

ÜBERFÜLLTER ORBIT



© CC0 (Pawel Czerwinski)

ZUSAMMENFASSUNG

Die starke Zunahme an Satelliten sorgt zunehmend für Probleme im am meisten genutzte Bereich der Erdumlaufbahn. Er ist bereits fast zu voll mit Satelliten und Weltraummüll, und eine problemlose Nutzung wird immer schwieriger. Durch weitere Innovationen, etwa Sonnenstrom aus dem All, wird sich das Problem verschärfen. Die Überfüllung führt schon jetzt zu schädlicher Lichtverschmutzung und kostspieligen Ausweichmanövern. Asteroideneinschläge auch fern der Erde und Cyberangriffe könnten zu einer Kettenreaktion von Kollisionen führen. Diese könnten den Ausfall wichtiger Beobachtungs- und Steuersysteme zur Folge haben. Die beginnende Nutzung sehr niedriger Umlaufbahnen ist mit weniger Weltraumschrott verbunden, löst aber nicht die grundlegende Problematik. Eine umfassende internationale Zusammenarbeit und Regulierung, insbesondere auch der kommerziellen Akteure, ist dringlich.

*Ressourcenproblem
Weltraum muss
dringend gelöst werden*

ÜBERBLICK ZUM THEMA

Die derzeit meistgenutzten Bereiche der Erdumlaufbahn sind der Low Earth Orbit (LEO) bis 2.000 km Höhe, der geostationäre Orbit (GEO) bei 35.786 km sowie der Medium Earth Orbit (MEO) dazwischen.¹ Mit Stand April 2026 befinden sich insgesamt etwa 32.000 Satelliten und Fragmente von über 10 cm Größe im Erdorbit, wenn man auch Schätzungen über z. T. geheime militärische Satelliten miteinbezieht.² Auch GEO ist überfüllt;³ MEO weniger, aber schon 2021 musste Galileo Weltraumschrott ausweichen.⁴ Der rasante Anstieg der neu in den Orbit platzierten Satelliten verschärft bestehende Probleme. Mehrere kürzlich begonnene und erwartbare Entwicklungen erfordern eine holistische Betrachtung der miteinander verschränkten, verstärkten und neu auftretenden Ressourcenprobleme und Risiken im Orbit.

Schon vor einiger Zeit wurde klar, dass die **Umweltwirkungen der Raumfahrt** nicht länger vernachlässigbar sind – dazu zählen Schadstoffe, die Behinderung der Weltraumbeobachtung sowie von satellitengestützter Fernerkundung durch die Reflexion von Licht und das Verdecken von Radiosignalen aus dem All. Es ist schon länger bekannt, dass die hohe Dichte an Satelliten und **Weltraummüll** vor allem im LEO bereits ein signifikantes Risiko für das Kessler-Syndrom birgt – eine Kaskade an Kollisionen, bei der die Splitter, die bei Kollisionen entstehen, mit weiteren Objekten kollidieren. Dadurch, dass immer mehr Ausweichmanöver notwendig werden, durch welche mehr Treibstoff verbraucht wird und die Lebensdauer der Satelliten sinkt,⁵ hängen Weltraummüll und Umweltwirkungen direkt zusammen.

Auch Asteroiden könnten eine Kettenreaktion auslösen. So hätte ein Einschlag des Asteroiden 2024 YT4⁶ auf dem Mond die Kraft einer großen Atombombe und selbst der geringe Anteil an dadurch herausgeschleudertem Gestein, das in die Erdumlaufbahn gelangen würde, würde je nach Flugbahn das Meteorenaufkommen im Orbit verzehn- oder verhundertfachen.⁷

Gleichzeitig führt die hohe Konzentration an anthropogenen Treibhausgasen in der Erdatmosphäre zu einer Kühlung und Kontraktion der Thermosphäre, einer geringeren Dichte der Atmosphäre im LEO und einem geringeren Sog auf Weltraumschrott in Richtung Erde. Dies verzögert das Verglühen von Objekten (Parker et al., 2025). Neben dem Risiko, Schäden an Satelliten und Raumfahrzeugen zu verursachen, ist Weltraumschrott auch deswegen problematisch, weil er viele Aluminiumteile enthält. Diese verändern die Reflexion von Licht im Orbit (die Albedo), und, bei Oxidierung, den Strahlungsantrieb. Dadurch können sie das Klima beeinflussen und die Ozonschicht schädigen (Hayashi et al., 2025). Ande-

Viele Satelliten und Müll im Orbit

Kollisionsrisiko und Verschmutzungsprobleme verschärfen sich

Asteroideneinschlag auf dem Mond könnte Risiko von Kollisionen in der Erdumlaufbahn erhöhen

... Treibhausgase ebenso

¹ sdo.esoc.esa.int/publications/Space_Environment_Report_I9R1_20251021.pdf.

