projekte in Astronautik führt auch zu stärkeren Impulsen für Spin-off aus der TU Graz, TU Wien, FOTEC etc. Als Risiko ist im Szenario 3 das derzeit sehr volatile geopolitische Umfeld zu werten. Derzeit ist noch nicht klar, in welcher Form und mit welchem Zeitplan das Artemis Programm in den USA fortgeführt werden wird.

Die erwarteten Wirkungen im Szenario 4 sind analog zu Szenario 1 zu beschreiben; es sind bei Beibehaltung der aktuellen Höhe der Wahlbeiträge in der Terra Novae Programme Envelope (d.h. EUR 15,5 Mio.) in Folge des Geo-Return Prinzips der keine zusätzlichen Projekte zu erwarten. Der Zukauf einer Kurzzeitmission von einem privaten Anbieter wird vermutlich keine zusätzlichen Impulse für österreichische Wirtschaft schaffen, da in diesem Vertragsmodell keine Contracts nach ESA-Modell vorgesehen sind. Das wesentliche Risiko dieses Szenarios ist, wie bei Szenario 1, der weiterhin beschränkte Zugang österreichischer Unternehmen zu ESA-Konsortien und auch zu den relevanten Märkten für Weltraumtechnologie.

6.4.1 Die Evidenzlage für die Szenarien im Vergleich

6.4.1.1 Induzierte betriebliche Investitionen und Einnahmen

Tabelle 19 präsentiert die erwarteten zusätzlichen betrieblichen Investitionen sowohl für die laufende Terra Novae Periode 3 (2022-2025), als auch unter den Annahmen für die alternativen Szenarien. Szenario 4 entspricht dabei Szenario 1 und wird daher nicht separat dargestellt.

Tabelle 19: Zusätzliche betriebliche Investitionen in Mio. EUR zu ESA-Projekten im Vergleich

	2023-2025	Szenario 1: „Weiter wie bisher“ / Szenario 4	Szenario 2: „Ausweitung der Wahlbeiträge nur Robotik“	Szenario 3: „Ausweitung der Wahlbeiträge Schwerpunkt Astronautik“
Robotische Exploration	0,49	0,20	11,3	-
Astronautische Exploration	23,19	25,13	-	57,36

Quelle: Eigene Erhebung und Berechnung

Für die laufende Periode von 2022 bis 2025 haben die befragten Unternehmen angegeben jeweils Investitionen i.d.H. von EUR 485 Tsd. Im Bereich robotischer Exploration sowie EUR 23,2 Mio. im Bereich astronautische Exploration getätigt zu haben. In den Szenarien 1 und 4 werden bis zum Jahr 2031 zusätzliche betriebliche Investitionen i.d.H. von EUR 22 Tsd. Im Bereich Robotik bzw. EUR 25,1 Mio. im Bereich Astronautik erwartet. Unter Annahme der Erhöhung der Wahlbeiträge nur in Robotik (Szenario 2) liegt die Höhe der erwarteten zusätzlichen betrieblichen Investitionen bis 2031 bei EUR 11,3 Mio.; im Szenario 3 (erhöhte Wahlbeiträge überwiegend in Astronautik) bei EUR 57,4 Mio.

Es wird somit deutlich, dass in allen vier Szenarien im Bereich Astronautik deutliche Investitionseffekte zu erwarten sind. Für den Bereich der Robotik fallen diese im Szenario 2 deutlich, wenn auch nicht in der Höhe der Werte für Astronautik aus.

Tabelle 20 präsentiert die zusätzlichen betrieblichen Einnahmen im Bereich HRE für das das Szenario 1 (keine Erhöhung Wahlbeiträge) im Vergleich zur laufenden ESA Terra Novae Periode (2022-2025). Es wird dabei zwischen Einnahmen aus Terra Novae Industry Contracts, Einnahmen aus sonstigen Kontrakten in Europa sowie Einnahmen aus Kontrakten mit internationalen Partnern unterschieden.

Tabelle 20: Zusätzliche betriebliche Einnahmen in Mio. EUR – Szenario 1 / 4 im Vergleich mit der laufenden ESA Terra Novae Periode

Kategorie	2022-2025	2026-2031
Einnahmen aus Robotische ESA Terra Exploration	1,70	0,26
Novae Industry Astronautische Contracts Exploration	11,00	15,29
Einnahmen aus Robotische sonstigen Exploration	0,63	0,94
Kontrakten in Astronautische Europa Exploration	4,13	5,24
Einnahmen aus Robotische Kontrakten mit Exploration	2,71	4,70
internationalen Astronautische Partnern Exploration	92,95	150,72

Quelle: Eigene Erhebung und Berechnung

Es wird dabei deutlich, dass bereits in den Szenarien 1 und 4 (keine Erhöhung der Wahlbeiträge) gegenüber der laufenden ESA Terra Novae Periode ein moderates Wachstum in den betrieblichen Einnahmen zu erwarten ist. Diese ergeben sich aus dem fortgesetzten unternehmerischen Engagement der relevanten Firmen und dem Bestreben sich weiter (insbesondere in Drittländern) erfolgreich am Markt zu positionieren. Dies betrifft sowohl die erwarteten Einnahmen bis 2031 im Bereich Astronautik im Rahmen von ESA Terra Novae Industry Contracts (EUR 15,29 Mio.) als auch die erwarteten Einnahmen aus sonstigen Kontrakten in Europa (EUR 5,24 Mio.). Aus internationalen Kontrakten werden Einnahmen i.d.H. von EUR 150,72 Mio. erwartet. Die Zuwächse in den erwarteten Einnahmen im Bereich Robotik fallen demgegenüber deutlich niedriger aus.

Tabelle 21 stellt die zusätzlichen betrieblichen Einnahmen im Bereich HRE für das Szenario 2 (Erhöhung Wahlbeiträge nur in Robotik) jenen zur laufenden ESA Terra Novae Periode (2022-2025) gegenüber. Es wird dabei wieder zwischen Einnahmen aus Terra Novae Industry Contracts, Einnahmen aus sonstigen Kontrakten in Europa sowie Einnahmen aus Kontrakten mit internationalen Partnern unterschieden.

Tabelle 21: Zusätzliche betriebliche Einnahmen – Szenario 2 im Vergleich mit der laufenden ESA Terra Novae Periode, in Mio. EUR

Kategorie	2022-2025	2026-2031
Einnahmen aus ESA Terra Novae Industry Contracts	1,70	4,25
Einnahmen aus sonstigen Kontrakten in Europa	0,63	4,25
Einnahmen aus Kontrakten mit internationalen Partnern	2,71	13,60

Quelle: Eigene Erhebung und Berechnung

Im Szenario 2 sind in allen drei Einnahmekategorien deutliche Steigerungen bis zum Jahr 2031 zu erwarten. Für Einnahmen aus ESA Terra Novae Industry Contracts sind die EUR 4,25 Mio.; für die Einnahmen aus sonstigen Kontrakten in Europa ebenfalls EUR 4,25 Mio. und für Einnahmen aus Kontrakten mit internationalen Partnern rd. EUR 13,6 Mio.

Tabelle 22 stellt die zusätzlichen betrieblichen Einnahmen im Bereich HRE für das das Szenario 3 (Erhöhung Wahlbeiträge überwiegend in Astronautik) jenen zur laufenden ESA Terra Novae Periode (2022-2025) gegenüber. Es wird dabei wieder zwischen Einnahmen aus Terra Novae Industry Contracts, Einnahmen aus sonstigen Kontrakten in Europa sowie Einnahmen aus Kontrakten mit internationalen Partnern unterschieden. Auch im Szenario 3 sind in allen drei Einnahmekategorien deutliche Steigerungen bis zum Jahr 2031 zu erwarten. Für Einnahmen aus ESA Terra Novae Industry Contracts sind die EUR 46,02 Mio.; für die Einnahmen aus sonstigen Kontrakten in Europa EUR 46,57 Mio. und für Einnahmen aus Kontrakten mit internationalen Partnern EUR 257,34 Mio.

Resümierend lassen sich für alle vier Szenarien positive Einkommenseffekte konstatieren. Bereits bei einem Szenario 1 (weiter wie bisher) sowie im gleichen Ausmaß bei Szenario 4 entstehen für die befragten Unternehmen somit zusätzliche Einnahmen und Wertschöpfung in Österreich. Die Szenarien 2 (erhöhte Wahlbeiträge Robotik) und 3 (erhöhte Wahlbeiträge Astronautik) lassen demgegenüber deutlich höhere zusätzliche Einnahmen erwarten.

Tabelle 22: Zusätzliche betriebliche Einnahmen – Szenario 3 im Vergleich mit der laufenden ESA Terra Novae Periode, in Mio. EUR

Kategorie	2022-2025	2026-2031
Einnahmen aus ESA Terra Novae Industry Contracts	11,00	46,02
Einnahmen aus sonstigen Kontrakten in Europa	4,13	46,57
Einnahmen aus Kontrakten mit internationalen Partnern	92,95	257,34

Quelle: Eigene Erhebung und Berechnung

Die Einnahmenerwartungen der befragten Unternehmen im Bereich Robotik sind deutlich geringer als im Bereich Astronautik. Neben den sehr großen finanziellen Volumina der Projekte rund um den Lunar Gateway, die vor allem dem Bereich Astronautik zugeschrieben werden, könnten die Einnahmenerwartungen aber zusätzlich so weit unterschätzt werden, da anders als im Bereich Astronautik auch Synergien/Nebeneffekte im Bereich der terrestrischen Robotik zu erwarten sein dürften. Die befragten Unternehmen wurden dazu angehalten, lediglich Effekte im Bereich Weltraumökonomie zu berücksichtigen. Im Rahmen der Expert*innen-Diskussion wurde daran anknüpfend darauf hingewiesen, dass die Möglichkeiten einer direkten Übertragung von technologischen Errungenschaften in andere wirtschaftliche Bereiche (unterschiedliche zivile Anwendungen) im Bereich der Robotik tendenziell höher ist als im Fall der Astronautik.

6.4.2 Gesamtwirtschaftliche Effekte

In Ergänzung zu den direkten wirtschaftlichen Wirkungen, die oben diskutiert worden sind, werden im Folgenden die gesamtwirtschaftlichen Effekte für die vier Szenarien betrachtet.

Im Rahmen der Onlinebefragung wurde bei relevanten Unternehmen erhoben, inwieweit durch österreichische Wahlbeiträge bei der ESA im Bereich Exploration zusätzliche Einnahmen (Exportumsätze) ausgelöst werden können.

Der gesamtwirtschaftliche Effekt dieser zusätzlichen Nachfrage kann mit Hilfe von Input-Output Tabellen nachvollzogen werden. Input-Output-Tabellen (I-O-Tabellen) sind matrix-

strukturierte Darstellungen der Güter- und Leistungsströme zwischen den einzelnen Wirtschaftssektoren eines Landes oder einer Region innerhalb eines bestimmten Zeitraums. Die berücksichtigen damit auch die Abhängigkeiten zwischen den Sektoren.

Aus den I-O-Tabellen lässt sich über die sogenannte Leontief-Inverse ein Multiplikator-System ableiten. Hierbei ist A die Matrix der technischen Koeffizienten, deren Eintrag a_{ij} angibt, wie viele Einheiten des Gutes i zur Herstellung einer Einheit des Gutes j erforderlich sind. Die Leontief-Inverse ermöglicht es, die gesamtwirtschaftlichen Effekte einer Änderung der Endnachfrage – etwa durch zusätzliche Investitionen oder Konsumausweitungen – auf die Produktion aller Sektoren zu quantifizieren.

Für die Berechnung der gesamtwirtschaftlichen Effekte wurde die von der Statistik Austria 2021 veröffentlichte österreichische Input-Output-Tabelle herangezogen. Die zusätzliche Nachfrage, die von den Unternehmen gemeldet wurde, wurde für die Berechnung jenen Sektoren zugeschrieben, denen die meldenden Unternehmen primär zugeordnet sind. Diese Betrachtung weist Unschärfen auf, da wirtschaftliche Aktivitäten (bzw. Güter und Leistungen) im Bereich Weltraum nicht exakt abgegrenzt und erfasst werden. Multiplikatoren zeigen an, um welchen Faktor sich die Gesamtproduktion, die Wertschöpfung oder auch die Beschäftigung in der Wirtschaft erhöht, wenn die Endnachfrage in einem bestimmten Sektor um eine Einheit wächst.

Die in dieser Analyse verwendeten so genannten Typ-II Multiplikatoren umfassen den direkten, indirekten und induzierten Effekt eines Nachfrageschocks: Bei der Produktion eines Gutes steigt zunächst direkt der Produktionswert und die Wertschöpfung durch aufgewendete Löhne, Gehälter, Gewinne und Abschreibungen, während gleichzeitig indirekte Effekte über die Vorleistungsbeziehungen auftreten, weil für die Herstellung des Gutes weitere Güter und Dienstleistungen aus anderen Wirtschaftszweigen nachgefragt werden.

Aus dem so entstehenden zusätzlichen Einkommen (Löhne, Gehälter, Gewinne) resultieren schließlich induzierte Effekte, da die gestiegenen Konsumausgaben der privaten Haushalte wiederum weiteren Wertschöpfungs- und Produktionszuwachs in der Volkswirtschaft auslösen.

Der Gesamtmultiplikator setzt sich also aus direkten (im beauftragten Unternehmen), indirekten und induzierten Effekten zusammen. Es handelt sich dabei um eine Durchschnittsbetrachtung, in dem die wirtschaftlichen Verflechtungen einzelner Branchen entsprechend

dem Umfang der zusätzlichen Nachfrage berücksichtigt wurden, die die Unternehmen aus den jeweiligen Branchenbereichen gemeldet haben.

Die zusätzlichen Einnahmen (v.a. Exportumsätze) übersetzen sich mit dem Faktor 0,75 (Gesamtmultiplikator 0,74 im Bereich Robotik und 0,75 im Bereich Astronautik) in Wertschöpfung und mit einem Multiplikator von 1,92 im Bereich Robotik sowie 1,84 im Bereich Astronautik in den Produktionswert. D.h. eine zusätzliche Nachfrage von EUR 1 Mio. in den befragten Unternehmen übersetzt sich in rund EUR 750.000 zusätzlicher Wertschöpfung und regt eine zusätzliche Produktion in der gesamten österreichischen Wirtschaft von rund EUR 1,9 Mio. an.

Tabelle 23: Betriebliche Einnahmen, Wertschöpfung und Wertschöpfungsmultiplikatoren für die Szenarien 1 und 2 im Vergleich Tsd. EUR (robotische Exploration)

	2023-2025	Szenario 1: „Weiter wie bisher“	Szenario 2: „Ausweitung der Wahlbeiträge nur Robotik“
Einnahmen gesamt	5.040	5.890	23.733
Davon erzielte Bruttowertschöpfung	3.489	4.365	17.649
Wertschöpfungsmultiplikator	0,69	0,74	0,74

Quelle: Eigene Erhebung und Berechnung

Um die Wirkung eines Nachfrageschocks im Wirtschaftssystem einer Volkswirtschaft zu quantifizieren, wird oft auf das Verhältnis vom Gesamteffekt (entspricht dem induzierten Effekt) zum direkten Effekt zurückgegriffen. Dieser gibt an, welche zusätzlichen wirtschaftlichen Aktivitäten durch den Nachfrageschocks ausgelöst werden. Die jüngst veröffentlichten Referenzstudien der ESA, in Norwegen und Großbritannien haben diesen Effekt besonders hervorgehoben, weswegen er im Folgenden auch für die im Rahmen der Studie von den befragten Unternehmen geschätzten Nachfrageeffekte dargestellt wird.

Stellt man die gesamte (zusätzliche) Wertschöpfung ins Verhältnis zur direkten Wertschöpfung ergibt sich ein Multiplikator* von 1,99 (Referenz ESA 3,5²¹³, NO 3,6²¹⁴; UK 2,51²¹⁵). Dieser Multiplikator stellt nicht das Ausmaß der gesamtwirtschaftlichen Wirkung dar, sondern ein Maß, wie integriert die Wertschöpfungskette innerhalb des Sektors in dem primär nachgefragt wird ist (Verhältnis von direktem zu indirektem und induziertem Effekt).

Die Tabellen 24 und 25 bieten einen Überblick über die erzielten Einnahmen, die Bruttowertschöpfung sowie Wertschöpfungsmultiplikatoren in den Bereichen robotische und astronautische Exploration. Dabei werden die Werte für die Szenarien 1 bis 3 verglichen (Szenario 4 ist analog zu Szenario 1 zu interpretieren).

Tabelle 24: betriebliche Einnahmen, Wertschöpfung und Wertschöpfungsmultiplikatoren für die Szenarien 1 und 3 im Vergleich in Tsd. EUR (astronautische Exploration)

	2023-2025	Szenario 1: „Weiter wie bisher“	Szenario 3: „Ausweitung der Wahlbeiträge nur Astronautik“
Einnahmen gesamt	73.413	128.730	263.47
Davon erzielte Bruttowertschöpfung	34.658	42.510	86.883
Wertschöpfungsmultiplikator	0,68	0,75	0,75

Quelle: Eigene Erhebung und Berechnung

6.4.3 Indirekte wirtschaftliche Effekte

In Ergänzung zu den direkten und gesamtwirtschaftlichen Effekten werden im Folgenden die indirekten Wirkungen diskutiert. Tabelle 25 bietet einen Überblick zu den betrachteten Indikatoren.

²¹³ Euroconsult (2022), ESA Terra Novae Socioeconomic Impacts and Benefits Assessment: final Report
²¹⁴ Norwegian Space Agency (2024), Evaluering av industrielle ringvirkninger av norsk deltakelse i ESA-samarbeidet
²¹⁵ Technopolis (2022), Impact Evaluation of UK Investment in ESA, Technical Annex

Tabelle 25: Zusätzliche betriebliche Investitionen in Mio. EUR zu ESA-Projekten im Vergleich

	Szenario 1: „Weiter wie bisher“	Szenario 2: „Ausweitung der Wahlbeiträge nur Robotik“	Szenario 3: „Ausweitung der Wahlbeiträge Schwerpunkt Astronautik“	Szenario 4: „Weiter wie bisher plus Zukauf von Mission
Erleichterter Zugang zu Europ. und internationalen Märkten	Nein	Ja	Ja	Nein
Gründung von Start-ups im Bereich Space Exploration	8	37	37	8

Quelle: Eigene Erhebung

In allen Expert*innen-Interviews wurde die Einschätzung geteilt, dass eine Erhöhung der Wahlbeiträge als „Eintrittskarte“ in große Projekte auf dem europäischen Markt dienen kann. Die erfolgreiche Beteiligung an solchen Projekten schafft dann zusätzlich Zugänge zu internationalen Märkten. Derzeit müssen Beteiligungen an großen ESA-Projekten in Länder verlegt werden, die über einen hohen Geo-Return verfügen (wie bspw. Frankreich oder Deutschland). Aufbauend auf diesem qualitativen Befund kann somit festgehalten werden, dass die Szenarien 1 und 4 kein erleichterter Zugang zu europäischen und internationalen Märkten zu erreichen ist. In den Szenarien 2 und 3 ist mit einer Erhöhung der Wahlbeiträge demgegenüber mit einem verbesserten Marktzugang zu rechnen.

Die Abfrage von Dealroom²¹⁶ hat für die laufende ESA Terra Novae Periode (2022-2025) insgesamt 8 neue Start-ups im Bereich HRE ergeben. Unter der Annahme, dass diese Firmengründungen durch den Geo-Return der ESA-Wahlbeiträge für die Jahre 2022 bis 2025 induziert worden sind, wurde als Proxy der Quotient aus der Zahl der Firmengründungen geteilt durch die Summe der gezeichneten Wahlbeiträge in Mio. EUR in HRE gebildet. Es ergibt sich dabei ein Wert von 1,94 Firmengründungen pro 1 Mio. EUR Wahlbeiträge. Werden die Wahlbeiträge in HRE auf EUR 80 Mio. erhöht, so sind im Szenario 2 bzw. Szenario 3 von 2026 bis 2031 insgesamt jeweils 37 Firmengründungen zu erwarten. Für die Szenarien 1 und 4 ergibt sich auf dieser Basis ein geschätzter Wert von 8 Firmengründungen. In den Expert*innen-Interviews wurde darüber hinaus bestätigt, dass rund um die TU Wien, die TU Graz und die

²¹⁶ <https://austria.dealroom.co>; Abfrage erfolgt am 11.02.2025

FH Wiener Neustadt ein starkes Ökosystem für Gründer*innen im Bereich Antriebssysteme und zugehörige Schlüsseltechnologien vorhanden ist.

