

# Digitalgespräch Folge 54

## Infrastrukturen im Weltraum für die Digitalität auf der Erde

Mit Holger Krag vom europäischen Raumflugkontrollzentrum (ESOC), 13. August 2024  
<https://zevedi.de/digitalgespraech-054-holger-krag/>

*[Der Vorspann mit Musik und Ausschnitten aus dem Gespräch beginnt.]*

**Marlene Görger [mg]:** „Herr Dr. Krag, Sie leiten seit 2019 das ESA-Programm für Weltraumsicherheit am Europäischen Raumflugkontrollzentrum in Darmstadt.“

**Holger Krag [Krag]:** „Die Objekte, die man als Weltraumschrott bezeichnen muss, überwiegen zahlenmäßig ganz, ganz klar die Objekte, die uns momentan Nutzen bringen. Und dieser Trend, der wird immer stärker.“ – „Also es gibt keinen Mechanismus, der rechtlich sicherstellt, dass man Schaden durch Weltraumschrott im All wieder einklagen kann. Da ist das Weltraumrecht einfach nicht robust genug.“

**Petra Gehring [pgg]:** „Jetzt hat sich die globale Weltlage in den letzten Jahren ja ziemlich verändert und die Frage, ob da so ein friedliches Miteinander im All noch möglich ist, ist bestimmt eine, die auch diskutiert wird. Wie sieht das aus Ihrer Sicht aus?“

**[Krag]:** „Vor 150 Jahren gab es ein Ereignis auf der Sonne, das sogenannte Carrington-Event. Sollte so ein Ereignis heute auftreten, mit dem Grad der Digitalisierung, den wir heute haben, wäre der Schaden gewaltig.“ – „Das ist noch so eine Abwägungsfrage, ob man wirklich die Raumfahrt selber so ein bisschen einengen sollte. Oder sollte man nicht eher sich darauf konzentrieren, auf das "Wie" wir die Raumfahrt machen?“

*[Der Vorspann endet, das Gespräch beginnt.]*

**[mg]:** „Das Menschheitsprojekt „Raumfahrt“ begann lange vor dem Digitalzeitalter. Natürlich waren auch Computer nötig, um Satelliten in den Weltraum zu schicken, später Tiere, schließlich sogar Menschen. Aber als am 4. Oktober 1957 *Sputnik 1* erfolgreich ins All startete, war die heutige Selbstverständlichkeit digitaler Technologien im alltäglichen Leben genauso schwer vorstellbar wie der erste Blick vom Weltraum auf die Erde. Die ikonischen Bilder unseres blauen Planeten im leeren Raum wurden mit analogen Fotoapparaten gemacht, die heute angesichts der leistungsstarken Digitalkameras in jedem Mobiltelefon nur noch von Liebhaber:innen verwendet werden. Auch der Raum um die Erde herum hat sich verändert und ist längst als Ort für Infrastruktur für unser modernes digitales Leben erschlossen. Zwischen den unendlichen Weiten des Weltalls und der Oberfläche unseres Planeten herrscht menschengemachter Hochbetrieb. Lichtpunkte am Himmel, die für den Laien als Satelliten erkennbar sind, tauchen immer häufiger auf. Aber welche Objekte sich genau um die Erde herum befinden, wie viele es wirklich sind, woher sie kommen und welche

Bedeutung sie im Einzelnen als Ermöglicher für Digitaltechnologie haben, lässt sich nicht ohne Weiteres ausmachen. Klar ist jedenfalls: Die Dichte des Verkehrs um unseren Planeten herum nimmt zu. Alle Objekte dort oben, von den Satelliten bis hin zum Weltraumschrott, haben auch mit Anforderungen der Digitalität zu tun. Wie steht es da um Nutzen, Aufwand und Abhängigkeiten? Wer kümmert sich darum und welche Regeln ordnen die Nutzung dieses Raums? Das ist unser Thema heute im *Digitalgespräch*. Mein Name ist Marlene Görger, ich bin Physikerin und Technikphilosophin und arbeite für das *Zentrum verantwortungsbewusste Digitalisierung*."

**[pgg]:** „Und ich bin Petra Gehring, Professorin für Philosophie an der Technischen Universität Darmstadt. Bei uns im *Digitalgespräch* ist heute Holger Krag, der uns ebenfalls aus Darmstadt in der Videokonferenz zugeschaltet ist. Herzlich willkommen im ZEVEDI-Podcast, Herr Krag, und vielen Dank für Ihre Zeit.“

**[Krag]:** „Und ich danke für die Einladung.“

**[mg]:** „Herr Dr. Krag, Sie sind Ingenieur für Luft- und Raumfahrttechnik und Sie leiten seit 2019 das ESA-Programm für Weltraumsicherheit am Europäischen Raumflugkontrollzentrum in Darmstadt. Was bedeutet Weltraumsicherheit im Sinne dieses Programms der Europäischen Weltraumorganisation? Und was hat das mit dem Satellitensystem zu tun?“