² theguardian.com/science/ng-interactive/2026/mar/31/this-feels-fragile-how-a-satellite-smashing-chain-reaction-could-spiral-out-of-control.

³ physicsworld.com/a/space-debris-threat-to-geosynchronous-satellites-has-been-dramatically-underestimated/.

⁴ eusst.eu/newsroom/news/eu-sst-supports-galileo-first-collision-avoidance-manoevre-galileo-spacecraft.

⁵ rand.org/pubs/research_briefs/RBA1949-1.html.

⁶ Wofür eine Eintrittswahrscheinlichkeit von 4 % für das Jahr 2032 geschätzt wird.

⁷ space.com/astronomy/asteroids/asteroid-2024-yr4-wont-earth-but-it-could-still-ruin-your-day-heres-how.

rerseits enthält Weltraummüll noch weitere kritische Rohmaterialien und seltene Erden, was eine Wiederaufbereitung und Wiederverwertung – sofern technisch machbar – erstrebenswert machen würde (ibid.).

Es befinden sich mehrere Mega-Konstellationen – Netzwerke aus Hunderten bis Tausenden von Satelliten – im LEO und weitere sind geplant (Abbas, 2022). Dadurch erhöht sich das Aufkommen an Weltraumschrott signifikant und unvollständig verglühte Teile könnten beim Sturz auf die Erde zu Todesfällen führen (ibid.). Die Firma SpaceX, der ca. zwei Drittel der derzeit aktiven Satelliten gehören, plant – ebenso wie Google und Amazon/Blue Origin – Datenzentren im All für KI.⁸ Diese hätten gegenüber den sehr ressourcenintensiven **Datenzentren** auf der Erde den Vorteil, dass durchgehend Sonnenenergie genutzt werden und in der sehr kalten Umgebung auf Kühlwasser verzichtet werden könnte. Die Umsetzung dieser Pläne würde etwa eine Million zusätzlicher Satelliten erfordern.⁸

Auch bei Solarstrom aus dem All wird die ständige Verfügbarkeit von Sonnenlicht ausgenutzt, das dort deutlich intensiver ist als auf der Erde. Diese Technologie hat bereits einen hohen technologischen Reifegrad erreicht.⁹ Es sollen Solarpaneele in den GEO platziert und die gewonnene Energie mittels Mikrowellen zu Bodenstationen auf die Erde übertragen werden. Ein erster amerikanischer Prototyp existiert und für 2028 hat die VR China eine Konstruktion mit einer Spannweite im Kilometerbereich angekündigt.⁹

Megakonstellationen und besonders hell leuchtende Satelliten – BlueWalker 3 etwa scheint heller als 99 % der Sterne¹⁰ – beeinträchtigen jetzt schon die Sichtbarkeit des Nachthimmels, was als Verlust empfunden werden kann und das Verhalten von Tieren beeinflusst (Kyba *et al.*, 2023). Das Problem könnte sich verschärfen. Die Firma Reflect Orbital hat einen Antrag an die US-Raumfahrtbehörde gestellt, um große Spiegel zwischen Satelliten anzubringen, um an bestimmten Orten punktuell mond- bis tageslichtähnliche Zustände zu erzeugen, etwa für die Fortsetzung von Industrieaktivitäten im Freien oder die Lenkung von Sonneneinstrahlung auf erdbasierte Solaranlagen über Nacht.¹¹ Schlafforschende warnen in einem offenen Brief an die Behörde davor, dass bereits bewusst gar nicht als hell empfundene **Lichtmengen den zirkadianen Rhythmus von Menschen und anderen Tieren sehr stören** können, mit gravierenden gesundheitlichen Folgen.¹²

Angesichts der Überfüllung bietet es sich an, in bisher wenig genutzte Höhen auszuweichen, so in den Very Low Earth Orbit (VLEO), in Höhen von unter 450 km. Von dort sind sehr hochauflösende Abbildungen der Erde möglich, was insbesondere für das Militär interessant ist. Die starke Erdanziehungskraft in diesen Höhen stellt jedoch besonders hohe Anforderungen an Robustheit und Antrieb der Satelliten, die lange Zeit nicht erfüllt waren. Die ISS fliegt seit über 25 Jahren in einer Höhe von 400 km¹³. Auch die VR China hat eine permanent besetzte Raumstation im VLEO und hatte dort bereits einen Satelliten. Österreich und die Niederlande planen im Rahmen des Projekts LEO2VLEO, bis 2027 drei Nansa-