Im Rahmen der Expert*innen-Interviews wurde auch diskutiert, inwieweit eine deutliche Erhöhung der Wahlbeiträge internationale Strahlkraft entwickelt und betriebliche Standortentscheidungen nicht-österreichischer Unternehmen positiv beeinflussen könnte. Alle Interviewpartner*innen waren hier der Ansicht, dass auch eine erhöhte Summe i.d.H. von EUR 80 Mio. zu gering für die Attraktion neuer Unternehmen ist. Es wurde in mehreren Interviews aber auch darauf hingewiesen, dass niedrige österreichische Wahlbeiträge in HRE in der Vergangenheit bereits zur betrieblichen Standortverlagerung österreichischer Unternehmen in ESA-Länder mit hohen Wahlbeiträgen geführt haben (z.B. Deutschland oder Frankreich).

Die interviewten Expert*innen haben sich mehrheitlich auch skeptisch betreffend eines kurz- bis mittelfristigen Eintritts neuer österreichischer Unternehmen in den Bereich HRE in Folge erhöhter Wahlbeiträge gezeigt. Es herrschte weitgehend einhellige Meinung, dass durch hohe technische Anforderungen (d.h. Harsh Environments²¹⁷) und den in HRE dominierenden Einzelprojektcharakter hohe Eintrittsschwellen für neue Weltraum-unerfahrene Unternehmen existieren. Zugleich wurde aber auch darauf verwiesen, dass extern durch ESA finanzierte F&E einen Anreiz zum Kompetenzaufbau darstellen kann. Potenziale sind hier nach Ansicht der Expert*innen vor allem im Bereich Advanced Materials und KI gegeben.

6.4.4 Die Bewertung der Wirkungen im Szenariovergleich

Tabelle 26 bietet einen strukturierten Überblick über die Bewertung der erhobenen erwarteten Wirkungen für die Wirkungspfade Wissenschaft und Technologie über die vier Szenarien hinweg. Eine 0 bedeutet hierbei, dass keine (zusätzliche) Wirkung zu erwarten ist; eine 1 steht für eine erkennbare Wirkung; eine 2 für eine signifikante Wirkung. Die Bewertungen wurden vom Projektteam auf Basis der Evidenzlage durchgeführt und in der Fokusgruppe am 24.04.2025 reflektiert und validiert.

²¹⁷ Eine harsh environment (deutsch: raue Umgebung) ist ein Umfeld, das für technische Geräte oder Lebewesen extreme Bedingungen aufweist, die eine Herausforderung darstellen und möglicherweise zu Schäden führen können. Typische Merkmale sind extreme Temperaturen (sehr heiß oder sehr kalt), hohe Luftfeuchtigkeit, mechanische Belastungen wie Vibrationen und Stöße, aggressive Chemikalien, hohe Drücke, Staub und starke elektromagnetische Felder.

Tabelle 26: Gesamtbewertung des Wirkungspfads Wirtschaft

		Szenario 1: „Weiter wie bisher“	Szenario 2: „Ausweitung der Wahlbeiträge nur Robotik“	Szenario 3: „Ausweitung der Wahlbeiträge Schwerpunkt Astronautik“	Szenario 4: „Weiter wie bisher plus Zukauf von Mission“
Wirtschaft: Impact Kriterien 8, 9, 10 und 11	Einschätzung Einnahmen	Moderater Anstieg der Einnahmen im Vergleich zu 2022-2025	Gesteigerte Einnahmen aus ESA und internationalen Verträgen		Moderater Anstieg der Einnahmen im Vergleich zu 2022-2025
	Bewertung	1	2	2	1
	Einschätzung Markt Zugänge	Keine verbesserten Zugänge	Verbesserter Zugang zu europ. Und int. Märkten		Keine verbesserten Zugänge
	Bewertung	0	2	2	0
	Einschätzung Entrepreneurship	Keine zusätzlichen Impulse für Spin-offs	Stärkere Impulse für Spin-offs aus Forschung		Keine zusätzlichen Impulse für Spin-offs
	Bewertung	0	1	1	0
Wirtschaft: Vorleistungs- multiplikatoren	Einschätzung gesamtwirtschaftliche Wirkung	Moderate gesamtwirtschaftliche Wirkung in Österreich	Signifikante gesamtwirtschaftliche Wirkung in Österreich		Moderate gesamtwirtschaftliche Wirkung in Österreich
	Bewertung	1	2	2	1

Quelle: Eigene Darstellung

Es zeigt sich dabei, dass in den Szenarien 1 und 4 die geringste Wirkung zu erwarten sein dürfte; sowohl hinsichtlich der Marktzugänge als auch mit Hinblick auf Impulse im Bereich Entrepreneurship hier sind in keine zusätzlichen Effekte zu erwarten. Mit Hinblick auf die Einschätzung der betrieblichen Einnahmen sowie der gesamtwirtschaftlichen Bewertung sind in diesen Szenarien auch beim Beibehalten der aktuellen Höhe der Wahlbeiträge in HRE bereits moderate Zuwächse zu erwarten. In den Szenarien 2 und 3 sind demgegenüber sowohl signifikante Zuwächse bei den betrieblichen Einnahmen als auch bei den gesamtwirtschaftlichen Effekten zu erwarten. Die betrifft gleichermaßen die Bewertung des Zugangs zu europäischen und internationalen Märkten, auch hier kann in beiden Szenarien mit signifikanten Effekten gerechnet werden. Die Szenarien 2 und 3 lassen überdies auch erkennbare Wirkungen im Bereich Start-ups mit Bezug zu HRE erwarten.

7 Schlussfolgerungen

7.1 Einleitung

Szenarien verkörpern mögliche aber überspitzt dargestellte Alternativen der Zukunft, realisieren sich aber selten exakt in der skizzierten Form, sondern häufig auch als Hybrid der elaborierten Alternativen. Weil sich zentrale Einflussfaktoren unerwartet verändern können, sollten Handlungsoptionen immer robust im Verhältnis zu variierenden Rahmenbedingungen definiert werden. Nur robuste Handlungsoptionen gewährleisten, dass Strategien und Maßnahmen auch unter verschiedenen, teils widersprüchlichen Zukunftsszenarien wirksam bleiben und das Risiko von Fehlentscheidungen möglichst gering gehalten wird.²¹⁸

Dies berücksichtigend erfolgt der resümierende Vergleich der vier Wirkungsszenarien unter besonderer Berücksichtigung zweier gegenwärtig prägenden Umfeldbedingungen:

- Die aktuelle geopolitische Lage und deren weitere Entwicklung haben erheblichen Einfluss auf die Zukunft des Artemis-Programms der NASA. Das Artemis-Programm ist stark international ausgerichtet: Es basiert auf Kooperationen mit zahlreichen Partnerstaaten und Raumfahrtagenturen, darunter die ESA, JAXA und CSA, sowie auf den sogenannten Artemis Accords, denen inzwischen 54 Länder beigetreten sind. Diese breite internationale Unterstützung stärkt das Programm politisch und technologisch, macht es aber auch anfällig für geopolitische Spannungen. Eine Verlagerung der NASA-Prioritäten hätte direkte Auswirkungen auf die Zusammenarbeit mit der ESA, da viele europäisch-amerikanische Projekte eng miteinander verflochten sind. Sollte die NASA beispielsweise ihre Schwerpunkte verschieben – etwa durch Budgetkürzungen, strategische Neuausrichtung oder eine stärkere Fokussierung auf andere Ziele als den Mond –, könnte dies gemeinsame Programme gefährden. Die ESA ist in zahlreiche NASA-geführte Mondprogramme eingebunden, etwa durch das europäische Servicemodul für Orion und Beiträge zu Lunar Gateway. Budgetkürzungen oder strategische Änderungen auf US-Seite könnten diese Programme verzögern oder

²¹⁸ Gausemeier, J.; Fink, A., Schlake, O. (1995), Szenariomanagement, Planen und Führen mit Szenarien. Hanser Verlag.

gefährden, was die ESA zwingt, Alternativen zu prüfen und ihre Strategie neu auszurichten.²¹⁹

- Die Sicherstellung budgetärer Ressourcen entscheidet mit welcher Konsequenz und Nachhaltigkeit ein Engagement im Bereich Weltraumexploration verfolgt werden kann und sich dementsprechend auch Wirkungen entfalten können. Derzeit existieren faktische kaum budgetpolitischen Spielräume für eine Ausweitung der ESA-Wahlbeiträge für Österreich. Der österreichische Staatshaushalt befindet sich derzeit in einer angespannten Lage, die maßgeblich von einer schwachen Wirtschaftsentwicklung, gestiegenen Ausgaben und einem deutlich erhöhten Budgetdefizit geprägt ist. Nach aktuellen Zahlen lag das Budgetdefizit 2024 bei 4,7 Prozent des Bruttoinlandsprodukts (BIP), was einen deutlichen Verstoß gegen die Maastricht-Grenze von 3 Prozent darstellt und Österreich in den Fokus eines möglichen EU-Defizitverfahrens rückt.²²⁰ Die österreichische Bundesregierung plant ein umfassendes Maßnahmenpaket, um das Budgetdefizit zu reduzieren. Der Budgetentwurf für die Jahre 2025 und 2026 sieht massive Einsparungen vor und lässt darüber hinaus auch mittelfristig einen eingeschränkten Handlungsspielraum erwarten. Im Zentrum (das betrifft rd. zwei Drittel des Sanierungsvolumens) stehen dabei Ausgabenkürzungen. Dies betrifft die Redimensionierung von Förderungen, Verschiebung von Vorhaben, Effizienzsteigerungen in der Verwaltung der Bundesministerien und langfristige Reformen in den Bereichen Gesundheit, Pensionen und Förderungen.²²¹

7.2 Resümierender Vergleich der vier Szenarien

Tabelle 27 fasst die jeweiligen im Kapitel 6 erhobenen und diskutierten Vor- und Nachteile der vier alternativen Szenarien zusammen:

²¹⁹ <https://www.it-boltwise.de/europaeische-raumfahrtagentur-prueft-auswirkungen-von-nasa-budgetkuerzungen.html>

²²⁰ <https://www.falter.at/zeitung/20250408/wie-kam-es-dazu-und-wie-kommen-wir-da-wieder-heraus>

²²¹ Parlament Österreich – Budget Dienst (2025), Umsetzungsstand der Budgetkonsolidierung und geplante Offensivmaßnahmen, Analyse

Tabelle 27: Vor- und Nachteile der Szenario-Optionen im Vergleich

	Szenario 1: „Weiter wie bisher“	Szenario 2: „Ausweitung der Wahlbeiträge nur Robotik“	Szenario 3: „Ausweitung der Wahlbeiträge Schwerpunkt Astronautik“	Szenario 4: „Weiter wie bisher plus Zukauf von Mission“
Vorteile		Positive Impulse für Projekte und Publikationen	Positive Impulse für Projekte und Publikationen	kurzfristige positive Wirkung auf Wissenschaft, Vernetzung und Publikationen
	Moderater Anstieg der F&E Beschäftigten im Vergleich zur laufenden Periode	Deutlicher Anstieg der F&E Beschäftigten	Deutlicher Anstieg der F&E Beschäftigten	Moderater Anstieg der F&E Beschäftigten im Vergleich zur laufenden Periode
		Neue Zugänge zu europäischen Forschungsnetzwerken	Neue Zugänge zu europäischen Forschungsnetzwerken	
		Positive Impulse für neue Patente und Technologietransfer	Positive Impulse für neue Patente und Technologietransfer	
	Moderater Anstieg der betrieblichen Einnahmen aus ESA und internationalen Aufträgen	Deutlicher Anstieg der betrieblichen Einnahmen aus ESA und internationalen Aufträgen	Deutlicher Anstieg der betrieblichen Einnahmen aus ESA und internationalen Aufträgen	Moderater Anstieg der betrieblichen Einnahmen
		Verbesserter Zugang zum europäischen Markt	Verbesserter Zugang zum europäischen Markt	
		Positive Impulse für Spin-offs	Positive Impulse für Spin-offs	
	Moderate gesamtwirtschaftliche Wirkung in Österreich	Signifikante gesamtwirtschaftliche Wirkung in Österreich	Signifikante gesamtwirtschaftliche Wirkung in Österreich	Moderate gesamtwirtschaftliche Wirkung in Österreich
	Keine zusätzlichen Ausgaben durch öffentliche Hand notwendig		Erhöhte gesellschaftliche Akzeptanz von SpaceTech	Erhöhte gesellschaftliche Akzeptanz von SpaceTech
			mobilisierende Wirkung im Bereich Bildung (MINT)	mobilisierende Wirkung im Bereich Bildung (MINT)
Nachteile	Keine Impulse für zusätzliche Projekte und Publikationen	Keine mobilisierende Wirkung im Bereich Bildung (MINT)	Unsicherheit der abgeschätzten Wirkungen durch zunehmend volatile	Keine zusätzlichen Impulse für Projekte und Publikationen

	Szenario 1: „Weiter wie bisher“	Szenario 2: „Ausweitung der Wahlbeiträge nur Robotik“	Szenario 3: „Ausweitung der Wahlbeiträge Schwerpunkt Astronautik“	Szenario 4: „Weiter wie bisher plus Zukauf von Mission“
			Entwicklungen in den USA betreffend NASA	
	Kein verbesserter Zugang zu europäischen Netzwerken	Keine positiven Impulse für die öffentliche Wahrnehmung von SpaceTech	Deutlich erhöhte Ausgaben durch öffentliche Hand notwendig	Kein verbesserter Zugang zu internationalen Netzwerken
	Patente und Technologietransfer auf Niveau der laufenden Periode	Deutlich erhöhte Ausgaben durch öffentliche Hand notwendig		Patente und Technologietransfer auf Niveau der laufenden Periode
	Kein verbesserter Zugang zum europäischen Markt			Kein verbesserter Zugang zum europäischen Markt
	Keine zusätzlichen Impulse für Spin-offs			Keine zusätzlichen Impulse für Spin-offs
	Keine mobilisierende Wirkung im Bereich Bildung (MINT)			Hohe Zusatzausgaben für Kauf von privater Mission notwendig
	Keine positiven Impulse für die öff. Wahrnehmung von SpaceTech			

Quelle: Eigene Darstellung

Für das Szenario 1 „Weiter wie bisher“ zeigt sich dabei, dass auch ohne eine Ausweitung der Wahlbeiträge Österreichs im Bereich HRE zumindest moderate positive direkte und indirekte wirtschaftliche Effekte zu erwarten sind. Diese ergeben sich aus dem fortgesetzten unternehmerischen Engagement der relevanten Firmen und dem Bestreben sich weiter (insbesondere in Drittländern) erfolgreich am Markt zu positionieren. Gleiches gilt auch für die Entwicklung der F&E-Beschäftigten in den relevanten Unternehmen.

Dem stehen jedoch eine ganze Reihe von möglichen Nachteilen gegenüber: Zum einen sind keine Impulse für zusätzliche Projekte im Bereich HRE und damit auch Publikationen gegeben, zum anderen ist, in Folge des Geo-Return Prinzips, auch kein verbesserter Zugang zu

europäischen Forschungsnetzwerken zu erwarten. Das Potenzial für Patente und Technologietransfer wird aller Voraussicht nach auf dem Niveau der laufenden ESA Terra Novae Periode verbleiben und es sind auch keine zusätzlichen Impulse für Spin-offs oder ein verbesserter Zugang zu europäischen Märkten zu erwarten. In Ermangelung einer astronautischen Mission kann weder mit einer mobilisierenden Wirkung im Bereich Bildung (MINT), noch mit positiven Impulsen für die öffentliche Wahrnehmung von SpaceTech in Österreich gerechnet werden.

Im Szenario 2 führt die Ausweitung der österreichischen Wahlbeiträge auf EUR 80 Mio. im Bereich der Robotik sowohl zu einem deutlichen Anstieg der betrieblichen Einnahmen aus Verträgen mit der ESA und internationalen Aufträgen als auch zu signifikanten gesamtwirtschaftlichen Effekten in Österreich. Es sind darüber hinaus auch positive Impulse für Spin-offs und ein deutlich verbesserter Zugang zum europäischen Markt zu erwarten. In Ergänzung dazu kann zum einen von positiven Impulsen für zusätzliche Projekte und Publikationen ausgegangen werden, zum anderen ist mit einem deutlichen Anstieg der F&E Beschäftigten in österreichischen Unternehmen mit Schwerpunkt robotische Exploration zu rechnen. Weiters schaffen die erhöhten Wahlbeiträge sowohl Zugänge für österreichische Spieler*innen zu europäischen Forschungsnetzwerken, als auch positive Impulse für neue Patente und Technologietransfer in Österreich.

Nachteile im Szenario 2 sind demgegenüber die fehlende mobilisierende Wirkung im Bereich Bildung (MINT) durch eine österreichische Astronaut:in sowie das Ausbleiben von positiven Impulsen für die öffentliche Wahrnehmung von Weltraumforschung und -technologie. In Ermangelung einer astronautischen Mission sind in diesem Szenario auch keine positiven Impulse für die öffentliche Wahrnehmung von SpaceTech in Österreich zu erwarten.

Die Vorteile des Szenarios 3 „Ausweitung des Österreichischen Wahlbeiträge nur Astronautik“ sind sehr ähnlich gelagert wie jene von Szenario 2: Es ist auch hier sowohl mit einem deutlichen Anstieg der betrieblichen Einnahmen aus Verträgen mit der ESA und internationalen Aufträgen als auch zu signifikanten gesamtwirtschaftlichen Effekten in Österreich zu rechnen. Zusätzlich sind auch positive Impulse für Spin-offs und ein deutlich verbesserter Zugang zum europäischen Markt zu erwarten. Weiters kann sowohl von positiven Impulsen für zusätzliche Projekte und Publikationen ausgegangen werden, als auch von einem deutlichen Anstieg der F&E Beschäftigten in österreichischen Unternehmen mit Schwerpunkt astronautische Exploration. Die erhöhten Wahlbeiträge schaffen sowohl Zugänge für österreichische Spieler*innen zu europäischen Forschungsnetzwerken, als auch positive Impulse

für neue Patente und Technologietransfer in Österreich. Hinzu kommen durch die astronautische Mission noch eine mobilisierende Wirkung im Bereich Bildung (MINT), sowie positive Impulse für die öffentliche Wahrnehmung von SpaceTech in Österreich.

Der wesentliche Nachteil von Szenario 3 liegt in der aktuell sehr unsicheren Zukunft des Artemis Programms der NASA: Eine starke Redimensionierung oder gar eine Beendigung des Programms hätte naturgemäß weit über die USA hinaus sehr starke Auswirkungen auf die aktuellen und geplanten Aktivitäten im Bereich astronautische Exploration.

Szenario 4 „Weiter wie bisher + Zukauf von privater Mission“ zeigt zum einen, dass auch ohne eine Ausweitung der Wahlbeiträge Österreichs im Bereich HRE zumindest moderate positive direkte und indirekte wirtschaftliche Effekte zu erwarten sind, zum anderen sind in Folge der zugekauften privaten astronautischen Mission sowohl eine mobilisierende Wirkung im Bereich Bildung (MINT), als auch positive Impulse für die öffentliche Wahrnehmung von SpaceTech in Österreich zu erwarten. Dem stehen, sehr ähnlich wie in Szenario 1, die folgenden Nachteile gegenüber: Erstens sind keine Impulse für zusätzliche Projekte im Bereich HRE und damit auch Publikationen gegeben, zweitens ist, in Folge des Geo-Return Prinzips, auch kein verbesserter Zugang zu europäischen Forschungsnetzwerken zu erwarten. Das Potenzial für Patente und Technologietransfer wird aller Voraussicht nach auf dem Niveau der laufenden ESA Terra Novae Periode verbleiben und es sind auch keine zusätzlichen Impulse für Spin-offs oder ein verbesserter Zugang zu europäischen Märkten zu erwarten.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Liste der Interviewpartner*innen, Vertreter*innen in Österreich.....	16
Tabelle 2: ESA-Wahlbeiträge in HRE von 2012 bis 2022, in Mio. EUR	43
Tabelle 3: Rückflüsse nach Österreich aus ESA Contracts im Bereich HRE, 2012-2024	45
Tabelle 4: Beispielhafte österreichische Schlüsselhandelnde im Bereich HRE	48
Tabelle 5: Projektbeteiligungen in Space Research sowie HRE in H2020 und HE, 2020-2025	52
Tabelle 6: Balassa Indexwerte für die Beteiligung in H2020 und Horizon Europe Projekten im Bereich Exploration, 2020-2025	54
Tabelle 7: Die vier Szenarien im Überblick.....	59
Tabelle 8: Festlegung der Impacts für die vier Szenarien	65
Tabelle 9: Wirkungshypothesen und Risiken für den Wirkungspfad Wissenschaft	68
Tabelle 10: Wirkungshypothesen und Risiken für den Wirkungspfad Technologie	69
Tabelle 11: Wissensproduktion und Zugang zu Forschungspartnerschaften in HRE.....	71
Tabelle 12: Technologieproduktion und Aufbau neuer technologischer Kompetenzen in HRE	72
Tabelle 13: Durch Projekte in HRE erwartete Wahrscheinlichkeit von Produkt- und Prozessinnovationen, 2026-2031.....	73
Tabelle 14: Gesamtbewertung der Wirkungspfade Wissenschaft und Technologie.....	75
Tabelle 15: Wirkungshypothesen und Risiken für den Wirkungspfad Gesellschaft	76
Tabelle 16: Gesellschaftliche Wirkungen in HRE.....	77
Tabelle 17: Gesamtbewertung des Wirkungspfads Gesellschaft.....	79
Tabelle 18: Wirkungshypothesen und Risiken für den Wirkungspfad Wirtschaft.....	80
Tabelle 19: Zusätzliche betriebliche Investitionen in Mio. EUR zu ESA-Projekten im Vergleich.....	83
Tabelle 20: Zusätzliche betriebliche Einnahmen in Mio. EUR – Szenario 1 / 4 im Vergleich mit der laufenden ESA Terra Novae Periode	84
Tabelle 21: Zusätzliche betriebliche Einnahmen – Szenario 2 im Vergleich mit der laufenden ESA Terra Novae Periode, in Mio. EUR	85
Tabelle 22: Zusätzliche betriebliche Einnahmen – Szenario 3 im Vergleich mit der laufenden ESA Terra Novae Periode, in Mio. EUR	86
Tabelle 23: Betriebliche Einnahmen, Wertschöpfung und Wertschöpfungsmultiplikatoren für die Szenarien 1 und 2 im Vergleich Tsd. EUR (robotische Exploration)	88
Tabelle 24: betriebliche Einnahmen, Wertschöpfung und Wertschöpfungsmultiplikatoren für die Szenarien 1 und 3 im Vergleich in Tsd. EUR (astronautische Exploration).....	89

Tabelle 25: Zusätzliche betriebliche Investitionen in Mio. EUR zu ESA-Projekten im Vergleich.....	90
Tabelle 26: Gesamtbewertung des Wirkungspfad's Wirtschaft	92
Tabelle 27: Vor- und Nachteile der Szenario-Optionen im Vergleich	95
Tabelle 28: Verteilung der Kompetenzen der Unternehmen im Explorationsbereich (n=16)	135
Tabelle 29: Beteiligung in Programmbereichen (n=16)	137
Tabelle 30: F&E Kapazitätsaufbau in der Periode 2023-2025 insgesamt (n=16).....	139
Tabelle 31: Betriebliche Einnahmen und Investitionen insgesamt in Tsd. EUR (n=16)	139
Tabelle 32: Szenario 1 & 4 - F&E Kapazitätsaufbau (n=14)	140
Tabelle 33: Szenario 1 & 4- betriebliche Investitionen und Einnahmen in EUR (n=14).....	140
Tabelle 34: Szenario 2 und 3 - F&E Kapazitätsaufbau (n=12)	141
Tabelle 36: Betriebliche Einnahmen und Investitionen 2026-2031 Szenario 1 und 2 im Vergleich (n=12)	142
Tabelle 37: Szenario 2 - erwartete direkte wirtschaftliche Effekte 2032-2040 im Vergleich zu Szenario 1 (N=12).....	143
Tabelle 38: Szenario 2 - erwartete indirekte Effekte bis 2031 erwartete indirekte Effekte im Vergleich zu Szenario 1 (N=12).....	144
Tabelle 39: Szenario 2 - erwartete indirekte Effekte bis 2040 im Vergleich zu Szenario 1 (n=10)	145
Tabelle 40: Betriebliche Einnahmen und Investitionen 2026-2031 Szenario 1 und 3 im Vergleich (n=12)	146
Tabelle 41: Szenario 3 - erwartete direkte wirtschaftliche Effekte 2032-2040 (n=10).....	147
Tabelle 42: Szenario 3 - erwartete indirekte Effekte bis 2031 im Vergleich zu Szenario 1 (n=12)	148
Tabelle 43: Szenario 3 - erwartete indirekte Effekte bis 2040 im Vergleich zu Szenario 1 (n=10)	149
Tabelle 44: Überblick über verfügbare Wirkungsanalysen zu astronautischer und / oder robotischer Exploration.....	150

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kollaborationen österreichischer Organisationen (gewichtet, mind. 2 Verbindungen).....	53
---	----

Literaturverzeichnis

Austrospace (2023), Annual Report 2022.

Barjak, F.; Heimsch, F.; Thees, O. (2023), Dienstleistungsauftrag zur Erhebung des österreichischen Weltraumsektors, Abschlussbericht

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2021), Österreichische Weltraumstrategie

Bundesministerium für Landesverteidigung (2023), Österreichische Militärische Weltraumstrategie 2035+

Brimatech (2011), Ö-Space, Austrian Space Industry and Research: Database of Market Participants

De Silva-Schmidt, F., Fischer, L., Krutisch, S., Ziegler, R. (2021), Wie wirkt Wissenschaftskommunikation? Praxisrelevante Erkenntnisse einer systematischen Literaturanalyse wissenschaftlicher Publikationen von 2010-2020, Impact Unit – Wirkung und Evaluation in der Wissenschaftskommunikation

European Space Agency (2024), ESA Agenda 2025. Make Space for Europe

European Space Agency (2024), ESA Strategy 2040, European Space Agency Council

European Space Agency (2022), Terra Novae 2030+ Strategy Roadmap

European Space Policy Institute (2023), Future of Space Exploration, Strategic Scenarios for European Space Exploration 2040-2060.

Euroconsult (2022), ESA Terra Novae Socioeconomic Impacts and Benefits Assessment: final Report

Europäische Kommission (2025), Kenntnisse und Einstellungen der europäischen Bürger*innen zu Wissenschaft und Technologie, EUROBAROMETER SPEZIAL 557

Gausemeier, J.; Fink, A., Schlake, O. (1995), Szenariomanagement, Planen und Führen mit Szenarien. Hanser Verlag.

Luxembourg Space Agency (2022), Strategie spatiale 2023-2027

Ria Müller, R., Michael Kreß-Ludwig, M., Mohaupt, F., von Drachenfels, M., Anne Heitmann, A., Gorsky, A. (2018), Warum (nicht) MINT? Was beeinflusst die Ausbildungs- und Berufswahlentscheidung junger Menschen? Diskussionspapier des IÖW 69/18

Norwegian Space Agency (2024), Evaluering av industrielle ringvirkninger av norsk deltakelse i ESA-samarbeidet

Parlament Österreich – Budget Dienst (2025), Umsetzungsstand der Budgetkonsolidierung und geplante Offensivmaßnahmen, Analyse

Rothschild, W. (1976), Putting it all together. A guide to strategic thinking. AMACOM

Technopolis (2022), Impact Evaluation of UK Investment in ESA, Technical Annex

The Danish Government (2021), Denmark's national Space Strategy, Update of strategic objectives

Abkürzungen

Abkürzung	Erklärung
BRICS	Brasilien, Russland, Indien, China und Südafrika
CSA	Canadian Space Agency
CLPS	Commercial Lunar Payload Services
CORDIS	Community Research and Development Information Service
ESA	European Space Agency (Europäischen Weltraumorganisation)
ESM	European Service Module
EU	Europäische Union
EUMETSAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
F&E	Forschung und Entwicklung
FH	Fachhochschule
FTI	Forschung, Technologie und Innovation
FOTEC	FOTEC - Forschungs- & Technologietransfer GmbH
HRE	Human and Robotic Exploration (Astronautische und robotische Exploration)
I-O-Tabelle	Input-Output-Tabelle
ISRO	Indian Space Research Organisation
ISRU	In-Situ Resource Utilization
ISS	Internationale Raumstation
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
KASA	Korea AeroSpace Administration
KI	Künstliche Intelligenz
KMU	Klein- und Mittelunternehmen
LEO	Low Earth orbit
LSI	Large System Integrator
MINT	Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik

Abkürzung	Erklärung
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NO	Norge (Norwegen)
ÖAW	Österreichische Akademie der Wissenschaften
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
RTO	Research and Technology Organisation
UK	United Kingdom (Vereinigtes Königreich)
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
VAE	Vereinigte Arabische Emirate
VZÄ	Vollzeitäquivalent

8 Anhang 1: Europäische Vergleichsländer

Die dargestellten Informationen im folgenden Abschnitt setzten sich aus den Ergebnissen der Internetrecherche zu den nationalen Weltraumstrategien der behandelten Nationen, sowie den Ergebnissen der Interviews mit ESA-Vertreter*innen der jeweiligen Nationen zusammen. Interviews wurden mit Vertreter*innen aller hier beschriebenen Nationen, mit Ausnahme Ungarn und Belgien, geführt.

8.1 Belgien

Für Belgien stellt der Weltraumbereich eine Priorität dar, das zeigt sich auch insofern dadurch, dass Belgien der fünftgrößte Beitragszahler der ESA ist. Dies ist auf eine langfristig ausgelegte Raumfahrtspolitik zurückzuführen. Die Weltraumstrategie ist auf die Förderung von Wissenschaft und Industrie, die Stärkung internationaler Wettbewerbsfähigkeit sowie auch eigenständige Missionen ausgelegt.²²² Die Präsenz von Weltraumaktivitäten in Belgien wird auch durch die zahlreichen Angebote für die Öffentlichkeit sichtbar. Um nur einige zu nennen, gibt es das Euro Space Center²²³, welches zur Wissenschaftskommunikation mit der Öffentlichkeit zu dem breiten Thema rund um Weltraum dient. Weitere Initiativen der Wissenschaftskommunikation werden von dem „Belgian Science Policy Office (BELSPO)“ gestartet, welches auch ein wichtiger Handelnder ist, wenn es darum geht, die Weltraumaktivitäten in Belgien voranzutreiben, so wurden beispielsweise die Space Talks für die Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.²²⁴ Der Erfolg Belgiens im Weltraumbereich lässt sich auf die langfristige Strategie zurückzuführen und darauf, dass Initiativen und Strukturen geschaffen wurden, die von der Politik unabhängig sind.

Obwohl Belgien ein kleinerer Staat ist, ist der Weltraum Sektor im Vergleich zu anderen Staaten sehr breit aufgestellt. Die Stärkung der Industrie durch Weltraumaktivitäten, welche in der Weltraumstrategie verankert ist, ließ sich sichtbar umsetzen und auch halten. Belgien konnte dies durch die erfolgreiche Kooperation der drei Weltraumorganisationen,

²²² https://www.belspo.be/belspo/space/bepolicy_en.stm

²²³ <https://www.eurospacecenter.be/en>

²²⁴ https://www.belspo.be/belspo/SpaceTalks/index_en.stm

welche die drei Regionen von Belgien repräsentieren, verwirklicht werden.²²⁵ Belgien hat sich auch als Zentrum der Europäischen Union eine Unabhängigkeit und Autonomie verschafft und ist stolz darauf, dass wichtige Projekte an der Spitze der EU-Weltraumforschung in belgischer Leitung liegen.²²⁶

8.1.1 Robotische Exploration

Belgien hat einen bedeutenden Beitrag zur wissenschaftlichen Forschung und Technologieentwicklung für Weltraummissionen geleistet, die größtenteils durch Institutionen wie das Königlich-Belgische Institut für Weltraum-Aeronomie (BIRA-IASB) koordiniert werden. Das Land ist seit den Anfängen der ESA ein aktives Mitglied und leistet finanzielle und wissenschaftliche Beiträge zu wichtigen Programmen, darunter interplanetare Missionen wie Mars Express und Erdbeobachtungssatelliten. Belgien spielte auch historisch eine Rolle bei Höhenforschungsraketen, Satelliteninstrumenten und Stromversorgungssystemen für europäische Satelliten und festigte damit seine industrielle und wissenschaftliche Basis.

Belgische Einrichtungen arbeiten an hochmodernen Projekten wie der PROBA-Satellitenserie, die innovative Weltraumtechnologie und -instrumentierung demonstriert und mit präzisen autonomen Raumfahrzeugoperationen zur Erdbeobachtung und Sonnenforschung beiträgt. Belgische Forschungsinstitute und Unternehmen beteiligen sich auch an Horizon Europe und ESA-geführten Projekten wie ASAP, das den Einsatz von KI zur Automatisierung von Weltraummissionen in den Vordergrund stellt, und DUSTER, das Instrumente zur Analyse und Minderung von Gefahren durch Mondstaub entwickelt – eine entscheidende Herausforderung für Roboterforscher auf dem Mond und anderen Himmelskörpern. Die Rolle Belgiens in der Weltraumrobotik umfasst Beiträge zur Entwicklung von Bordsoftware, Instrumentierung und Subsystemen. Das Land ist an der Konstruktion von Roboterplattformen beteiligt, die komplexe Aufgaben wie die Montage von Strukturen und die autonome Durchführung wissenschaftlicher Experimente auf Planetenoberflächen übernehmen können. Belgische akademische Einrichtungen fördern das Fachwissen im Bereich Weltraumrobotik durch Bildungsprogramme und arbeiten an innovationsorientierten Projekten der Industrie mit. Hightech-Unternehmen wie Thales Alenia Space Belgium entwickeln auch Roboter- und Mechatroniksysteme, die Astronauten in Umgebungen mit geringer Schwerkraft und rauen Bedingungen unterstützen und Aktivitäten in Druckkabinen und außerhalb von

²²⁵ <https://www.discoveringbelgium.com/the-belgian-space-industry/>

²²⁶ https://hadea.ec.europa.eu/news/brussels-stars-discover-five-belgian-led-projects-forefront-eu-space-research-2024-02-26_en

Raumfahrzeugen ermöglichen. Die Bemühungen Belgiens im Bereich der Weltraumrobotik sind eng mit der Förderung der Autonomie und Zusammenarbeit von Multi-Roboter-Teams für die Planetenforschung verbunden, wobei der Schwerpunkt auf Widerstandsfähigkeit, Sicherheit und Anpassungsfähigkeit in unvorhersehbaren Weltraumumgebungen liegt.

8.1.2 Astronautische Exploration

Dass Belgien eine Weltraumnation ist, spiegelt sich auch in der astronautischen Exploration wider. Belgien blickt auf eine bemerkenswerte Geschichte und aktive Präsenz zurück, die von bahnbrechenden Errungenschaften und kontinuierlichen Beiträgen zu wichtigen internationalen Missionen geprägt ist. Der erste Astronaut des Landes, Dirk Frimout, flog 1992 an Bord der NASA-Space-Shuttle-Mission STS-45 und markierte damit Belgiens Einstieg in die bemannte Raumfahrt. Ihm folgte Frank De Winne, der 2009 als erster Europäer Kommandant der Internationalen Raumstation (ISS) wurde, nachdem er bereits 2002 an Bord der ISS gewesen war. Das belgische Erbe in der Raumfahrt wird von Raphaël Liégeois fortgesetzt, der als Teil der ESA-Astronautenklasse 2022 ausgewählt wurde und voraussichtlich um 2026 zur ISS fliegen wird, was das anhaltende Engagement Belgiens für die bemannte Weltraumforschung unterstreicht.²²⁷

Auf industrieller Ebene haben belgische Unternehmen Weltraummissionen unterstützt, indem sie wichtige Komponenten für Raumfahrzeuge und Nutzlasten entwickelt, sich an Bodeninfrastrukturmaßnahmen beteiligt und ihre Rolle im internationalen Weltraumsektor schrittweise ausgebaut haben. Belgien verfügt außerdem über einen strukturierten Rechtsrahmen, der mit internationalen Verträgen über den Weltraum im Einklang steht und verantwortungsvolle, sichere und nachhaltige Raumfahrtaktivitäten unterstützt.

8.2 Dänemark

Dänemarks Beteiligung an Weltraumaktivitäten gehen bis in die 1980er Jahre zurück. Dänemark war in die Konstruktion der internationalen Raumstation und weitere wissenschaftliche Programme mit Weltraumbezug involviert. Die bisherige Weltraumstrategie von Däne-

²²⁷ <https://pantheon.world/profile/occupation/astronaut/country/belgium>

mark, welche 2021 veröffentlicht wurde, wurde im Dezember 2024 von einer neuen Strategie abgelöst, welche die Prioritäten bis 2035 festhält.²²⁸ In der bisherigen Strategie wurde der Fokus, ähnlich wie in Schweden auf Nachhaltigkeit und Sicherheit gelegt. Weltraumbasierte Infrastruktur und Daten sollen das Wissen über Klima, Biodiversität, nachhaltige Stadtentwicklung, grüner Wertschöpfung, Sicherheit und Krisenmanagement beitragen. Der Fokus der neuen Strategie liegt stärker darauf nationale Forschung und Innovation durch Weltraumaktivitäten zu stärken. Die Förderung von Forschung im Weltraumbereich soll auch mit dessen Kommerzialisierung einhergehen. Das Übersetzen von Forschungsergebnissen in kommerzielle Anwendungen hat wiederum zum Ziel Technologie und Innovation abseits des traditionellen Weltraumsektors zu forcieren. Teil der Strategie ist es auch bis zu vier nationale Weltraummissionen bis zum Jahr 2035 zu realisieren. Obwohl die Strategie stark darauf abzielt Dänemark national im Weltraumbereich stärker zu positionieren, enthält sie ebenso prominent die Förderung internationaler Zusammenarbeit.

Im Interview war die Erfassung des Weltraumsektors in Dänemark ein Thema. Die Interviewpartner*innen berichteten, dass es in Dänemark dahingehend schon in der Vergangenheit Versuche gegeben hat, woraus jedoch keine standardisierte Erhebung entstanden ist, da die Methodologie bei dieser Angelegenheit eine Schwierigkeit darstellt.

8.2.1 Robotische Exploration

Die Aktivitäten Dänemarks im Bereich der robotischen Exploration konzentrieren sich stark auf die Entwicklung autonomer und anpassungsfähiger Robotersysteme, die den Bau, die Wartung und den Betrieb großer Weltrauminfrastrukturen wie Raumstationen und Solaranlagen unterstützen sollen. Das Dänische Technologische Institut (DTI) spielt dabei eine zentrale Rolle und arbeitet eng mit der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) an Projekten wie SpaceAlign zusammen, dessen Ziel es ist, Software und Steuerungslösungen zu entwickeln, mit denen Roboter komplexe Aufgaben in Weltraumumgebungen autonom ausführen können. Diese Roboter müssen in der Lage sein, unter unvorhersehbaren Bedingungen unabhängige Entscheidungen zu treffen, einschließlich der Bewältigung von Herausforderungen durch Staub, Strahlung und Sensorausfälle, mit dem Ziel, die Zuverlässigkeit und Sicherheit während Langzeitmissionen zu maximieren. Akademische Einrichtungen leisten einen bedeutenden Beitrag: Die Universität Aalborg beherbergt Studententeams, die sich mit der Konstruktion von Roboterarmen beschäftigen, die unter den Mikrogravitationsbedingungen der Umlaufbahn um die Erde, den Mond oder den Mars effektiv arbeiten.