*Megakonstellationen
...*

*... und womöglich
Datenzentren
verstärken das
Ressourcenproblem*

*Für Solarstrom aus
dem All gibt es einen
Prototypen*

*Lichtverschmutzung
stört Biorhythmus und
womöglich Navigation*

*Firma möchte gezielt
auf Erde leuchten*

*Innovation:
Very Low Earth Orbit*

⁸ [nature.com/articles/d41586-026-01370-6](https://www.nature.com/articles/d41586-026-01370-6).

⁹ [weforum.org/stories/2025/10/space-based-solar-power-energy-transition/](https://www.weforum.org/stories/2025/10/space-based-solar-power-energy-transition/).

¹⁰ [nature.com/articles/d41586-023-03054-x](https://www.nature.com/articles/d41586-023-03054-x). [nature.com/articles/d41586-023-03054-x](https://www.nature.com/articles/d41586-023-03054-x).

¹¹ [theguardian.com/science/2026/apr/05/satellite-mirror-plans-could-disrupt-sleep-and-ecosystems-worldwide-scientists-say](https://www.theguardian.com/science/2026/apr/05/satellite-mirror-plans-could-disrupt-sleep-and-ecosystems-worldwide-scientists-say).

¹² [bioclocks.uk/news/bambos-](https://www.bioclocks.uk/news/bambos-).

¹³ esa.int/Space_in_Member_States/Germany/Wo_ist_die_Internationale_Raumstation.

telliten zu platzieren, welche zwischen VLEO und LEO wechseln.¹⁴ Aufgrund ihrer Nähe zur Erde können Satelliten im VLEO automatisch verglühen. Dies könnte das Problem des Weltraummülls zwar stark verringern. Es stünde allerdings nicht im Einklang mit dem Ziel der Kreislaufwirtschaft in der Raumfahrt, zudem besteht weiterhin die mit dem Verglühen verbundene Verschmutzung und Schädigung der Ozonschicht (Roberts, 2025), ebenso wie die Risiken durch unvollständig verglühte Teile.

Zum Risiko von Kollisionen und der Überlastung von Radiofrequenzen können hybride Bedrohungen beitragen. Bereits jetzt wird die Signalübertragung im All durch Jamming gestört und durch Spoofing verfälscht.¹⁵ Im Jahr 1998 traf ein Satellit auf die Erde, nachdem seine Solarpaneele durch einen Hackingangriff falsch ausgerichtet worden waren und seine Batterie verbrannte (Jha et al., 2022). Satelliten könnten auch manipuliert und als Antisatellitenwaffen eingesetzt werden.¹⁵ Bei Satelliten lassen sich besondere Vulnerabilitäten ausnutzen: Erstens befinden sich aufgrund der langen Lebensdauer und der mangelnden Zugänglichkeit für Systemaktualisierungen, viele Satelliten mit Legacy-Betriebssystemen im Umlauf, welche für heutige Cyberattacken nicht gerüstet sind (ENISA, 2025). Zweitens bedeutet der Einsatz von Megakonstellationen, dass die Manipulation eines Satelliten sehr viele Satelliten gleichzeitig beeinflussen könnte (Jha et al., 2022). KI-Anwendungen vereinfachen Cyberangriffe stark und erweitern den Kreis der potentiellen Akteure, und quantencomputinggestütztes Hacking könnte für diejenigen, die Zugang dazu haben, eine Reihe bisheriger Verschlüsselungsmethoden wirkungslos machen. Dadurch werden Cyberrisiken auch bei Satelliten akut. Eine umfassende weltweite Regulierung des Raumverkehrs fehlt, wird aber aufgrund nahender Kippunkte dringend benötigt.¹⁶ Zudem ist die Situation fragil durch Abhängigkeit von einzelnen Akteuren wie dem US-amerikanischen Traffic Coordination System for Space (TraCSS) bei der Koordination von Ausweichmanövern.¹⁷ Bisherige Regelwerke zielen vor allem darauf ab, das Verglühen von Objekten nach Ende ihrer Lebensdauer zu gewährleisten und das Ablösen von Teilen beim Befördern in die Umlaufbahn zu verhindern bzw. deren schnelles Verglühen zu gewährleisten. Projektionen der ESA zeigen jedoch, dass selbst bei strikter Einhaltung dieser Regeln eine Fortsetzung der bisherigen Entwicklung langfristig zu einer erheblichen Überschreitung des geschätzten Schwellenwerts für eine nachhaltige Nutzung führt (ESA, 2025). Wenn Satellitenoperatoren keine Ausweichmanöver veranlassen würden, würde es nur Tage oder Wochen dauern, bis eine Kettenreaktion an Kollisionen den LEO unbrauchbar machen würde.¹⁸ Wird Weltraumschrott nicht gezielt entfernt, könnte LEO schon in 50-100 Jahren nicht mehr nutzbar sein – und mit Entfernung in etwa 200 Jahren (Bennett, 2025). Die erste Mission zur Entfernung ist für 2027 durch die Europäische Weltraumagentur und die Firma Clearspace geplant.¹⁹ Bislang werden Eigentumsrechte und