²²⁸ Vgl. Innovation Centre Denmark “To Space and Beyond: Denmark’s new Strategy for Space”; source: <https://icdk.dk/insights/denmarks-new-strategy-for-space-research-and-innovation>

Diese Bemühungen integrieren manuelle Programmierung mit verstärktem Lernen, einer Form der KI, bei der Roboter ihr Verhalten und ihre Fähigkeit, Aufgaben wie Krabbeln und Manövrieren in der Schwerelosigkeit auszuführen, iterativ verbessern. Tests und Simulationen finden sowohl vor Ort als auch im Orbital Robotics Lab der ESA statt, das hochrealistische Umgebungen bietet, um die Einsatzbereitschaft für reale Missionsbedingungen sicherzustellen.

8.2.2 Astronautische Exploration und deren gesellschaftliche Wirkung

Andreas Morgensen ist der erste Astronaut im Weltraum unter dänischer Flagge. Er hat zwei Flüge im Rahmen der ESA unternommen. Eine kurze Reise von 10 Tagen im Jahr 2015 und eine halbjährige Reise von 2023 bis 2024. Er ist außerdem nicht nur in ESA-Aktivitäten involviert, sondern auch in Aktivitäten der NASA. Vor allem der längere Flug wird als großer Erfolg gesehen und zurzeit liegt der Fokus darauf diese Reise zu reflektieren, die Forschungsergebnisse zu bearbeiten und die Erfahrungen mit der Öffentlichkeit zu teilen, wie beispielsweise auf der National Space Conference. In naher Zukunft sind somit keine weiteren astronautischen Aktivitäten geplant.

Im Interview wurde berichtet, dass die derzeitigen astronautischen Aktivitäten und Ambitionen auf das Interesse des zuständigen Ministeriums zurückzuführen sind. Im Fall von Dänemark wurde dies somit von der Politik forciert, im Gegensatz zu anderen Ländern, wo die Weltraumaktivitäten von der Wissenschaft aus angeleitet werden. Andreas Morgensen ist Karriereastronaut der ESA. Die Interviewpartner*innen sprachen davon, dass Karriereastronaut*innen eine strengere Verpflichtung haben als Reserveastronaut*innen und auch finanziell noch stärker unterstützt werden müssen. So war von Beginn an festgelegt, dass Andreas Morgensen zwei Weltraumflüge absolvieren muss. Reserveastronaut*innen haben einen größeren Spielraum in ihren Aktivitäten. Auch die Wirkung eines nationalen Astronauten oder einer Astronautin wurde im Interview besprochen. Wieder sind die Interviewpartner*innen darauf eingegangen, dass Astronaut*innen unbestreitbar eine Vorbildwirkung erfüllen. Astronaut*innen machen Weltraumaktivitäten und in weiterer Folge Wissenschaft sichtbar, dadurch wird auch die Wahrnehmung darüber, was Weltraum bedeutet erweitert, in der Gesellschaft aber auch in der Politik. Die Vielfältigkeit dieses Bereiches wird deutlicher und dies wird von den Interviewpartner*innen als positiv bewertet. So kann ein*e nationale*r Astronaut*in eine positive Auswirkung auf die Immatrikulation in MINT-Fächer oder auch auf den Nationalgeist haben. Jedoch, obwohl es ein Bewusstsein für diese Wirkungen gibt, wird wieder betont, dass diese sich nahezu nicht messen lassen. Diese Wirkungen hängen außerdem stark davon ab, welche Aktivitäten die Astronaut*innen verfolgt

oder auch von der Persönlichkeit, wie kommunikativ diese Person ist und wie gut sie ihre Erfahrungen vermitteln kann. Konkret die Folgen der Raumfahrt Aktivitäten von Andreas Morgensen werden erst in einigen Jahren sichtbar sein. Wie bei allen Weltraumaktivitäten, braucht es einen langen Atem, bis die Wirkung eintritt. Die Interviewpartner*innen haben außerdem auf die vielfältigen und breiten Möglichkeiten der Partizipation an Weltraumaktivitäten aufmerksam gemacht, welche von der ESA für Mitgliedstaaten angeboten werden. Beteiligung an Weltraumaktivitäten bedeutet nicht zwangsläufig astronautische Exploration, sondern es gibt auch zahlreiche alternative Möglichkeiten, die eine ähnliche Wirkung auf die nationale Technologie-, Innovations- und Forschungsentwicklung haben. In diesem Zusammenhang werden die „Small Missions“²²⁹ von den Interviewpartner*innen empfohlen.

8.3 Luxemburg

Luxemburgs Weltraumpolitik zielt strategisch darauf ab, das Land als weltweit führend in der Erforschung und nachhaltigen Nutzung von Weltraumressourcen zu positionieren. Es ist eines der ersten Länder in Europa und das zweite weltweit, das einen umfassenden Rechtsrahmen für die Erforschung und Nutzung von Weltraumressourcen geschaffen hat, der privaten Unternehmen und Investoren, die in diesem aufstrebenden Sektor tätig sind, Klarheit und Sicherheit bietet. Diese rechtliche Grundlage unterstützt die friedliche und verantwortungsvolle Nutzung des Weltraums und stellt sicher, dass die Aktivitäten im Einklang mit dem Völkerrecht stehen und zum Wohle der Menschheit beitragen. Die Politik betont Nachhaltigkeit in mehreren Dimensionen: wirtschaftliche Nachhaltigkeit durch die Förderung einer robusten Weltraumwirtschaft, ökologische Nachhaltigkeit sowohl auf der Erde als auch im Weltraum und eine verantwortungsvolle, langfristige Bewirtschaftung der Weltraumressourcen. Luxemburg unterstützt aktiv die Spitzenforschung und technologische Entwicklung, insbesondere durch Initiativen wie das Programm SpaceResources.lu, das akademische Forschung, industrielle Entwicklung und die Förderung von Start-ups mit Schwerpunkt auf Weltraumressourcen miteinander verbindet. Das Land nutzt seine historische Führungsrolle in der kommerziellen Satellitenkommunikationsbranche, die durch Unternehmen wie SES verkörpert wird, um einen vielfältigen und hochtechnologischen Weltraumsektor aufzubauen. In Luxemburg wird ein kommerzieller Ansatz verfolgt. Die Luxemburger Space Agency gehört zum Wirtschaftsministerium, es ist damit auch so positioniert, dass es zum

²²⁹ Vgl. ESA „Small missions“; source:

https://www.esa.int/About_Us/Ministerial_Council_2012/Small_missions

wirtschaftlichen Wachstum, einer vielfältigen Wirtschaftslandschaft, Schaffung von Arbeitsplätzen und Technologieentwicklung beiträgt.

8.3.1 Robotische Exploration

Wie auch schon von anderen ESA-Delegierten, wird auch in diesem Interview betont, dass Weltraumaktivitäten, robotischer wie auch astronautischer Natur, nur in einer langfristigen Perspektive, in einem Zeitraum von ungefähr 10 Jahren, sinnvoll sind. Im Fall von Luxemburg, sind die Ausgaben durch ein langfristiges Wirtschaftswachstum und die Diversifizierung der Industrie gerechtfertigt. Außerdem wird betont, dass in diesem Zugang der nationale Weltraumsektor ganzheitlich betrachtet werden muss. Eine Konzentration auf einzelne Unternehmen ist aufgrund von Fluktuation nicht zielführend. Ebenso muss die finanzielle Unterstützung für eine nachhaltige positive Wirtschaftsentwicklung kontinuierlich passieren. In Luxemburg konnten schon Erfolge in verschiedenen Bereichen erzielt werden. Im Interview wurden die Bereiche Space Ressourcen, Erforschung der Schwerelosigkeit, die Herstellung von Weltrauminstrumenten und Rovern, Erdbeobachtung und Satellitentechnologie erwähnt. Im Jahr 2016 wurde eine Initiative zu Space Ressourcen gestartet, in dem Bereich Ressourcen aus dem Weltraum nutzbar zu machen kann Luxemburg eine Vorreiterrolle zugesprochen werden. Damit in Zusammenhang steht auch das European Space Resource Innovation Centre, welches seinen Sitz in Luxemburg hat. Für die Beschäftigung mit Schwerelosigkeit aus einer kommerziellen Perspektive wurde eine „microgravity research platform“ (YURI LUX) ins Leben gerufen. Es gibt in Luxemburg auch mehrere Unternehmen, die sich mit der Produktion in Schwerelosigkeit beschäftigen, wie „Flawless Photonics“, dieses Unternehmen produziert Glasfaserkabel in Schwerelosigkeit und bekam Zugang zur internationalen Raumstation. Ein weiteres Erfolgsbeispiel, von dem im Interview berichtet wurde, ist die Produktion von Rovern in Luxemburg durch ispace, eine japanische Firma. Darüber hinaus werden Satellitenkommunikation und Erdbeobachtung ebenfalls als wichtige Sektoren für Luxemburg beschrieben.

8.3.2 Astronautische Exploration

Das zur Verfügung stehende Budget für ESA-Aktivitäten in Luxemburg scheint pro Kopf gerechnet zwar recht hoch. Aufgrund der Größe des Landes ist das Budget insgesamt jedoch zu gering, um einen wissenschaftlichen Ansatz und eine Beteiligung an astronautischer Exploration zu verfolgen. Wobei im Interview ein ähnlicher Sachverhalt beschrieben wurde wie in Norwegen. Es gibt einen belgischen Karriereastronauten, der ebenfalls auch eine Luxemburger Staatsbürgerschaft hat und deshalb auch in Luxemburg als nationales Vorbild

verwendet wird. Anstatt astronautischer Exploration wird jedoch mit dem vorhandenen Budget der Luxemburger Weltraumsektor gestärkt. Dieser beinhaltet 80 Unternehmen und kann mit dem Budget, welches jährlich den Kosten eines astronautischen Raumfluges entspricht, zu genüge mit Förderprogrammen der ESA versorgt werden. Diese Firmen umfassen 1.500 Arbeitsplätze, worin ein Mehrwert für die Gesellschaft im Weltraumsektor gesehen wird.

Für Luxemburg besteht zum jetzigen Zeitpunkt keine Möglichkeit für astronautische Exploration, dies wäre nur durch private Finanzierung möglich. Die Interviewpartner*innen haben ebenfalls die inspirierende Wirkung astronautischer Exploration beschrieben, trotzdem bestehen in Luxemburg keine Ambitionen in dieser Hinsicht. Im Interview wurde ausgeführt, dass privat finanzierte Raumflüge im Vergleich zu ESA-Flügen sehr kurz sind und daher auch die wissenschaftlichen Möglichkeiten und die langfristigen Folgen eingeschränkt sind. Wirkung und Kosten müssen sorgfältig abgewogen werden.

8.4 Norwegen

Die Raumfahrtspolitik Norwegens zeichnet sich durch ein starkes Engagement für internationale Zusammenarbeit, nachhaltige und sichere Raumnutzung sowie die Entwicklung einer wettbewerbsfähigen heimischen Raumfahrtindustrie aus. Norwegen war 1969 das erste Land, das ein nationales Raumfahrtgesetz verabschiedete, und die Regierung hat den Rechtsrahmen kontinuierlich aktualisiert, um ihn an die modernen Anforderungen der Industrie und internationale Verpflichtungen anzupassen, darunter die kürzlich erfolgte Ratifizierung des Artemis-Abkommens im Mai 2025. Diese Ratifizierung signalisiert Norwegens Engagement für eine friedliche und verantwortungsvolle Erforschung, die Zusammenarbeit bei Mond- und Weltraummissionen sowie einen ethischen Umgang mit Weltraumressourcen. Das norwegische Ministerium für Handel und Industrie beaufsichtigt die Weltraumaktivitäten und strebt ein Gleichgewicht zwischen wirtschaftlichem Wachstum, gesellschaftlichem Nutzen und nationaler Sicherheit an. Norwegen betreibt ein umfassendes Weltraum-Ökosystem, darunter die norwegische Weltraumagentur, Space Norway – ein staatliches Unternehmen, das sich auf die Entwicklung und Verwaltung strategischer Weltrauminfrastruktur konzentriert – und das Andøya Space Center, das wissenschaftliche und kommerzielle Raketenstarts unterstützt. Norwegen legt den Schwerpunkt auf Weltraumsicherheit und Resilienz durch die Integration ziviler und militärischer Fähigkeiten, insbesondere in Bezug auf Satellitenkommunikation, Überwachung und Navigationssysteme, die für die nationale Sicherheit und gesellschaftliche Funktionen von entscheidender Bedeutung sind.

Norwegen beteiligt sich aktiv an der Europäischen Weltraumorganisation und der EU-Weltraumpolitik und nimmt gleichzeitig seine Verpflichtungen aus dem Weltraumvertrag der Vereinten Nationen und dem EWR-Abkommen wahr. Die derzeitige Politik legt den Schwerpunkt auf das Management von Risiken wie Weltraummüll, die Gewährleistung transparenter und verantwortungsvoller kommerzieller Aktivitäten und die Entwicklung nachhaltiger wirtschaftlicher Aktivitäten im Weltraum. Die Regierung fördert ein florierendes Innovationsökosystem und unterstützt Start-ups und Forschungseinrichtungen, die eine Brücke zwischen Meeres- und Weltraumtechnologien schlagen und dabei die einzigartigen Synergien aus der geografischen Lage und dem Fachwissen Norwegens nutzen. Dieser umfassende und zukunftsorientierte Ansatz positioniert Norwegen als verantwortungsbewusste, innovative und strategisch bedeutende Weltraumnation mit Ambitionen, die vom Start kleiner Satelliten bis zur Teilnahme an bahnbrechenden internationalen Weltraumforschungsmissionen reichen.

8.4.1 Robotische Exploration

Die Aktivitäten Norwegens im Bereich der robotischen Exploration konzentrieren sich auf die Entwicklung fortschrittlicher autonomer Systeme, die die Kartierung von Ressourcen auf dem Mond und anderen Planeten, den Aufbau von Weltrauminfrastrukturen und die Umweltüberwachung unterstützen. Eine wichtige Initiative ist der Norwegian rObOt Competition (LOOK), der vom Norwegian Space Cluster und Partnern ins Leben gerufen wurde und Studenten, Unternehmen und Forschungseinrichtungen dazu ermutigt, Robotertechnologien speziell für die Kartierung von Ressourcen auf dem Mond zu entwickeln. Dieser Wettbewerb spiegelt die umfassenden nationalen Bemühungen wider, Innovationen zu fördern und Fachwissen im Bereich der Weltraumrobotik aufzubauen, was eng mit den strategischen Zielen des norwegischen Weltraumsektors im Einklang steht. Norwegische Industrie- und Forschungsakteure arbeiten im Rahmen des Clusters aktiv zusammen und legen dabei den Schwerpunkt auf die Integration von Robotik mit Satellitentechnologie, Fernerkundung, KI und Datenanalyse. Ein konkretes Anwendungsbeispiel ist hier zum Beispiel ein Bodenradar, das als Teil des NASA-Mars-Rovers in Norwegen mit Unterstützung der ESA entwickelt wurde und auch auf der Erde bei der Minenräumung hilfreich sein kann. Das Andøya Space Center spielt eine entscheidende Rolle als Startplatz für Orbitalmissionen und Testumgebung für wiederverwendbare Raketentechnologien in Zusammenarbeit mit Unternehmen wie Astrobotic, die dort Europas erste Kampagnen mit wiederverwendbaren Raketen durchführen.²³⁰ Diese Aktivitäten bieten eine einzigartige Umgebung für die Erprobung von

²³⁰ Business Norway „Norwegian space industry blasts off with new spaceport“; source: <https://businessnorway.com/articles/norwegian-space-industry-blasts-off-with-new-spaceport>

Robotertechnologien, die für den autonomen Flug und den Einsatz von Nutzlasten im Weltraum relevant sind.

Der Ansatz Norwegens umfasst auch eine enge regionale Zusammenarbeit im Rahmen von Veranstaltungen wie dem Winter Satellite Workshop und dem Nordic Cluster Round Table, bei denen Experten aus ganz Skandinavien und den baltischen Staaten zusammenkommen, um ihre Bemühungen in den Bereichen Satellitenplattformen, Erdbeobachtung und Robotikentwicklung zu koordinieren. Das nationale Innovationsökosystem im Weltraumsektor profitiert von Förderprogrammen und Initiativen, die auf die Kommerzialisierung der Weltraumrobotik und verwandter Technologien abzielen, mit dem Ziel, die nationale Weltraumwirtschaft in den kommenden Jahren deutlich auszubauen. Dieses dynamische Ökosystem fördert die enge Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft, Industrie und Regierung, um Norwegen als wettbewerbsfähigen und innovativen Akteur in der robotergestützten Weltraumforschung zu positionieren.

8.4.2 Astronautische Exploration

Da Norwegen eine kleinere Nation ist, kann es naturgemäß nur einen geringeren Beitrag leisten und hat weniger Budget zur Verfügung. Daher wurde im Interview angegeben, dass sich zusätzliche finanzielle Beiträge zur Förderung astronautischer Exploration nicht rentieren würden. Trotzdem wurde einerseits im Interview ausgeführt, dass der Erfolg der norwegischen Kandidat*innen im Bewerbungsverfahren selbstverständlich befürwortet wurde. Andererseits besitzt Marcus Wandt, der schwedische Astronaut, auch eine norwegische Staatsbürgerschaft, das bedeutet, obwohl er natürlich in erster Linie Schweden vertritt, kann seine Figur in Norwegen ebenfalls als nationales Vorbild verwendet werden. Die gesellschaftlichen Folgen eines nationalen Astronauten oder Astronautin, wie die steigende Sichtbarkeit der Wissenschaft und die positive Auswirkung auf den Nationalgeist wird von den Interviewpartner*innen zwar anerkannt, jedoch lohnen sich die hohen Investitionen nicht allein für dieses Ziel. Im Zusammenhang mit astronautischer Exploration in Norwegen muss trotzdem Jannicke Mikkelsen erwähnt werden, sie wird an einem kommerziellen SpaceX Raumflug teilnehmen. Dieses Vorhaben wird jedoch gänzlich privat finanziert und ist von der ESA unabhängig.

8.5 Niederlande

Die niederländische Weltraumstrategie legt großen Wert auf eine langfristige Vision und Nachhaltigkeit und zielt darauf ab, den nationalen Weltraumsektor zu vereinheitlichen und zu stärken und gleichzeitig mit den umfassenderen europäischen und internationalen Politiken in Einklang zu bringen. Die Regierung hat eine detaillierte langfristige Weltraumagenda (LTR) verabschiedet, die Ziele in Bereichen wie Satellitenkommunikation, Weltraumlageerfassung, Erdbeobachtung sowie autonome Navigations- und Zeitmesssysteme festlegt. Die Strategie erkennt die Weltrauminfrastruktur als entscheidend für gesellschaftliche Funktionen wie Sicherheit, digitale Konnektivität, Klimaüberwachung und wirtschaftlichen Wohlstand an und unterstreicht die Bedeutung der Aufrechterhaltung der Widerstandsfähigkeit und strategischen Autonomie für die Niederlande und Europa.

Im Bereich Innovation unterstützt die Strategie den Aufbau einer wissensbasierten Weltraumwirtschaft durch Kooperationen zwischen Industrie, Forschungsinstituten und Regierungsstellen. Zentren wie der NL Space Campus fördern ein kreatives Ökosystem, das kommerzielle Weltraumtechnologien vorantreibt, darunter ein spezielles ESA Phi-Labor, in dem vielversprechende Technologien in marktreife Anwendungen umgesetzt werden. Bildung und Kompetenzentwicklung sind ebenfalls Schwerpunkte, um sicherzustellen, dass die Niederlande weiterhin Spitzenkräfte hervorbringen und eine starke Position in der globalen Weltraumwirtschaft behaupten können.

8.5.1 Robotische Exploration

Die Niederlande sind ein bedeutender Akteur in der robotergestützten Weltraumforschung und blicken auf eine lange Geschichte in der Entwicklung modernster Robotertechnologien für den Einsatz in Umlaufbahn- und Planetenmissionen zurück. Dazu gehört auch der European Robotic Arm (ERA), der in erster Linie von Airbus Defence and Space Netherlands entwickelt wurde und ein hochentwickeltes Robotersystem darstellt, das sich autonom an der Außenseite der Internationalen Raumstation (ISS) bewegen kann. ERA erweitert die Möglichkeiten der Astronauten, indem es ihnen ermöglicht, den Arm für Montage-, Wartungs- und wissenschaftliche Experimente an der Außenseite der ISS ferngesteuert zu bedienen. Die Niederlande stellten nicht nur die Hardware, sondern auch die fortschrittliche Steuerungssoftware und einen Simulator für die Ausbildung der Astronauten zur Verfügung.

Auch niederländische Universitäten und Forschungsinstitute leisten einen wichtigen Beitrag zur Innovation im Bereich der Roboterforschung. So leistet beispielsweise die TU Delft Pionierarbeit mit einem Projekt namens Lunar Zebro, einem sechsbeinigen Rover, der mit seiner im Vergleich zu Radrovern überlegenen Mobilität für die Navigation im unwegsamen Gelände des Mondes ausgelegt ist. Dieses Projekt sieht den Einsatz von Schwärmen kleiner Roboter vor, die kooperativ auf der Mondoberfläche arbeiten und damit ein neues Paradigma in der Roboterforschung aufzeigen, bei dem Robustheit und Schwarmintelligenz im Vordergrund stehen. Dies spiegelt das Engagement der Niederlande wider, innovative und interdisziplinäre Ansätze für autonome Robotik in außerirdischen Umgebungen zu fördern.

Darüber hinaus beherbergen die Niederlande das ESA Orbital Robotics Lab am ESTEC in Noordwijk, das Studenten und Forschern eine Plattform zur Entwicklung und Erprobung von Robotik-Experimenten unter simulierten Mikrogravitationsbedingungen bietet. Diese Einrichtung ermöglicht Experimente zur Wartung von Satelliten, zur Beseitigung von Weltraummüll und zu Roboteroperationen unter Schwerelosigkeit, die für die Planung zukünftiger Missionen und die Weiterentwicklung der Robotertechnologie von entscheidender Bedeutung sind. Die Beteiligung der Niederlande an den Robotikprogrammen von Horizon Europe und der ESA konzentriert sich häufig auf Autonomie, künstliche Intelligenz und kooperative Robotersysteme, wodurch ihre Rolle als führendes Land in der robotergestützten Weltraumforschung gestärkt wird.

8.5.2 Astronautische Exploration

Die Niederlande haben eine reiche Tradition in der astronautischen Exploration, die durch mehrere Pionierastronauten und bedeutende Beiträge zu internationalen Weltraummissionen geprägt ist. Der erste in den Niederlanden geborene Astronaut, der ins All flog, war Lodewijk van den Berg, der 1985 als Nutzlastspezialist an der Space-Shuttle-Mission STS-51B teilnahm und im Spacelab-Modul Kristallwachstumsexperimente durchführte. Nach ihm war Wubbo Ockels der erste niederländische Staatsbürger im Weltraum an Bord der Space-Shuttle-Mission STS-61A im Jahr 1985, wo er zu einer Vielzahl wissenschaftlicher Forschungsarbeiten beitrug. In jüngerer Zeit sticht André Kuipers als der erfahrenste niederländische Astronaut hervor, der zwei Missionen zur Internationalen Raumstation (ISS) absolviert hat, eine im Jahr 2004 und eine längere Expedition von fast 190 Tagen im Zeitraum 2011-2012. Seine Missionen stießen auf großes öffentliches Interesse und umfassten Experimente zum Wohle der menschlichen Gesundheit, zur Klimaforschung und zur Technologieentwicklung.

Die Niederlande sind durch ihre aktive Rolle innerhalb der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) ein starker europäischer Partner in der Raumfahrtforschung. Sie liefern Hardware wie Sonnenkollektoren für europäische automatische Transferfahrzeuge (ATVs) und entwickeln den europäischen Roboterarm, der die Fähigkeiten der Astronauten auf der ISS verbessert. Das Engagement der Niederlande erstreckt sich auch auf die Entwicklung wissenschaftlicher Experimente, die sowohl an Bord der ISS als auch auf der Erde in terrestrischen Labors, Falltürmen und bei Schwerelosigkeitsflügen durchgeführt werden. Die Niederlande unterstützen kontinuierlich zukünftige Forschungsaktivitäten, darunter Beiträge zum Europäischen Servicemodul für das Artemis-Programm der NASA, und stärken damit ihre Rolle in der globalen Raumfahrtgemeinschaft durch Technologie, Wissenschaft und die Teilnahme an bemannten Raumflügen.

8.6 Norwegen

Die Raumfahrtpolitik Norwegens zeichnet sich durch ein starkes Engagement für internationale Zusammenarbeit, nachhaltige und sichere Raumnutzung sowie die Entwicklung einer wettbewerbsfähigen heimischen Raumfahrtindustrie aus. Norwegen war 1969 das erste Land, das ein nationales Raumfahrtgesetz verabschiedete, und die Regierung hat den Rechtsrahmen kontinuierlich aktualisiert, um ihn an die modernen Anforderungen der Industrie und internationale Verpflichtungen anzupassen, darunter die kürzlich erfolgte Ratifizierung des Artemis-Abkommens im Mai 2025. Diese Ratifizierung signalisiert Norwegens Engagement für eine friedliche und verantwortungsvolle Erforschung, die Zusammenarbeit bei Mond- und Weltraummissionen sowie einen ethischen Umgang mit Weltraumressourcen. Das norwegische Ministerium für Handel und Industrie beaufsichtigt die Weltraumaktivitäten und strebt ein Gleichgewicht zwischen wirtschaftlichem Wachstum, gesellschaftlichem Nutzen und nationaler Sicherheit an. Norwegen betreibt ein umfassendes Weltraum-Ökosystem, darunter die norwegische Weltraumagentur, Space Norway – ein staatliches Unternehmen, das sich auf die Entwicklung und Verwaltung strategischer Weltrauminfrastruktur konzentriert – und das Andøya Space Center, das wissenschaftliche und kommerzielle Raketenstarts unterstützt. Norwegen legt den Schwerpunkt auf Weltraumsicherheit und Resilienz durch die Integration ziviler und militärischer Fähigkeiten, insbesondere in Bezug auf Satellitenkommunikation, Überwachung und Navigationssysteme, die für die nationale Sicherheit und gesellschaftliche Funktionen von entscheidender Bedeutung sind.

Norwegen beteiligt sich aktiv an der Europäischen Weltraumorganisation und der EU-Weltraumpolitik und nimmt gleichzeitig seine Verpflichtungen aus dem Weltraumvertrag der

Vereinten Nationen und dem EWR-Abkommen wahr. Die derzeitige Politik legt den Schwerpunkt auf das Management von Risiken wie Weltraummüll, die Gewährleistung transparenter und verantwortungsvoller kommerzieller Aktivitäten und die Entwicklung nachhaltiger wirtschaftlicher Aktivitäten im Weltraum. Die Regierung fördert ein florierendes Innovationsökosystem und unterstützt Start-ups und Forschungseinrichtungen, die eine Brücke zwischen Meeres- und Weltraumtechnologien schlagen und dabei die einzigartigen Synergien aus der geografischen Lage und dem Fachwissen Norwegens nutzen. Dieser umfassende und zukunftsorientierte Ansatz positioniert Norwegen als verantwortungsbewusste, innovative und strategisch bedeutende Weltraumnation mit Ambitionen, die vom Start kleiner Satelliten bis zur Teilnahme an bahnbrechenden internationalen Weltraumforschungsmissionen reichen.

8.6.1 Robotische Exploration

Die Aktivitäten Norwegens im Bereich der robotischen Exploration konzentrieren sich auf die Entwicklung fortschrittlicher autonomer Systeme, die die Kartierung von Ressourcen auf dem Mond und anderen Planeten, den Aufbau von Weltrauminfrastrukturen und die Umweltüberwachung unterstützen. Eine wichtige Initiative ist der Norwegian rObOt Competition (LOOK), der vom Norwegian Space Cluster und Partnern ins Leben gerufen wurde und Studenten, Unternehmen und Forschungseinrichtungen dazu ermutigt, Robotertechnologien speziell für die Kartierung von Ressourcen auf dem Mond zu entwickeln. Dieser Wettbewerb spiegelt die umfassenden nationalen Bemühungen wider, Innovationen zu fördern und Fachwissen im Bereich der Weltraumrobotik aufzubauen, was eng mit den strategischen Zielen des norwegischen Weltraumsektors im Einklang steht. Norwegische Industrie- und Forschungsakteure arbeiten im Rahmen des Clusters aktiv zusammen und legen dabei den Schwerpunkt auf die Integration von Robotik mit Satellitentechnologie, Fernerkundung, KI und Datenanalyse. Ein konkretes Anwendungsbeispiel ist hier ein Bodenradar, das als Teil des NASA-Mars-Rovers in Norwegen mit Unterstützung der ESA entwickelt wurde und auch auf der Erde bei der Minenräumung hilfreich sein kann. Das Andøya Space Center spielt eine entscheidende Rolle als Startplatz für Orbitalmissionen und Testumgebung für wiederverwendbare Raketentechnologien in Zusammenarbeit mit Unternehmen wie Ast-

robotic, die dort Europas erste Kampagnen mit wiederverwendbaren Raketen durchführen.²³¹ Diese Aktivitäten bieten eine einzigartige Umgebung für die Erprobung von Roboter-technologien, die für den autonomen Flug und den Einsatz von Nutzlasten im Weltraum relevant sind.

Der Ansatz Norwegens umfasst auch eine enge regionale Zusammenarbeit im Rahmen von Veranstaltungen wie dem Winter Satellite Workshop und dem Nordic Cluster Round Table, bei denen Experten aus ganz Skandinavien und den baltischen Staaten zusammenkommen, um ihre Bemühungen in den Bereichen Satellitenplattformen, Erdbeobachtung und Robotikentwicklung zu koordinieren. Das nationale Innovationsökosystem im Weltraumsektor profitiert von Förderprogrammen und Initiativen, die auf die Kommerzialisierung der Weltraumrobotik und verwandter Technologien abzielen, mit dem Ziel, die nationale Weltraumwirtschaft in den kommenden Jahren deutlich auszubauen. Dieses dynamische Ökosystem fördert die enge Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft, Industrie und Regierung, um Norwegen als wettbewerbsfähigen und innovativen Akteur in der robotergestützten Weltraumforschung zu positionieren.

8.6.2 Astronautische Exploration

Da Norwegen eine kleinere Nation ist, kann es naturgemäß nur einen geringeren Beitrag leisten und hat weniger Budget zur Verfügung. Daher wurde im Interview angegeben, dass sich zusätzliche finanzielle Beiträge zur Förderung astronautischer Exploration nicht rentieren würden. Trotzdem wurde einerseits im Interview ausgeführt, dass der Erfolg der norwegischen Kandidat*innen im Bewerbungsverfahren selbstverständlich befürwortet wurde. Andererseits besitzt Marcus Wandt, der schwedische Astronaut, auch eine norwegische Staatsbürgerschaft, das bedeutet, obwohl er natürlich in erster Linie Schweden vertritt, kann seine Figur in Norwegen ebenfalls als nationales Vorbild verwendet werden. Die gesellschaftlichen Folgen eines nationalen Astronauten oder Astronautin, wie die steigende Sichtbarkeit der Wissenschaft und die positive Auswirkung auf den Nationalgeist wird von den Interviewpartner*innen zwar anerkannt, jedoch lohnen sich die hohen Investitionen nicht allein für dieses Ziel. Im Zusammenhang mit astronautischer Exploration in Norwegen muss trotzdem Jannicke Mikkelsen erwähnt werden, sie wird an einem kommerziellen SpaceX Raumflug teilnehmen. Dieses Vorhaben wird jedoch gänzlich privat finanziert und ist von der ESA unabhängig.

²³¹ Business Norway „Norwegian space industry blasts off with new spaceport“; source: <https://businessnorway.com/articles/norwegian-space-industry-blasts-off-with-new-spaceport>

8.7 Polen

Polens Weltraumstrategie ist äußerst ambitioniert und konzentriert sich auf den raschen Ausbau seiner Rolle im europäischen und globalen Weltraumsektor mit Schwerpunkt auf Innovation, Sicherheit und autonomen Fähigkeiten. Das Land strebt an, bis 2030 einen Anteil von 3 % an der europäischen Weltraumwirtschaft zu erreichen, und hat Pläne für eine polnische Mondmission vorgelegt, die seine starken Bestrebungen zur Förderung seiner wissenschaftlichen und technologischen Führungsrolle unterstreichen. Die polnische Weltraumagentur (POLSA) koordiniert gemeinsam mit dem Ministerium für wirtschaftliche Entwicklung und Technologie die nationalen Bemühungen und fördert Projekte, die Polens Fähigkeit verbessern, für die nationale Sicherheit und Widerstandsfähigkeit wichtige Weltraumressourcen eigenständig zu entwickeln und zu betreiben.

Polens Ansatz legt den Schwerpunkt auf die Nutzung von Weltraumtechnologie zur Verbesserung der nationalen Sicherheit, wie militärische Satellitenprojekte wie MikroGlob zur Aufklärung und PIAST zum Testen verschlüsselter Laserkommunikation, die gegen Störungen und Erkennung resistent ist, zeigen. Das Land richtet seine strategischen Weltraumziele konsequent an den umfassenderen Bemühungen der EU zur Erlangung technologischer Souveränität aus und beteiligt sich an Programmen wie sicheren Kommunikationskonstellationen und dem Zugang zu Startkapazitäten. Die Strategie erkennt auch die Bedeutung der Förderung einer dynamischen Raumfahrtindustrie mit über 450 Unternehmen und 15.000 Beschäftigten an und legt den Schwerpunkt auf Exportwachstum, Innovationsfähigkeit und internationale Zusammenarbeit. Polen spielt eine aktive Rolle in der Europäischen Union und hatte Anfang 2025 den turnusmäßigen Vorsitz im Rat der Europäischen Union inne, wo es sich für einen verstärkten Einsatz von Weltraumtechnologien in den Bereichen Sicherheit und Krisenmanagement einsetzte.

8.7.1 Robotische Exploration

Polen ist ein bedeutender Akteur in der robotergestützten Weltraumforschung und positioniert sich als Knotenpunkt für Innovationen im Bereich der Weltraumrobotik. Die polnische Stadt Krakau ist Austragungsort der renommierten European Rover Challenge (ERC), einem der größten und prestigeträchtigsten internationalen Wettbewerbe, der sich auf die Konstruktion und den Betrieb von Mars-ähnlichen Rovern konzentriert. Bei der Ausgabe 2025 sicherten sich fünf polnische Hochschulteams einen Platz im Finale und stellten damit die Stärke und Kompetenz der heimischen technischen Ausbildung und Forschung im Be-

reich der Weltraumrobotik unter Beweis. Bei diesem Wettbewerb führen autonome Roboter auf einem realistischen Marsyard-Gelände realitätsnahe planetarische Missionsaufgaben durch, die die Herausforderungen widerspiegeln, denen zukünftige Forscher bei Missionen zum Mond und zum Mars begegnen werden.

An der Spitze der polnischen Weltraumrobotik steht PIAP Space, ein Unternehmen, das sich auf die Entwicklung von Robotertechnologien für die In-Orbit-Wartung und autonome Weltraummontage spezialisiert hat. Es bietet innovative Roboterarme, Greifer, Kraftsensoren und bildbasierte Navigationsalgorithmen, die für Operationen aus nächster Nähe, einschließlich Rendezvous und Andocken, entwickelt wurden. Dieses Fachwissen unterstützt neue Weltrauminfrastrukturen wie die Wartung von Satelliten und die Beseitigung von Weltraummüll, die für nachhaltige Weltraummissionen von entscheidender Bedeutung sind. Polen fördert die Weltraumrobotik auch durch das ESA Phi Lab Poland, das Projekte in den Bereichen Autonomie, künstliche Intelligenz und Roboterforschung finanziert und unterstützt. Der nationale Fokus verbindet Industrie, Wissenschaft und Regierungsbehörden, um die Entwicklung disruptiver Weltraumtechnologien voranzutreiben, wichtige Kompetenzen aufzubauen und internationale Kooperationen zu fördern. Veranstaltungen wie das CASSINI Space Camp und Robotikkonferenzen fördern Talente und Innovationen und sorgen dafür, dass das Land im sich schnell entwickelnden Bereich der Weltraumrobotik wettbewerbsfähig bleibt.

8.7.2 Astronautische Exploration

Eine wegweisende Initiative in der astronautischen Exploration ist die IGNIS-Mission, die im Juni 2025 gestartet wurde und die erste polnische Präsenz auf der Internationalen Raumstation markierte. Der Astronaut Dr. Sławosz Uznański-Wiśniewski führte dort 13 wissenschaftliche Experimente in den Bereichen Werkstofftechnik, Biologie, Medizin und fortschrittliche Technologien in der Mikrogravitation durch. Diese Mission symbolisiert den Übergang Polens von einem Teilnehmer zu einem Mitgestalter globaler Weltraumprojekte und bringt greifbare wissenschaftliche und wirtschaftliche Vorteile mit sich.

Über den technologischen Fortschritt hinaus fördert Polen die Weltraumwissenschaft und -bildung durch die Organisation verschiedener Weltraumcamps und Konferenzen, wie beispielsweise das CASSINI Space Camp und den bevorstehenden Internationalen Astronautischen Kongress in Polen im Jahr 2027. Diese Bemühungen zielen darauf ab, neue Generationen von Wissenschaftlern, Ingenieuren und Unternehmern zu inspirieren und ein nachhaltiges Ökosystem für Innovationen in der Weltraumtechnologie aufzubauen. Der allgemeine

Ansatz des Landes unterstreicht sein Bestreben, eine bedeutende Rolle in Europa im sich wandelnden Umfeld der Weltraumforschung zu übernehmen, mit Ambitionen, die von der Mondforschung über die Erforschung des Mars bis hin zu weltraumgestützten Sicherheitsanwendungen reichen und alle von einer strategischen Vision von Innovation, Souveränität und Führungsrolle im Weltraum getragen werden.

8.8 Schweden

Schwedens Weltraumpolitik zeichnet sich durch eine kohärente und wissensbasierte Strategie aus, die nationale Sicherheit, Krisenvorsorge und internationale Zusammenarbeit miteinander verbindet. Der Ansatz unterstreicht die Bedeutung des Weltraums als kritischen Bereich für Verteidigung und umfassende Sicherheit und spiegelt die Absicht Schwedens wider, seine Fähigkeiten im Weltraum zu stärken, um neuen Herausforderungen zu begegnen und den Weltraum sowohl für zivile als auch für militärische Zwecke zu nutzen. Schweden beschreitet diesen Weg, indem es ein Portfolio an Weltraumkapazitäten und -dienstleistungen entwickelt, die auf die Unterstützung der nationalen Verteidigung und Widerstandsfähigkeit zugeschnitten sind und gleichzeitig die friedliche Nutzung des Weltraums betonen.

Der strategische Ansatz verbindet Schwedens Bestrebungen, ein aktiver und verantwortungsbewusster internationaler Akteur im Weltraum zu sein, mit einer starken Ausrichtung auf die NATO, die Europäische Union und verbündete Partner, wodurch Interoperabilität und gemeinsame Sicherheitsziele gefördert werden. Ein gutes Beispiel ist die Entwicklung des Esrange Space Center als wichtige Orbitalstartanlage, die Schweden als strategischen Startplatz für europäische und verbündete Missionen positioniert. Schweden schließt auch bilaterale Abkommen, beispielsweise mit den USA, um Zugang zu fortschrittlichen Weltraumtechnologien zu erhalten und seine Wettbewerbsfähigkeit und Forschungsaussichten zu verbessern.