Hybride Bedrohungen

Verbindliche Zusammenarbeit und weltweite Regulierung dringend gebraucht

Vorgehen bei Insolvenz privater Akteure muss geklärt werden

¹⁴ militaeraktuell.at/bundesheer-satelliten-gemeinsam-niederlanden/.

¹⁵ space.com/space-exploration/satellites/an-ai-cyberattack-could-trigger-a-satellite-apocalypse-in-the-next-2-years.

¹⁶ rand.org/pubs/research_briefs/RBA1949-1.html.

¹⁷ reuters.com/business/aerospace-defense/space-industry-urges-us-congress-not-axe-system-that-prevents-satellite-2025-07-08/.

¹⁸ assets.publishing.service.gov.uk/media/6620cf9a77a30aa0c4757d35/rhc_report_on_the_future_regulation_of_space_technologies.pdf.

¹⁹ clearspace.today/news/prelude.

Fragen der Verantwortung bilateral gelöst. Mit steigender Kommerzialisierung stellt sich zunehmend die Frage, wie bei Insolvenzen Eigentums- und Steuerungsrechte, übertragen werden können (ibid.). Zu bedenken wäre bei dieser Frage, wie mit der Verhandlungsmacht von Großkonzernen umgegangen werden sollte. Geriete eine Firma, die viele Satelliten im Orbit hat, in Zahlungsschwierigkeiten, und könnte die Steuerung nicht rasch übernommen werden, könnte es sein, dass keine Kosten für einen Bailout gescheut würden, um eine fatale Kettenreaktion zu verhindern. Dies setzt unerwünschte Anreize für risikoreiches Verhalten. Auch die Verantwortung für die steigenden Kosten von Ausweichmanövern und die erhöhten Versicherungskosten sollte diskutiert werden.

RELEVANZ DES THEMAS FÜR DAS PARLAMENT UND FÜR ÖSTERREICH

Das Bundesheer hat im März 2026 eine Demoversion eines seiner Satelliten präsentiert, welcher Spoofing und Signalunterbrechungen und -störungen erkennen soll.²⁰ Das Projekt Leo2VLEO zielt auch auf strategische Unabhängigkeit ab.²⁰ Die aktive Mitwirkung an der Raumfahrt bedeutet auch Mitverantwortung für eine nachhaltige Nutzung, wie in der Österreichischen Weltraumstrategie 2035+ reflektiert.²¹ Österreich hat einen Anteil von erneuerbaren Energien bei der Stromerzeugung von ca. 80 % und plant eine rasante Elektrifizierung des Energiesystems, mit dem Ziel der CO₂-Neutralität bereits für das Jahr 2030. Die damit einhergehende Abhängigkeit von satellitengestützten Technologien zur Aufrechterhaltung der Netzstabilität²² bei stark variablen Quellen bedeutet eine hohe Vulnerabilität gegenüber Bedrohungen für Satelliten. Die nachhaltige und sichere Nutzung der Ressource Weltraum ist also von unmittelbarem Interesse für Österreichs Sicherheit und Energieversorgung.

*Österreichische
Satelliten*

*Energietransition
verstärkt Abhängigkeit
von Satelliten*

VORSCHLAG WEITERES VORGEHEN

Die zunehmende Abhängigkeit von einem nutzbaren Orbit, die sich akkumulierenden und interagierenden Folgen der rasant zunehmenden Nutzung, sowie die rasche Zunahme des Risikos eskalierender Ereignisse erfordern folgende Maßnahmen: 1. die Verstärkung der internationalen Zusammenarbeit für regulatorische und ökonomische Maßnahmen in Bezug auf Recyclingfähigkeit und Kreislaufwirtschaft, 2. automatisierte Systeme für Ausweichmanöver, 3. erhöhte Cybersicherheit, 4. die Ausweitung der Befugnisse überwachender Institutionen in Bezug auf Datenerhebung und deren Durchsetzungsmöglichkeiten von Beschlüssen, welche das Vermeiden von Kollisionen betreffen. Fragen der Haftung für Objekte, deren Steuerung verloren geht, für die Folgen von Kollisionen und für Weltraumschrott sollten möglichst auf internationaler Ebene geklärt werden. Die technischen Möglichkeiten, Weltraumschrott wiederzuerwerben, statt ihn ver-

*Nachhaltige und
sichere Nutzung
-
zahlreiche offene
Fragen*

²⁰ orf.at/stories/3421931/.