8.8.1 Robotische Exploration

Die Aktivitäten Schwedens im Bereich der robotischen Exploration basieren sowohl auf Spitzenforschung als auch auf internationaler Zusammenarbeit und treiben Innovationen für Mond- und Planetenmissionen voran. Schwedische Institutionen wie die Technische Universität Luleå und das Robotics and AI Team (RAI) stehen an vorderster Front und arbeiten

mit Unternehmen wie Rapidity Space zusammen, um modernste autonome Navigationssoftware für Mondrover zu entwickeln. Diese Initiativen werden von der schwedischen Weltraumagentur unterstützt und sollen Herausforderungen wie unwegsames planetares Gelände, Kommunikationsverzögerungen und extreme Umweltbedingungen bewältigen, indem sie Multisensor-Fusion und ausgefeilte Hinderniserkennung für robuste und autonome Robotermissionen nutzen. Die Vision ist es, nicht nur unbemannte Erkundungen zu ermöglichen, sondern auch hochautonome Operationen, die eine wichtige Rolle bei zukünftigen Mond- und Weltraumaktivitäten spielen werden – Lösungen, die sich voraussichtlich an verschiedene Hardware- und Missionskontexte anpassen lassen.

Schweden beherbergt und betreibt auch bedeutende Forschungseinrichtungen und -kampagnen, wie beispielsweise die Raketenstarts von SubOrbital Express vom Esrange Space Center aus, die es Wissenschaftlern aus Schweden und dem Ausland ermöglichen, Technologien zu testen und Experimente unter Mikrogravitationsbedingungen durchzuführen. Zu den jüngsten Missionen gehörten roboterorientierte Forschungen und Experimente zur Unterstützung der Mond- und Planetenforschung, wie beispielsweise autonome Navigations- und Fernsteuerungssysteme für zukünftige Missionen. Die Zusammenarbeit Schwedens mit der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) ist von zentraler Bedeutung, mit der Unterstützung von ESA-geförderten Projekten und Nutzlasten sowie einer starken Beteiligung an den ESA-Programmen zur bemannten und robotergestützten Erforschung des Mondes und des Mars. Diese Zusammenarbeit bietet nicht nur eine Plattform für schwedische Forscher, sondern macht Schweden auch zu einem wichtigen Mitwirkenden an den europäischen Ambitionen, Robotik für die Weltraumwissenschaft und -forschung zu nutzen. Darüber hinaus investiert Schweden in künstliche Intelligenz, um die Autonomie von Weltraumsystemen weiter voranzutreiben, wie die Gründung des ESA Phi-Lab Sweden zeigt. Diese Initiative konzentriert sich auf KI und Edge-Computing für autonome Satelliten und Robotersysteme mit dem Ziel der Echtzeit-Datenverarbeitung und vollständig autonomer Weltraummissionen. Die mittel- und langfristigen Ziele umfassen nicht nur die robotergestützte Erforschung, sondern auch den potenziellen robotergestützten Bergbau und den Aufbau von Infrastruktur im Asteroidengürtel, was die Absicht Schwedens verdeutlicht, eine Vorreiterrolle bei der robotergestützten und KI-gesteuerten Erforschung des Weltraums einzunehmen.

8.8.2 Astronautische Exploration

Die Aktivitäten Schwedens zeichnen sich durch die aktive Teilnahme an bemannten Raumfahrtmissionen, das Engagement für wissenschaftliche Forschung an Bord der Internationa-

len Raumstation (ISS) und eine umfassende Politik zur Förderung einheimischer Fachkompetenz und internationaler Zusammenarbeit aus. In der astronautischen Exploration kann Schweden ebenfalls auf eine langjährige Erfahrung zurückgreifen. Begonnen hat diese Erfahrung mit dem schwedischen ESA-Astronauten Arne Christer Fuglesang. Er nahm an zwei Raumflügen im Rahmen der ESA teil, der erste im Jahr 2006 und der zweite im Jahr 2009 und sollte bis zum Jahr 2019 der erste schwedische Astronaut im Weltraum bleiben. Im Jahr 2019 startete Jessica Meir, eine schwedische Astronautin der NASA, ihren Weltraumflug. Im Jahr 2024 reiste Marcus Wandt als dritter Schwede ins All und nahm an einer von Axiom Space und der Europäischen Weltraumorganisation organisierten Mission zur ISS teil. Während seines zweiwöchigen Aufenthalts führte er wissenschaftliche Experimente für schwedische Institutionen durch, darunter Stammzellenforschung für die Universität Uppsala und Ergonomiestudien für das Königliche Technische Institut, sowie etwa zwanzig weitere internationale Experimente in den Bereichen Materialphysik, Biowissenschaften und Biotechnologie. Diese Mission zeigt Schwedens Bestreben, nicht nur einen Beitrag zur globalen Weltraumforschung zu leisten, sondern auch eine neue Generation von Ingenieuren und Wissenschaftlern zu inspirieren, indem sie den nationalen Wert der bemannten Raumfahrt hervorhebt.

Die schwedische Weltraumagentur (SNSA) schreibt regelmäßig Fördermittel für Forschungsprojekte aus, die Plattformen wie die ISS, suborbitale Mikrogravitationsraketen und verschiedene bodengestützte Analoga nutzen. Diese Fördermittel sollen Untersuchungen in den Lebens- und Naturwissenschaften unterstützen, die Daten aus von der ESA ausgewählten oder ähnlich renommierten internationalen Missionen verwenden. Die Strategie Schwedens ermutigt Forscher zur Teilnahme am Explorationsprogramm Terrae Novae der ESA und anderen multinationalen Initiativen, wobei der Schwerpunkt auf Projekten mit wissenschaftlicher, gesellschaftlicher oder angewandter Relevanz für die zukünftige Weltraumforschung liegt. Darüber hinaus zielt die Politik der SNSA darauf ab, die Position Schwedens als Mitglied der ESA zu stärken, indem sie strategische, wissenschaftliche und sicherheitspolitische Prioritäten hervorhebt und sicherstellt, dass alle ausgewählten Projekte mit den nationalen Interessen sowie den übergeordneten politischen Zielen Europas im Einklang stehen.

8.8.3 Gesellschaftliche Wirkung

Im Interview waren die gesellschaftlichen Auswirkungen solcher astronautischen Explorationen ein zentrales Thema. Aus schwedischer Perspektive erfüllen Astronaut*innen eine wichtige Vorbild-Funktion. Sie können die Begeisterung für Forschung und Industrie wecken

und werden auch absichtlich für diesen Zweck eingesetzt. Beide schwedischen ESA-Astronauten (Marcus Wandt und Arne Christer Fuglesang) haben nach ihren Raumflügen zahlreiche Aktivitäten verfolgt, durch die sie ihre Erfahrungen mit der Öffentlichkeit geteilt haben. Sie werden und wurden dazu an Universitäten, Schulen und zu anderen einschlägigen Veranstaltungen eingeladen.

Durch das Interview wurde deutlich gemacht, dass diese Wirkungen durchaus vorhanden sind, jedoch auch nicht überschätzt werden sollten. Astronaut*innen haben diese Vorbildfunktion und sie können damit die Bedeutung von Wissenschaft sichtbar machen, jedoch ist es nicht das Ziel, jedem Kind den Traum, ein Astronaut/eine Astronautin zu werden, in den Kopf zu setzen. Gerade um die Begeisterung in Wissenschaft in der neuen Generation zu wecken und damit die Immatrikulation in MINT-Fächer zu steigern, braucht es einen gesamtheitlicheren Ansatz. Hier ist in Schweden das Ziel, eine Umgebung zu schaffen, in der jeder/jede die Ausbildung machen kann, die er/sie möchte. Die Sichtbarkeit von Karrieren von Astronaut*innen ist dabei nur ein kleiner Bestandteil. Wobei von der/dem Interviewpartner*in in diesem Zusammenhang auch die Rolle von Frauen in der Raumfahrt und deren Wirkung auf die Förderung von Frauen in MINT-Fächern ausgeführt wurde. Die österreichische Reserveastronautin, Carmen Possnig, stellt hier ein gutes Beispiel dar. Einerseits ist sie eine Frau und andererseits ist sie Medizinerin, was einen alternativen Karriereweg zur Astronautin bedeutet. Ihre Karriere zeigt, dass es abseits des traditionellen Weges über das Militär auch andere Bereiche gibt, durch die man in den Raumfahrt Bereich gelangen kann. Das ist ein Bild, das auch in Schweden gerne gezeigt wird. Das übergeordnete Ziel dahinter ist es, die Vielfalt wissenschaftlicher Karrieren und die dazugehörigen Möglichkeiten aufzuzeigen. Und in diesem Zusammenhang ist es ebenso wichtig, ein geschlechtsneutrales Bild zu vermitteln. So wird von der/dem Interviewpartner*in betont, dass in Schweden stets bei jeglicher Kommunikation mit Kindern aktiv versucht wird, ein männliches und ein weibliches Bild in gleicher Weise vermittelt wird.

8.9 Schweiz

Der Ansatz der Schweizer Weltraumstrategie basiert auf der Förderung von Innovation, wissenschaftlicher Exzellenz und internationaler Zusammenarbeit bei gleichzeitiger Gewährleistung von Nachhaltigkeit und Sicherheit bei Weltraumaktivitäten. Mit der Verabschiedung ihrer Weltraumpolitik 2023 bekräftigte die Schweiz ihr Engagement für den Weltraum als einen wichtigen Bereich, der grundlegende Dienste wie Kommunikation, Navigation, Wettersvorhersage und Umweltüberwachung unterstützt. Die Politik unterstreicht die

wachsende Abhängigkeit der Gesellschaft von der Weltrauminfrastruktur und die zunehmende geopolitische Bedeutung des Weltraums als operativer Bereich. Angesichts der raschen Kommerzialisierung des Weltraums betont die Schweiz eine ausgewogene Rolle des Staates und konzentriert sich auf die Schaffung autonomer Zugänge, widerstandsfähiger Infrastrukturen und regulatorischer Rahmenbedingungen, die wettbewerbsfähige Schweizer Unternehmen und hochwertige Arbeitsplätze in den Bereichen Ingenieurwesen und Wissenschaft fördern.

Die Strategie der Schweiz konzentriert sich auf drei Hauptbereiche: Zugang und Widerstandsfähigkeit durch gezielte Teilnahme an internationalen Programmen und nachhaltigen Weltraumpraktiken; Wettbewerbsfähigkeit durch Förderung wissenschaftlicher Exzellenz und Unterstützung innovativer Unternehmen; sowie Partnerschaft durch zuverlässige internationale Zusammenarbeit mit europäischen und globalen Partnern. Als Gründungsmitglied der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) ist die Schweiz maßgeblich an der Gestaltung der europäischen Weltraumpolitik und der globalen Weltraumpolitik beteiligt. Ergänzend zu ihren strategischen Prioritäten bereitet die Schweiz aktiv einen umfassenden nationalen Rechtsrahmen für Weltraumaktivitäten vor, um Sicherheit und Nachhaltigkeit für öffentliche und private Weltraumoperationen zu gewährleisten. Dieser Rahmen integriert internationale Weltraumverträge und regelt Missionsgenehmigungen, Haftung und die Registrierung von Weltraumobjekten, während gleichzeitig Innovationen gefördert und der Verwaltungsaufwand minimiert werden. Die Strategie unterstützt darüber hinaus Forschung und Bildung durch Institutionen wie die ETH Zürich und den UZH Space Hub der Universität Zürich und fördert so die nächste Generation von Weltraumfachleuten und technologische Fortschritte.

Die Schweiz strebt auch eine diplomatische Rolle in der Weltraum-Governance an und setzt sich angesichts der zunehmenden geopolitischen Spannungen im Weltraum für verantwortungsbewusstes Verhalten und Konfliktprävention ein. Die Investitionen der Schweizer Armee in die Weltrauminfrastruktur spiegeln das strategische Bewusstsein für die Herausforderungen der Weltraumsicherheit wider. Das Land ist bestrebt, Talente zu halten, der Abwanderung von Fachkräften entgegenzuwirken und sicherzustellen, dass Schweizer Weltraumunternehmen trotz des Drucks durch externe Märkte florieren.

8.9.1 Robotische Exploration

Die Aktivitäten der Schweiz im Bereich der robotischen Exploration sind führend in der Entwicklung autonomer und widerstandsfähiger Robotersysteme, die speziell für anspruchsvolle außerirdische Umgebungen konzipiert sind. Schweizer Forscher, insbesondere am Robotic Systems Lab der ETH Zürich, konzentrieren sich auf die Entwicklung von Laufrobotern, die schwieriges Gelände wie Krater, Höhlen und felsige Hänge auf dem Mond oder Mars bewältigen können – Gebiete, die für herkömmliche Radrover unzugänglich sind. Diese Roboter, darunter vierbeinige Plattformen wie „Dobby“ und „SpaceBok“, verfügen über fortschrittliche Fortbewegungsfähigkeiten, erklimmen steile Hänge und überwinden Hindernisse mit hoher Mobilität und Stabilität, wobei sie innovative Steuerungsalgorithmen und Materialien nutzen, die speziell für Umgebungen mit geringer Schwerkraft entwickelt wurden. Schweizer Roboterteams haben auch das Konzept der Roboterschwärme übernommen, bei dem mehrere Roboter kooperativ zusammenarbeiten, um Erkundungs- und Ressourcenidentifizierungsaufgaben redundant auszuführen und so die Zuverlässigkeit der Mission zu erhöhen. Dieser Ansatz wurde bestätigt, als Schweizer Forschungsgruppen die ESA Space Resources Challenge mit Roboterteams gewannen, die verschiedene Fortbewegungsmethoden wie Bein- und Radantriebssysteme kombinierten, um die Mobilität für verschiedene mondähnliche Gelände zu optimieren. An dieser multidisziplinären Initiative sind mehrere Schweizer Universitäten beteiligt, die eng zusammenarbeiten, um Robotik, künstliche Intelligenz und Planetenforschung zu integrieren.

Die Zusammenarbeit mit internationalen Partnern ist ebenfalls von Bedeutung, die Schweiz hat kürzlich über ein Schweizer Netzwerk namens CHEESE (CH Exploration, Education and Science Endeavor) eine Partnerschaft mit dem Solar System Exploration Research Virtual Institute (SSERVI) der NASA ins Leben gerufen. Diese Zusammenarbeit zielt darauf ab, robotergestützte und bemannte Erkundungsmissionen zum Mond, zum Mars und darüber hinaus zu beschleunigen und gleichzeitig wissenschaftliche Durchbrüche und technologische Innovationen unter Beteiligung mehrerer Schweizer Forschungseinrichtungen zu fördern. Darüber hinaus haben Schweizer Förderagenturen kürzlich mehr als 6 Millionen CHF für die Unterstützung von Forschungs- und Innovationsprojekten in den Bereichen Weltraumrobotik und Optik bereitgestellt.

8.9.2 Astronautische Exploration und deren gesellschaftliche Wirkung

Die Schweiz blickt auf eine lange und aktive Geschichte in der astronautischen Exploration zurück, die bis zu ihren frühen Beiträgen in den 1960er- und 1970er-Jahren reicht. Das Land spielte eine Vorreiterrolle in der europäischen Weltraumkooperation, wobei Schweizer

Wissenschaftler und Ingenieure an wichtigen internationalen Missionen, darunter dem Apollo-Programm, beteiligt waren. Schweizer Ausrüstung und Technologie sind aus der Weltraumforschung nicht mehr wegzudenken, mit bemerkenswerten Beiträgen wie der Omega Speedmaster-Uhr, die Astronauten bei Mondlandungen trugen, in der Schweiz entwickelten Sonnensegeln und fortschrittlichen Motoren, die in Marsrovern zum Einsatz kommen, sowie hochpräzisen Komponenten in Weltraumteleskopen und Satelliten. Das 2009 gegründete Schweizer Weltraumamt überwacht die aktive Beteiligung der Schweiz an der Weltraumforschung und unterstützt die Entwicklung und Nutzung weltraumgestützter Anwendungen zur Verbesserung von Gesellschaft und Industrie. Die Beiträge der Schweiz gehen über die Hardware hinaus und umfassen auch wissenschaftliche Forschung und Innovationen im Bereich der Weltraumtechnologie. Das Land beherbergt das Internationale Institut für Weltraumwissenschaften in Bern, das die Weltraumforschung und die internationale Zusammenarbeit fördert. Schweizer Universitäten und Forschungseinrichtungen haben fortschrittliche Instrumente entwickelt, darunter das Weltraumteleskop CHEOPS für die Erforschung von Exoplaneten und die Kamera CaSSIS auf dem Trace Gas Orbiter der ESA. Die Schweiz beteiligt sich auch aktiv an Entwicklungen innerhalb der Europäischen Weltraumorganisation, darunter Marsmissionen wie Mars Express, die einen bedeutenden Beitrag zur Planetenforschung geleistet haben.

Obwohl in der Schweiz in der jüngeren Vergangenheit keine expliziten Ambitionen hinsichtlich astronautischer Exploration vorhanden waren (die Gründe dafür waren zu hohen Kosten), gibt es nun einen Schweizer Karriereastronauten bei der ESA, Marco Alain Sieber. Der/die Interviewpartner*in erklärte, dass die Auswahl von Marco Sieber 2022 reines Glück war und weder mit wissenschaftlichen noch mit politischen Absichten in Zusammenhang steht. Nun wird anlässlich dieser Situation eine Strategie für die Astronauten entwickelt, wobei diese auch in Einklang mit der generellen Weltraumstrategie in der Schweiz stehen soll, welche einerseits die Förderung wissenschaftlicher Exzellenz vorsieht, das bedeutet einerseits es sollen Experimente auf der internationalen Raumstation durchgeführt werden, eventuell auch hinsichtlich Produktion in Schwerelosigkeit. Andererseits steht auch die Inspiration der nächsten Generation und die Förderung der Immatrikulation in MINT-Fächer im Vordergrund. Marco Sieber ist Mediziner und kann demnach in dieser Hinsicht eine wichtige Vorbildfunktion einnehmen.

In der Schweiz wurde das Angebot einer privaten Kurzzeitmission durch Axiom für Marco Sieber bewusst abgelehnt, da er Karriereastronaut ist und über die ESA fliegen wird. Der Mehrwert dieser kommerziellen Flüge ist laut dem/der Interviewpartner*in aus mehreren Gründen fragwürdig. Zum einen sind die Flüge im Vergleich zu ESA-Flügen kurz und deshalb

die wissenschaftlichen Möglichkeiten begrenzt. Zum anderen liegt der Mehrwert nicht so sehr in der Nation, der die Astronaut*innen zugehören, als bei einem ESA-Flug. Der/die Interviewpartner*in meinte, man würde dann versuchen, durch diesen Flug einen Mehrwert im eigenen Land zu generieren. Generell sind diese Flüge kostenintensiv und dieses Budget ist schwer aufzubringen, wenn es nicht schon vor längerer Zeit eingeplant war. Die Schwierigkeit, welche bei Weltraumaktivitäten generell besteht, ist, dass diese Entscheidungen nicht innerhalb einer Legislaturperiode getroffen und umgesetzt werden können, es braucht eine langfristige Perspektive, welche unabhängig der aktuellen politischen Situation besteht.

Auch in diesem Interview war die Wirkung eines/einer Astronaut*in auf die Gesellschaft ein wichtiges Thema. Wie auch andere ESA-Delegierte ausgeführt haben, hat auch dieser/diese Interviewpartner*in betont, dass die unmittelbaren Auswirkungen zwar schwer messbar sind aber auf jeden Fall die Sichtbarkeit von Naturwissenschaften generell gestärkt werden. Es gab schon früher einen Schweizer Astronauten, Claude Nicollier, er war zwischen 1992 und 1999 aktiv und schon damals wurde die Erfahrung gemacht, dass ein Astronaut eine große Inspiration für die Öffentlichkeit ist und viel Aufmerksamkeit erreichen kann. Die Sichtbarkeit von Weltraumaktivitäten kann außerdem durch einen/eine Astronaut*in sehr viel leichter erreicht werden kann als durch andere Aktivitäten, die oft komplex und schwierig zu kommunizieren sind. Die gewonnene Aufmerksamkeit kann sich auch auf Aktivitäten in anderen Bereichen umlenken, wie beispielsweise Erdbeobachtung, Fortschritte in der Kommunikationstechnologie und ähnliches, in denen wichtige Schritte zur Bewältigung gegenwärtiger Herausforderungen getan werden. Das führt in weiterer Folge dazu, dass mehr Budget auch für diese Aktivitäten zur Verfügung gestellt wird.