²¹ bmlv.gv.at/wissen-forschung/publikationen/beitrag.php?id=3765.

²² eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/RDC%20documents/2021_Technology%20Factsheet.pdf.

glühen zu lassen, sollten untersucht werden. Ebenso sollten Ansätze für eine ganzheitliche Strategie zum Umgang mit negativen Externalitäten wie Treibhausgasemissionen, Luft- und Lichtverschmutzung erarbeitet werden – dazu sollte aus Erfahrungen mit bisherigen internationalen Abkommen, welche sich auf andere soziale Dilemmata beziehen, bei denen eine frei zugängliche Ressource durch übermäßige Nutzung erschöpft wird, gelernt werden. Dies ist in Bezug auf den LEO und den geostationären Orbit wichtig, aber nicht zuletzt auch für den VLEO, bei dessen Erschließung für Satelliten von Anfang an darauf hingearbeitet werden sollte, die im LEO bereits entstandenen Probleme nicht zu wiederholen.

Aufgrund seines Engagements bei der Raumfahrt und seiner historischen Rolle bei der internationalen Zusammenarbeit könnte Österreich eine Vorreiterrolle einnehmen. Dazu sollten die zugrunde liegenden Herausforderungen bei der Kooperation, die verschiedenen miteinander verschränkten Ebenen der technischen Entwicklungen sowie die sich daraus ergebenden Ansatzpunkte für Anreizmechanismen und Regulierung evaluiert werden. Hier kann die Technikfolgenabschätzung mit Methoden zur Einbindung von Stakeholdern eine wichtige Rolle spielen.

*Österreich kann
Vorreiterrolle
einnehmen*

ZITIERTE LITERATUR

- Abbas, Sh. 2025. Challenges to Space Activities in the Context of Mega Satellite Constellations: A Focus on Environmental Impacts. *Astron. Space Sci.* 2025; 42(1):1-13. DOI: [10.5140/JASS.2025.42.1.1](https://doi.org/10.5140/JASS.2025.42.1.1).
- Bennett, M.M. 2025. Orbital debris requires prevention and mitigation across the satellite life cycle. *Commun Eng* 4, 95. DOI: [10.1038/s44172-025-00430-5](https://doi.org/10.1038/s44172-025-00430-5).
- European Space Agency (ESA), 2025. ESA Space Environment Report 2025. sdo.esoc.esa.int/publications/Space_Environment_Report_I9R1_20251021.pdf.
- European Union Agency for Cybersecurity (ENISA), 2025. ENISA Space Threat Landscape 2025. enisa.europa.eu/publications/enisa-space-threat-landscape-2025.
- Hayashi, F., Kioka, A., Ishii, T., Nakamura, T., 2025. Unveiling the resource potential of space debris: A forecast of valuable metals to 2050. *Waste Management* 193/1(376-385). DOI: [10.1016/j.wasman.2024.12.019](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.12.019).
- Jha et al., 2022. Safeguarding the final frontier: Analyzing the legal and technical challenges to mega-constellations. *J Space Saf Eng* 4, 9, DOI: [10.1016/j.jsse.2022.08.006](https://doi.org/10.1016/j.jsse.2022.08.006).
- Kyba et al. (2023). Citizen scientists report global rapid reductions in the visibility of stars from 2011 to 2022. *Science* 379, 265-268. doi.org/10.1126/science.abq7781.
- Parker, W.E., Brown, M.K. & Linares, R. 2025. Greenhouse gases reduce the satellite carrying capacity of low Earth orbit. *Nat Sustain* 8, 363–372. DOI: [10.1038/s41893-025-01512-0](https://doi.org/10.1038/s41893-025-01512-0).
- Roberts, P.C.E., 2025. VLEO and space sustainability: how does Very Low Earth Orbit contribute to the shift towards more sustainable space activities? *CEAS Space J* DOI: [10.1007/s12567-025-00677-w](https://doi.org/10.1007/s12567-025-00677-w).