Claude Nicollier hat in der Vergangenheit bis heute viel Öffentlichkeitsarbeit geleistet, hat Schulen besucht und bei einschlägigen Veranstaltungen in aktiver Rolle teilgenommen. Er ist jetzt 80 Jahre alt und als Marco Sieber ausgewählt wurde, wurde sozusagen die Fackel von einem Astronauten an den nächsten übergeben. Selbstverständlich ist auch für Marco Sieber geplant, dass er sich stark an Öffentlichkeitsarbeit beteiligt, zum jetzigen Zeitpunkt vor dem Flug, und auch danach.

In der Schweiz wurde das Axiom Angebot für Marco Sieber bewusst abgelehnt, weil er Karriereastronaut ist und über die ESA fliegen wird. Der Mehrwert dieser kommerziellen Flüge ist laut dem/der Interviewpartner*in aus mehreren Gründen fragwürdig. Zum einen sind die Flüge im Vergleich zu ESA-Flügen kurz und deshalb die wissenschaftlichen Möglichkeiten

begrenzt. Zum anderen liegt der Mehrwert nicht so sehr in der Nation, der die Astronaut*innen zugehören, als bei einem ESA-Flug. Der/die Interviewpartner*in meinte, man würde dann versuchen, durch diesen Flug einen Mehrwert im eigenen Land zu generieren. Generell sind diese Flüge kostenintensiv und dieses Budget ist schwer aufzubringen, wenn es nicht schon vor längerer Zeit eingeplant war. Die Schwierigkeit, welche bei Weltraumaktivitäten generell besteht, ist, dass diese Entscheidungen nicht innerhalb einer Legislaturperiode getroffen und umgesetzt werden können, es braucht eine langfristige Perspektive, welche unabhängig der aktuellen politischen Situation besteht.

8.10 Ungarn

Der Ansatz der ungarischen Weltraumstrategie konzentriert sich darauf, eine zunehmend einflussreiche Rolle in internationalen Weltraumaktivitäten zu übernehmen und gleichzeitig das Potenzial des Weltraumsektors zu nutzen, um Innovationen anzuregen und ein nachhaltiges Wirtschaftswachstum auf nationaler Ebene voranzutreiben. Die erste umfassende Weltraumstrategie des Landes, die 2021 verabschiedet wurde, verfolgt drei strategische Ziele: Nutzung des Potenzials des Weltraumsektors zur Förderung von Innovation und breiten wirtschaftlichen Vorteilen, Stärkung der internationalen Rolle und des Netzwerks Ungarns in der Weltraumkooperation sowie Entwicklung der notwendigen wissensbasierten sozialen, wirtschaftlichen und infrastrukturellen Grundlagen zur Unterstützung des Wachstums in der Weltraumgemeinschaft. Die Strategie wird durch einen detaillierten kurzfristigen Aktionsplan unterstützt, der sich auf den Ausbau des Ökosystems der Raumfahrtindustrie durch eine Verdopplung der Zahl der Unternehmen und Beschäftigten bis 2025, die Förderung von F&E- und Geschäftskooperationen sowie die Verbesserung der regulatorischen und institutionellen Rahmenbedingungen zur Angleichung an die Standards der Europäischen Union konzentriert.²³²

8.10.1 Robotische Exploration

Das ungarische Engagement im Weltraum umfasst Beiträge zu wichtigen ESA- und internationalen Missionen wie BepiColombo zum Merkur, Mars Sample Return und dem Bau von Satelliten für die Erdbeobachtung und Navigation sowie die Förderung eines dynamischen Start-up-Ökosystems, das von Gründerzentren in Budapest getragen wird. Der „Hungarian

²³² Vgl. Hungary's Space Strategy;

<https://space.kormany.hu/download/d/01/f2000/Space%20Strategy%20of%20Hungary.pdf>

Space Industry Cluster“ (HUNSPACE)²³³ hat sich zum Ziel gesetzt, eine starke nationale Weltraumwirtschaft aufzubauen, indem es eine Brücke zwischen Wissenschaft, Regierung, Industrie und Öffentlichkeit schlägt und eine effiziente Zusammenarbeit und Integration in europäische Weltraumprogramme gewährleistet. Der 2007 gegründete Cluster unterstützt seine Mitglieder bei der Teilnahme an ESA-Initiativen und internationalen Weltraummissionen und spielt eine Schlüsselrolle für das Wachstum des dynamischen und schnell expandierenden Weltraumsektors in Ungarn. Durch dieses umfassende Netzwerk ist Hunspace von entscheidender Bedeutung für Ungarns Ambitionen, ein bedeutender Akteur in der globalen Weltraumindustrie zu werden. Kompetenzschwerpunkte des Clusters liegen in den Bereichen Weltraum-Sicherheit, Erdbeobachtung und Telekommunikation.²³⁴ Um die positive Entwicklung voranzutreiben und auch die Entstehung neuer Unternehmen mit Weltraumbezug in Ungarn zu fördern, ist das ESA Business Incubator Centre für Startups in Ungarn entstanden.²³⁵

Das nationale Weltraum-Ökosystem profitiert auch vom UniSpace Hungary Consortium, einer Kooperationsplattform, die die Weltraumkapazitäten ungarischer Universitäten und Forschungszentren koordiniert und sich auf interdisziplinäre Forschung in den Bereichen Ingenieurwesen, Naturwissenschaften und Gesundheitswissenschaften konzentriert. Ungarische akademische Gruppen betreiben in verschiedenen Fachbereichen bedeutende Forschung zu Robotik und Weltraumsystemen und entwickeln Steuerungssysteme, autonome Navigation und eingebettete Robotertechnologien, die sowohl zu wissenschaftlichen Missionen als auch zu kommerziellen Weltraumprojekten beitragen.

8.10.2 Astronautische Exploration

Ein herausragendes Merkmal der Weltraumambitionen Ungarns ist das nationale Astronautenprogramm HUNOR (Hungarian to Orbit), das 2021 in Zusammenarbeit mit Axion Space ins Leben gerufen wurde und dessen Ziel es ist, bis 2025 einen ungarischen Forschungsastronauten für eine 30-tägige Mission zur Internationalen Raumstation zu entsenden. Dieses Programm mit einem Budget von USD 99 Mio. stellt einen Meilenstein für Ungarns Weltraumgeschichte dar und stärkt die nationalen Kapazitäten in der Weltraumwissenschaft und -technologie, mit umfangreichen staatlichen Investitionen und internationalen Partnerschaften unter Beteiligung der ESA und der NASA. Ungarn hat 2021 einen nationalen Selektionsprozess für die Auswahl eines/einer Astronaut*in gestartet. Für die Position

²³³ <https://hunspace.org/>

²³⁴ https://www.esa.int/About_Us/50_years_of_ESA/Marking_five_years_of_Hungary_in_ESA

²³⁵ <https://commercialisation.esa.int/opportunities/esa-bic-hungary-programme/>

haben sich 244 Kandidat*innen beworben, die Top 4 Kandidat*innen wurden 2023 bei einer Pressekonferenz vorgestellt und sie begannen ihr Training. Im Mai 2024 wurde die finale Entscheidung bekanntgegeben. Der ungarische Astronaut ist Tibor Kapu und seine Reserve ist Gyula Cserényi .

9 Anhang 2: Die Ergebnisse der Befragung in der Zusammenschau

In diesem Abschnitt sind die Ergebnisse der Online-Befragung unter österreichischen Unternehmen im Explorationsbereich in der Zusammenschau dargestellt. In der Befragung wurden die Einschätzung der Unternehmen zu den wirtschaftlichen und indirekten Effekten einer Erhöhung der ESA-Wahlbeiträge jeweils für die Bereiche robotische und astronautische Exploration und in unterschiedlichen Zeithorizonten erhoben. Die Ergebnisse sind hier nach den definierten Szenarien im Vergleich dargestellt, voraus geht eine Darstellung des Status Quo.

Die erhobene Stichprobe besteht aus 16 Produktions- und Dienstleistungsunternehmen aus verschiedenen Sektoren mit Standort in Österreich. Die Befragten Unternehmen wurden am Beginn der Befragung gebeten, die bestehenden Kompetenzen und wirtschaftliche Verankerung im Bereich Weltraumexploration zu schätzen. Daraus hat sich ergeben, dass sich das Volumen an wirtschaftlicher Kraft der erhobenen Stichprobe in ungefähr 223 VZÄ-Angestellte und EUR 1.131.730,00 Umsatz übersetzen lässt.

9.1 Status Quo - Kompetenzen im Bereich Exploration in Österreich

Bevor auf die Wirkungen in den einzelnen Szenarien eingegangen wird, werden hier die Kompetenzen der befragten Unternehmen noch genauer dargestellt.

In Tabelle 28 ist die Verteilung der Kompetenzen über vier Bereiche hinweg differenziert nach der Art der Tätigkeit dargestellt. Die meisten Kompetenzen finden sich in der F&E und Lieferung von Raumfahrzeugen und Raumfahrzeugkomponenten aber auch in Beratungstätigkeiten in diesem Bereich. Die Unternehmen bekamen im Fragebogen durch eine offene Frage, die Gelegenheit, ihre Kompetenzen genauer zu beschreiben und Beispiele zu nennen, daher lässt sich hier ausführen, in welchen Bereichen hier Aktivitäten passieren.

Tabelle 28: Verteilung der Kompetenzen der Unternehmen im Explorationsbereich (n=16)

Tätigkeitsbereich / Kompetenzen	F&E	Beratung	Lieferung
Raumfahrzeuge und Komponenten	11	4	8
Robotische Exploration	5	3	3
Systeme zur Unterstützung menschlicher (astronautischer) Exploration	5	3	5
Sonstige Raumfahrtssystemtechnologien für explorative Anwendungen	8	6	4

Quelle: Eigene Erhebung und Berechnung

9.1.1 Raumfahrzeuge und -komponenten

Die Unternehmen sind in vielfältigen Anwendungsfeldern aktiv, von der Herstellung einzelner spezieller Instrumente oder Komponenten über die Auslegung und Integration ganzer Systeme und Subsysteme für Raumfahrzeuge bis zur Lieferung von Mess- und Prüftechnik. Einige Unternehmen leisten einen Beitrag zur F&E von Antriebssystemen für Raumfahrzeuge, beispielsweise durch Herstellung von Komponenten durch 3D Drucktechniken, chemische Antriebe (Brennkammern und Katalysatorträger) oder die Entwicklung einzelner Spulen und Ventile. Außerdem wird die Entwicklung und Lieferung von Treibstofftanks und Helium Tanks in Zukunft angestrebt. Einen wichtigen Beitrag zur Raumfahrtindustrie leisten die Unternehmen einerseits durch die Entwicklung tribologischer Beschichtungen für mechanisch beanspruchte Systeme und Trockenschmiersysteme, sowie durch die Simulation Kardan Gelenk des Oberstufen Antriebs der Ariane 5 und 6 im Unterauftrag.

9.1.2 Robotische Exploration

Auch im Bereich robotischen Exploration sind Kompetenzen vorhanden, diese beziehen sich wieder auf die Lieferung von Mess- und Prüftechniken, sowie Trockenschmiersysteme aber auch auf die F&E von Rover-komponenten und Hochtemperatur beständige Kunststoffe als alternativ Werkstoff zu Stahl, Aluminium mit niedrigem Gewicht bzw. Laufeigenschaften.

Weiters findet Produktion und Lieferung von „Robotic Arms“, „Lander Avionic“, Antriebssysteme für „Rendezvous“ und „Docking Maneuver“, und „Thermal Hardware“ statt.

9.1.3 Astronautische Exploration

Die Kompetenzen im Bereich astronautische Exploration decken wieder die Entwicklung verschiedener Raumfahrzeugkomponenten ab, wie Antriebssysteme, Trockenschmiersysteme oder „built-to-print“ und „build-to-spec“ Komponenten für das NASA Space Launch System. Es wurden jedoch auch Kompetenzen in der Weltraumarchitektur und Design angegeben, wie die Innenraumkonfiguration von Raumstationen, Habitaten auf extraterrestrischen Oberflächen, 3D Druck mit Mondregolith für Habitate und Bio-Integrierte Materialien für die Raumfahrt.

Ein weiteres Feld, in dem Kompetenzen vorhanden sind, ist der Telekommunikationsbereich, welcher für die astronautische Exploration eine große Rolle spielt. Hier wurden „Time Triggered Ethernet HW Komponenten“, „Electric Thruster Pointing Mechanism“, Avionik, die Sub-Systems steuert (z.B. Live-Support, Guidance Navigation and Control), Telemetrie, Telecommanding und „Thermal Control“ angegeben.

Schlussendlich sind auch Kompetenzen vorhanden, welche Astronaut*innen direkt unterstützen. In diesem Zusammenhang wurde die Beteiligung an ESA-Projekten, wie PEXTEX oder DEAR genannt, welche sich mit Staubmitigation und Textilforschung für Raumanzüge beschäftigen. In Zukunft wird die Entwicklung von Sauerstofftanks angestrebt.

9.1.4 Sonstige Raumfahrtssystemtechnologien

Die befragten Unternehmen weisen noch in weiteren diversen Bereichen Kompetenzen auf. Hier wurden der Cubesat Instrumentenbau für ADLER-1/ADLER-2 Missionen und TT&C (Kommunikation) Systeme in Space- und Earth Segment für Satelliten genannt. Ein Unternehmen gab an, Raumfahrtberatung für die non-space Industrie, die in diesem Sektor aktiv werden möchte, anzubieten. Ein anderes, Software für Modellierung (SysML, BPMN, UML) zu entwickelnd und wieder ein anderes, Technologie zu liefern, die es ermöglicht sichere hoch-zuverlässige Systeme für die bemannte und unbemannte (robotische) Raumfahrt einfacher und besser konfigurieren zu können. Im Forschungsbereich werden noch Studien zu Recycling und Re-Use, Vernetzung und Logistik von Komponenten einer lunaren Infrastruktur erwähnt.

9.2 Status Quo - Beteiligung an F&E Programmen und F&E Kapazitäten

Tabelle 29 zeigt die Verteilung der Unternehmen in ihrer Beteiligung an verschiedenen Explorations-Programmbereichen. Es zeigt sich, dass die meiste Beteiligung im NASA ARTEMIS Programm stattfindet aber auch in den ESA-Programmen „Humans in LEO“ und „Humans Beyond LEO“ gab es eine stärkere Beteiligung der Unternehmen.

Tabelle 29: Beteiligung in Programmbereichen (n=16)

	Raumfahrzeuge und Komponenten	Robotische Systeme	Systeme zur Unterstützung menschlicher Raumfahrt	Sonstige Raumfahrt-systemtechnologien	Ohne Zuordnung
ESA ExPert	1	0	1	1	0
ESA CS#1 Humans in LEO	1	1	2	1	0
ESA CS#2 Humans Beyond LEO	1	1	3	1	0
ESA CS#3 Lunar Robotic Exploration	1	1	0	0	0
ESA CS#4 Mars Robotic Exploration	1	2	0	0	0
EU Forschungs-rahmenprogramm	0	0	0	1	0
NASA ARTEMIS	2	1	4	3	0
NASA Mars Exploration Program (MEP)	1	0	1	0	0

	Raumfahrzeuge und Komponenten	Robotische Systeme	Systeme zur Unterstützung menschlicher Raumfahrt	Sonstige Raumfahrt- systemtech- nologien	Ohne Zuordnu ng
New Space Companies globally	0	0	0	1	0
Österreichische lokale Programme	0	0	0	1	0
ESA GSTP	1	0	1	0	0
A6	1	0	0	0	0
JAXA Exploration	0	0	0	0	1
ASI Multi Purpos Habitat	0	0	0	0	1
NASA CLD	0	0	0	0	1
Ariane/ Ariane Astris	1	0	0	0	1
ESA A3Lub2	1	0	0	0	0

Quelle: Eigene Erhebung und Berechnung

Im Bereich astronautische Exploration haben die Unternehmen insgesamt ihre F&E-Kapazitäten um 33 VZÄ im Zeitraum 2023-2025 erhöht, im Bereich der robotischen Exploration waren es im gleichen Zeitraum nur rund 11 VZÄ (siehe Tabelle 30).

Tabelle 30: F&E Kapazitätsaufbau in der Periode 2023-2025 insgesamt (n=16)

Tätigkeitsbereich	F&E-Kapazitätsaufbau in VZÄ
Robotische Exploration	11,2
Astronautische Exploration	33

Quelle: Eigene Erhebung und Berechnung

Tabelle 31 zeigt die Einnahmen und Investitionen der Unternehmen insgesamt, aufgeteilt für die Bereiche der robotischen und astronautischen Exploration. Es zeigt sich hier, dass die Investitionen, sowie die Einnahmen im astronautischen Bereich deutlich höher waren als im robotischen Bereich. Besonders hoch sind die Einnahmen aus Kontrakten mit internationalen Partnern, diese scheinen bedeutsamer für die Unternehmen gewesen sein als die Einnahmen aus ESA-Kontrakten und anderen Kontrakten in Europa. Auch im Bereich der robotischen Exploration fallen die Einnahmen aus Kontrakten mit internationalen Partnern am höchsten aus.

Tabelle 31: Betriebliche Einnahmen und Investitionen insgesamt in Tsd. EUR (n=16)

	Robotische Exploration, 2023-2025	Astronautische Exploration, 2023-2025
Zusätzliche betriebliche Investitionen zu ESA-Projekten	485.000	23.185.200
Einnahmen aus ESA Terra Novae Industry Contracts	1.700.000	11.000.000
Einnahmen aus sonstigen Kontrakten in Europa	630.000	4.125.000
Einnahmen aus Kontrakten mit internationalen Partnern	2.710.000	92.946.000

Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung

9.3 Szenario 1 und Szenario 4

In diesem Abschnitt wird dargestellt, wie die befragten Unternehmen die Wirkungen für die Szenarien 1 und 4, also bei einem gleichbleibenden Niveau der österreichischen Wahlbeiträge zum ESA-Budget von 2026 bis 2031, in Zukunft eingeschätzt haben.

Tabelle 32 zeigt, dass die Unternehmen angegeben haben, in diesem Szenario im Zeitraum 2026-2031 für robotische und astronautische Exploration jeweils ihre Kapazitäten, um insgesamt 11 VZÄ auszubauen. Vergleicht man diese Werte mit jenen zum Kapazitätsaufbau im Bereich der astronautischen Exploration zwischen 2023 und 2025, so zeigt sich, dass diese Einschätzung geringer ausfällt als in der Referenzperiode (vgl. Tabelle 30).

Tabelle 32: Szenario 1 & 4 - F&E Kapazitätsaufbau (n=14)

Tätigkeitsbereich	F&E-Kapazitätsaufbau in VZÄ
Robotische Exploration, 2026-2031	11
Astronautische Exploration, 2026-2031	11

Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung

Betrachtet man die Einschätzungen der Unternehmen zu betrieblichen Investitionen und Einnahmen in den Jahren 2026 bis 2031, gestalten sich diese sehr ähnlich, wie sie sich in der vergangenen Periode zwischen 2023 und 2025 verhalten haben (siehe Tabelle 33)

Tabelle 33: Szenario 1 & 4- betriebliche Investitionen und Einnahmen in EUR (n=14)

	Robotische Exploration, 2026-2031	Astronautische Exploration, 2026-2031
Zusätzliche betriebliche Investitionen zu ESA-Projekten	200.000	25.130.200
Einnahmen aus ESA Terra Novae Industry Contracts	255.000	15.287.000

Einnahmen aus sonstigen Kontrakten in Europa	935.000	5.235.000
Einnahmen aus Kontrakten mit internationalen Partnern	4.700.000	150.718.000

Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung

9.4 Szenario 2

Szenario 2 geht davon aus, dass die österreichischen Wahlbeiträge zum ESA-Budget von EUR 15,5 Mio. auf EUR 80 Mio. erhöht werden, wobei der Schwerpunkt des Engagements in der robotischen Exploration liegt. Die Unternehmen wurden befragt, ob sie einschätzen, dass durch diese Erhöhung direkt neue Handelnde im Bereich Exploration nach Österreich gelockt werden könnten, 100% haben diese Frage mit „Ja“ beantwortet. Beispiele dafür, welche in einer offenen Antwortkategorie angegeben werden konnten, waren Klein- und Mittelunternehmen ebenso wie etablierte bedeutende Spieler*innen, wie Magna Aerospace, Ruag Space oder Gate Space. Durch eine stärkere Beteiligung in astronautische Exploration könnten insbesondere Handelnde aus dem Human Health Sektor auf Österreich aufmerksam werden aber auch in anderen Forschungsbereiche, wie beispielsweise Advanced Materials oder Advanced Manufacturing könnten Interesse geweckt werden.

Tabelle 34: Szenario 2 und 3 - F&E Kapazitätsaufbau (n=12)

Tätigkeitsbereich	F&E-Kapazitätsaufbau in VZÄ
Szenario 2: Robotische Exploration, 2026-2031	51
Szenario 3: Astronautische Exploration, 2026-2031	61,5

Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung

Außerdem wurde ausgeführt, dass von einer Erhöhung der Wahlbeiträge in erster Linie Unternehmen, die bereits in Österreich angesiedelt sind, profitieren würden. Da die Wahlbei-

träge in Österreich bis dato gering sind, haben schon mehrere Unternehmen sich in Ländern, mit höheren ESA-Beitragszahlungen niedergelassen, wenn sie sich stärker in den Bereich Exploration einbringen wollten. Wenn Österreich seine Wahlbeiträge signifikant erhöhen würde, könnten Unternehmen wie Peak Technology, Beyond Gravity, Magna, Liquifer oder AVL Explorationsaktivitäten vermehrt in Österreich ansiedeln.

Tabelle 34 zeigt die Angaben der Unternehmen zu ihrem F&E-Kapazitätsaufbau bei erhöhten Wahlbeiträgen. Diese Einschätzungen fallen deutlich höher aus als die Einschätzungen bei gleichbleibenden Beiträgen (siehe Tabelle 34 33).

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt die betrieblichen Einnahmen und Investitionen im Bereich robotischer Exploration bei gleichbleibenden und erhöhten Beiträgen im Vergleich. Dabei wird deutlich, dass sich diese bei einer signifikanten Erhöhung der Beiträge ebenfalls signifikant erhöhen würden. Die stärkste Erhöhung zeigt sich bei den Investitionen in ESA-Projekte, dies zeigt, dass Unternehmen bei einer stärkeren finanziellen Verpflichtung Österreichs bei der ESA auch eher bereit sind, in ESA-Projekte zu investieren.

Tabelle 35: Betriebliche Einnahmen und Investitionen 2026-2031 Szenario 1 und 2 im Vergleich (n=12)

	Szenario 1 (gleichbleibende Wahlbeiträge)	Szenario 2 (erhöhte Wahlbeiträge)
Zusätzliche betriebliche Investitionen zu ESA-Projekten	EUR 200.000	EUR 11.300.000
Einnahmen aus ESA Terra Novae Industry Contracts	EUR 255.000	EUR 4.520.000
Einnahmen aus sonstigen Kontrakten in Europa	EUR 935.000	EUR 4.520.000
Einnahmen aus Kontrakten mit internationalen Partnern	EUR 4700.000	EUR 13.600.000

Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung

Tabelle 36 zeigt die Einschätzungen zu den direkten wirtschaftlichen Effekten im Bereich Robotik zwischen 2032 und 2040 bei erhöhten Wahlbeiträgen. Es zeigt sich deutlich, dass die Unternehmen die wirtschaftlichen Effekten bei gleichbleibendem Niveau der Wahlbeiträge pessimistisch und bei erhöhtem Niveau sehr optimistisch einschätzen, alle Unternehmen geben an, dass die wirtschaftlichen Effekte bei erhöhten Beiträgen positiv im Sinne eines Wachstums ausfallen werden.

Tabelle 36: Szenario 2 - erwartete direkte wirtschaftliche Effekte 2032-2040 im Vergleich zu Szenario 1 (N=12)

Erwarteter Effekt	Szenarioannahme	Signifikanter Rückgang	Rückgang	Zuwachs	Signifikanter Zuwachs
F&E Kapazitätsaufbau	Gleichbleibende Beiträge	0%	13%	88%	0%
	Erhöhte Beiträge	0%	0%	60%	40%
Zusätzliche betriebliche Investitionen zu ESA-Projekten	Gleichbleibende Beiträge	0%	20%	80%	0%
	Erhöhte Beiträge	0%	0%	50%	50%
Einnahmen aus ESA Terra Novae Industry Contracts	Gleichbleibende Beiträge	0%	40%	60%	0%
	Erhöhte Beiträge	0%	0%	67%	33%
Einnahmen aus sonstigen Kontrakten in Europa	Gleichbleibende Beiträge	0%	33%	67%	0%
	Erhöhte Beiträge	0%	0%	60%	40%
Einnahmen aus Kontrakten mit internationalen Partnern	Gleichbleibende Beiträge	0%	20%	80%	0%
	Erhöhte Beiträge	0%	0%	56%	44%

Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung

Tabelle 37 stellt die unternehmerischen Einschätzungen zu den indirekten wirtschaftlichen und gesamtgesellschaftlichen Effekten bis 2031 wieder bei gleichbleibenden und erhöhten Wahlbeiträgen im Vergleich dar. Es zeigt sich, dass die Effekte durchwegs bei erhöhten Wahlbeiträgen positiver eingeschätzt werden. Besonders positiv werden die Wirkungen in den Bereichen Absicherung der technologischen Souveränität der EU/ Österreichs, Steigerung der Attraktivität von Ausbildungen in MINT-Bereich, neue wissenschaftlichen Erkenntnisse und verbesserter internationale Zusammenarbeit in Szenario 2 bewertet.

Tabelle 37: Szenario 2 - erwartete indirekte Effekte bis 2031 erwartete indirekte Effekte im Vergleich zu Szenario 1 (N=12)

Erwarteter Effekt	Szenarioannahme	Sehr gering	Gering	Hoch	Sehr hoch
Produktinnovationen für andere Märkte	Gleichbleibende Beiträge	64%	18%	18%	0%
	Erhöhte Beiträge	30%	30%	0%	40%
Prozessinnovationen für andere Branchen	Gleichbleibende Beiträge	64%	9%	27%	0%
	Erhöhte Beiträge	40%	10%	20%	30%
Absicherung der technologischen Souveränität der EU / Österreichs	Gleichbleibende Beiträge	55%	9%	36%	0%
	Erhöhte Beiträge	22%	11%	11%	56%
Steigerung der Attraktivität von Ausbildungen im MINT-Bereich	Gleichbleibende Beiträge	45%	9%	45%	0%
	Erhöhte Beiträge	20%	10%	30%	40%
Neue wissenschaftliche Erkenntnisse	Gleichbleibende Beiträge	40%	10%	50%	0%
	Erhöhte Beiträge	11%	11%	22%	56%
Verbesserte internationale Zusammenarbeit	Gleichbleibende Beiträge	27%	18%	45%	9%
	Erhöhte Beiträge	10%	20%	10%	60%
Andere indirekte Effekte	Gleichbleibende Beiträge	50%	17%	17%	17%
	Erhöhte Beiträge	33%	0%	17%	50%

Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung

Im Zeithorizont bis 2040 werden ebenfalls die Effekte bei erhöhten Wahlbeiträgen positiver bewertet als bei einem gleichbleibenden Niveau der Wahlbeiträge. Bei dieser langfristigen Perspektive werden insbesondere im Forschungsbereich und in der internationalen Kooperation positive Effekte erwartet (siehe Tabelle 38).

Tabelle 38: Szenario 2 - erwartete indirekte Effekte bis 2040 im Vergleich zu Szenario 1 (n=10)

Erwarteter Effekt	Szenarioannahme	Sehr gering	Gering	Hoch	Sehr hoch
Produktinnovationen für andere Märkte	Gleichbleibende Beiträge	50%	20%	30%	0%
	Erhöhte Beiträge	33%	11%	11%	44%
Prozessinnovationen für andere Branchen	Gleichbleibende Beiträge	70%	0%	30%	0%
	Erhöhte Beiträge	44%	11%	11%	33%
Absicherung der technologischen Souveränität der EU / Österreichs	Gleichbleibende Beiträge	60%	20%	20%	0%
	Erhöhte Beiträge	44%	0%	22%	33%
Steigerung der Attraktivität von Ausbildungen im MINT-Bereich	Gleichbleibende Beiträge	40%	30%	30%	0%
	Erhöhte Beiträge	22%	11%	22%	44%
Neue wissenschaftliche Erkenntnisse	Gleichbleibende Beiträge	33%	22%	33%	11%
	Erhöhte Beiträge	13%	13%	25%	50%
Verbesserte internationale Zusammenarbeit	Gleichbleibende Beiträge	30%	20%	30%	20%
	Erhöhte Beiträge	11%	11%	11%	67%
Andere indirekte Effekte	Gleichbleibende Beiträge	50%	0%	0%	50%
	Erhöhte Beiträge	20%	0%	20%	60%

Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung

9.5 Szenario 3

Im Szenario 3 werden wie bei Szenario 2 die ESA-Wahlbeiträge auf 80 Mio. EUR ausgeweitet, jedoch wird hier insbesondere das Engagement in der astronautischen Exploration erhöht. In diesem Abschnitt wird dargestellt, wie die befragten Unternehmen die Effekte für dieses Szenario einschätzen.

Schon im vorherigen Abschnitt wurde dargestellt, dass bei einer signifikanten Erhöhung der Wahlbeiträge, die Kapazitäten im Bereich astronautischer Exploration erhöht werden würden (siehe Tabelle 34). In Tabelle 39 sind die geplanten betrieblichen Einnahmen und Investitionen in der astronautischen Exploration für Szenario 1 und 3 im Vergleich dargestellt. Wieder zeigt sich, dass sich sowohl Investitionen als auch Einnahmen in Szenario 3 deutlich erhöhen würden. Besonders stark würden nach Einschätzung der Unternehmen die Einnahmen aus ESA-Kontrakten und diversen anderen Kontrakten in Europa ansteigen.

Tabelle 39: Betriebliche Einnahmen und Investitionen 2026-2031 Szenario 1 und 3 im Vergleich (n=12)

	Szenario 3	Szenario 1
Zusätzliche betriebliche Investitionen zu ESA-Projekten	EUR 57.361.000	EUR 25.130.200
Einnahmen aus ESA Terra Novae Industry Contracts	EUR 46.220.000	EUR 15.287.000
Einnahmen aus sonstigen Kontrakten in Europa	EUR 46.570.000	EUR 5.235.000
Einnahmen aus Kontrakten mit internationalen Partnern	EUR 257.338.000	EUR 150.718.000

Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung

Ähnlich wie in Szenario 2 erwarten sich die Unternehmen auch in Szenario 3 deutlich positivere wirtschaftliche Entwicklungen als in Szenario 1 (siehe Tabelle 39). Besonders bei Einnahmen aus ESA Terra Novae Industry Contracts würden sich die Unternehmen bei einer Erhöhung der Wahlbeiträge mit Engagement in astronautischer Exploration einen signifi-

kanten Zuwachs der Einnahmen erwarten. Diese positive Einschätzung besteht auch in längerer Frist. Werden die erwarteten direkten wirtschaftlichen Effekte bis zum Jahr 2040 betrachtet, so zeigt sich, dass die Mehrheit der antwortenden Unternehmen hier Zuwächse bzw. teilweise signifikante Zuwächse erwartet. Tabelle 40 präsentiert hierzu die Einschätzung der jeweils antwortenden Unternehmen.

Tabelle 40: Szenario 3 - erwartete direkte wirtschaftliche Effekte 2032-2040 (n=10)

Erwarteter Effekt	Szenarioannahme	Signifikanter Rückgang	Rückgang	Zuwachs	Signifikanter Zuwachs
F&E Kapazitätsaufbau	Gleichbleibende Beiträge	0%	25%	75%	0%
	Erhöhte Beiträge	0%	0%	63%	38%
Zusätzliche betriebliche Investitionen zu ESA-Projekten	Gleichbleibende Beiträge	0%	33%	67%	0%
	Erhöhte Beiträge	0%	0%	67%	33%
Einnahmen aus ESA Terra Novae Industry Contracts	Gleichbleibende Beiträge	0%	33%	67%	0%
	Erhöhte Beiträge	0%	0%	43%	57%
Einnahmen aus sonstigen Kontrakten in Europa	Gleichbleibende Beiträge	0%	33%	67%	0%
	Erhöhte Beiträge	0%	0%	71%	29%
Einnahmen aus Kontrakten mit internationalen Partnern	Gleichbleibende Beiträge	0%	33%	67%	0%
	Erhöhte Beiträge	0%	0%	67%	33%

Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung

Ähnlich wie in Szenario 2 werden die indirekten Effekte im Zeithorizont bis 2031 auch hier etwas positiver bewertet. Der stärkste Effekt nach Einschätzung der Unternehmen ist in

Szenario 3 die Steigerung der Attraktivität von Ausbildungen im MINT-Bereich (siehe Tabelle 41). Dieser Effekt ist auch in den qualitativen Interviews von internationalen und nationalen Expert*innen als indirekter Effekt astronautischer Exploration stärksten betont worden.

Tabelle 41: Szenario 3 - erwartete indirekte Effekte bis 2031 im Vergleich zu Szenario 1 (n=12)

Erwarteter Effekt	Szenarioannahme	Sehr gering	Gering	Hoch	Sehr hoch
Produktinnovationen für andere Märkte	Gleichbleibende Beiträge	64%	18%	18%	0%
	Erhöhte Beiträge	40%	10%	30%	20%
Prozessinnovationen für andere Branchen	Gleichbleibende Beiträge	73%	9%	18%	0%
	Erhöhte Beiträge	40%	10%	20%	30%
Absicherung der technologischen Souveränität der EU / Österreichs	Gleichbleibende Beiträge	73%	0%	27%	0%
	Erhöhte Beiträge	40%	0%	10%	50%
Steigerung der Attraktivität von Ausbildungen im MINT-Bereich	Gleichbleibende Beiträge	36%	18%	45%	0%
	Erhöhte Beiträge	20%	10%	0%	70%
Neue wissenschaftliche Erkenntnisse	Gleichbleibende Beiträge	64%	0%	36%	0%
	Erhöhte Beiträge	30%	10%	10%	50%
Verbesserte internationale Zusammenarbeit	Gleichbleibende Beiträge	45%	27%	27%	0%
	Erhöhte Beiträge	20%	20%	0%	60%
Andere indirekte Effekte	Gleichbleibende Beiträge	60%	0%	20%	20%
	Erhöhte Beiträge	17%	0%	17%	67%

Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung

Auch in der langfristigen Perspektive wird der Aspekt der Steigerung der Attraktivität von Ausbildungen im MINT-Bereich als stärkster Effekt bewertet (siehe Tabelle 42).

Tabelle 42: Szenario 3 - erwartete indirekte Effekte bis 2040 im Vergleich zu Szenario 1 (n=10)

Erwarteter Effekt	Szenarioannahme	Sehr gering	Gering	Hoch	Sehr hoch
Produktinnovationen für andere Märkte	Gleichbleibende Beiträge	70%	0%	30%	0%
	Erhöhte Beiträge	44%	0%	0%	56%
Prozessinnovationen für andere Branchen	Gleichbleibende Beiträge	70%	10%	10%	10%
	Erhöhte Beiträge	44%	0%	0%	56%
Absicherung der technologischen Souveränität der EU / Österreichs	Gleichbleibende Beiträge	70%	10%	20%	0%
	Erhöhte Beiträge	44%	0%	0%	56%
Steigerung der Attraktivität von Ausbildungen im MINT-Bereich	Gleichbleibende Beiträge	60%	0%	40%	0%
	Erhöhte Beiträge	22%	0%	11%	67%
Neue wissenschaftliche Erkenntnisse	Gleichbleibende Beiträge	70%	10%	20%	0%
	Erhöhte Beiträge	44%	0%	0%	56%
Verbesserte internationale Zusammenarbeit	Gleichbleibende Beiträge	60%	20%	20%	0%
	Erhöhte Beiträge	22%	11%	11%	56%
Andere indirekte Effekte	Gleichbleibende Beiträge	50%	0%	25%	25%
	Erhöhte Beiträge	33%	0%	0%	67%

Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung

10 Anhang 3: Wirkungsanalysen zu astronautischer und / oder robotischer Exploration

Tabelle 43: Überblick über verfügbare Wirkungsanalysen zu astronautischer und / oder robotischer Exploration

Titel	Jahr der Veröffentlichung	Autor*in	Land
Evaluering av industrielle ringvirkninger av norsk deltakelse i ESA-samarbeidet	2022	Norwegian Space Agency	Norwegen
More than a Space Programme: The Value of Space Exploration to Empower the Future of Europe	2020	ESPI, BCG	ESA-Mitgliedsstaaten
Human Spaceflight, Microgravity, And Exploration Programme Board 2022 – Annual Report On Terra Nova Benefits Management	2019	ESA	ESA-Mitgliedsstaaten
Towards EU Leadership In The Space Sector Through Open Strategic Autonomy - Cost Of Non-Europe	2019	EPRS – European Parliamentary Research Service	EU-Mitgliedsstaaten
Economic Growth And National Competitiveness Impacts Of The Artemis Program	2016	NASA	USA
ESA Terra Nova Socioeconomic Impacts and Benefits Assessment: final Report	2016	Euroconsult	ESA-Mitgliedsstaaten
Impact Evaluation of UK Investment in ESA	2015	Technopolis	Großbritannien
International Space Station: Benefits For Humanity	2015	ISS Program Science Forum (PSF)	ISS Partnerländer
Socio-Economic Elements Of European Human Space Transportation	2013	PWC	Ohne spezifischen geographischen Fokus
Socio-Economic Impacts Of ESA Programmes	2013	ESA	ESA-Mitgliedsstaaten
NASA & Moon To Mars Program: Economic Impact Study	2007	ASRC Federal	USA
Benefits Of The ESA Exploration Roadmap In Socioeconomics (BEERS)	2007	The Open University	ESA-Mitgliedsstaaten

Titel	Jahr der Veröffentlichung	Autor*in	Land
Impact Assessment: UK Space Agency Principia Campaign	2022	UKSA	Großbritannien
Assessment Of The Socio-Economic Impact Of The ESA Participation To The International Space Station (ISS) Programme	2020	PWC; Cambridge Econometrics; Airbus D&S; Thales Alenia Space	ESA-Mitgliedsstaaten
Socioeconomic Impacts From Space Activities In The EU In 2015 And Beyond	2019	PWC	EU-Mitgliedsstaaten
Economic Impacts Of An International Lunar Exploration Endeavour – International Symposium On Moon 2020-2030	2019	London Economics	Ohne spezifischen geographischen Fokus
Comprehensive Socio-Economic Impact Assessment of the Canadian Space Sector	2016	Euroconsult	Kanada
Benefits Stemming from Space Exploration	2016	International Space Exploration Coordination Group	Ohne spezifischen geographischen Fokus
NASA Socio-Economic Impacts	2015	The Tauri Group	USA
Impacts Of Space Activities	2015	OECD	OECD-Mitgliedsstaaten
Societal Impact of Spaceflight	2013	NASA	Ohne spezifischen geographischen Fokus

Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung

Anhang 4: Schlagwörter für die bibliometrische Analyse

General Space Exploration

- Space exploration
- Deep space exploration
- Human spaceflight
- Robotic spacecraft
- Space missions
- Lunar exploration
- Martian exploration
- Asteroid mining

Space Science

- Astronomy
- Astrophysics
- Cosmology
- Planetary science
- Astrobiology
- Space weather

Human Factors and Biology

- Human spaceflight research
- Radiation exposure in space
- Psychological impacts of space travel
- Life support systems for astronauts
- Microbiology in spacecraft environments

Technology and Innovation

- Space technology
- Spacecraft design

- Rocket propulsion systems
- Satellite technology
- Space launch vehicles
- Reusable rockets
- On-orbit manufacturing