**[Krag]:** „Ja, also wir meinen mit Weltraumsicherheit den Schutz unserer Infrastruktur im All und auch unserer Infrastruktur am Boden vor den Gefahren, die aus dem Weltraum kommen. Also nichts mit militärischer Sicherheit oder irgendwas mit dem Verteidigungssektor zu tun, sondern es geht wirklich um den Zivilschutz unserer Systeme im All und am Boden, wo Gefahren aus dem Weltraum - diese Gefahren aus dem Weltraum sind dreierlei: Einmal haben wir die natürliche Gefahr durch Asteroiden; die betreffen jetzt nicht unbedingt unsere Infrastruktur im All, sondern eher uns am Boden. Dann haben wir das Weltraumwetter. Das Weltraumwetter ist was Interessantes: Das ist nämlich all das, was von der Sonne ausgeht und sich im All abspielt zwischen Erde und Sonne. Wir sind ja hier auf der Erde sehr gut abgeschirmt durch das Magnetfeld vor Aktivität aus der Sonne und haben im besten Fall Polarlichter zu bestaunen. Ähm, im All außerhalb des schützenden Magnetfelds sieht die Situation aber anders aus. Wir haben regelmäßig mit Ausfall der Komponenten an Bord von Satelliten zu kämpfen und hier wäre eine bessere Weltraum-wettervorhersage zum Eintreffen von Solarereignissen sehr, sehr wünschenswert. Zum Schluss haben wir das schon angesprochene Thema der Raumfahrtrückstände – oder Weltraumschrott, wie man auch sagen würde, nämlich all das, was wir als Menschheit, äh, im All hinterlassen haben – als Resultat der Raumfahrt, als, als ungewünschtes Resultat der Raumfahrt, sollte ich sagen. Und das macht sowohl, äh, der Infrastruktur im Raum zu schaffen, als auch uns am Boden.“

**[pgg]:** „Um mit dem Müll mal anzufangen: Kommt dieser Müll so aus alten Zeiten? Ist das sozusagen die analoge alte Raumfahrt, die da rumfliegt, oder sind das auch schon Hinterlassenschaften des Satellitensystems und sozusagen unserer digitalen Infrastruktur?“

**[Krag]:** „Beides. Wir haben teilweise sehr alte Objekte im All. Die ältesten kommen aus dem Jahr 1958 und wir fügen jedes Jahr neue leichtfertig hinzu. Insgesamt haben wir rund 35.000 Objekte im All, die größer als mein Smartphone sind. Das weiß man, weil man die vom Boden aus gerade noch so beobachten kann, mit, mit viel Aufwand. Also nicht mit bloßem Auge, sondern mit, mit viel Instrumentarium und teurer Technik wird dieser Aufwand betrieben. Aber es gibt noch viele kleinere und, ähm, traurige Wahrheit ist, dass unsere Raumfahrtobjekte, die uns einen wertvollen Dienst leisten, aber nach Ende der Mission abgeschaltet werden, mitunter noch sehr lange im All bleiben – Jahrzehnte, manchmal sogar Jahrhunderte. Und das, äh, führt zu ungewünschten Effekten, nämlich die werden Zielscheibe für Kollisionen untereinander. Und jede Kollision passiert im All bei sehr hohen Geschwindigkeiten, im Durchschnitt 40.000 km/h, also unvorstellbar hohe Geschwindigkeiten. Dass also selbst kleine Objekte eine Energie entfalten beim Aufschlag auf einen Satelliten, dass der Satellit manchmal nicht nur kaputt geht, sondern regelrecht zertrümmert wird, was dann wiederum Kontamination, äh, und zusätzliche Verschmutzung des Alls zur Folge hat. Oder dass unsere Satelliten und Raketenstufen, die im All verbleiben, oft auch von selber regelrecht zerplatzen. Aufgrund an Bord verbliebener Restenergien in, in Treibstoffen, in Drucktanks oder sogar in geladenen Batterien.“

**[mg]:** „Wie groß ist da jetzt dann so das Verhältnis von, sage ich jetzt mal, Technikresten, die jetzt keine Funktion mehr erfüllen, und dem, was aktuell wirklich an benutzten Satelliten und anderen technischen Objekten dann im All unterwegs sind?“

**[Krag]:** „Also die, die Objekte, die man als Weltraumschrott bezeichnen muss, überwiegen zahlenmäßig ganz, ganz klar die Objekte, die uns momentan Nutzen bringen. Und dieser Trend, ähm, der wird immer stärker. Wir treten jetzt hier ein in ein Zeitalter im Weltraum, wo wir den Weltraum eigentlich erst richtig anfangen zu nutzen, ne? Es war, es war in den ganzen vergangenen Jahrzehnten eher eine Domäne des staatlichen Sektors mit Forschungssatelliten, mit Wettersatelliten, äh, und Navigationssatelliten. Und jetzt aber merken wir, dass der Raum in das Interesse auch privater Unternehmer rückt. Äh, man kann also mit Raumfahrt Geld verdienen. Das betrifft vor allem die Kommunikation. Kommunikation aus dem All ist die Anwendung, die da sozusagen als Erstes Früchte trägt. Und wenn man da Dienstleistungen bieten will, mit geringeren Verzögerungsraten und geringeren Sendeleistungen, dass man also auch mit einem kleinen Mobilgerät zum Beispiel von überall aus, vom Segelboot, vom Nordpol und vom Flugzeug, Kontakt haben kann, äh, dann erfordert das eine große Zahl von Satelliten. Also eine Konstellation mit einer großen Gesamtzahl von Satelliten. Und das führt zu einer Revolution in der Nutzung des Weltraums, ähm, denn diese großen Konstellationen werden jetzt gestartet und, äh, die Startraten schnellen in unvorstellbare Höhen. Mehr als 2000 Satelliten pro Jahr, das hatten wir noch nie in der

Geschichte der Raumfahrt. Das ist aber heute die Normalität. Wie extrem das ist, wird einem klar, wenn man das mit der Vergangenheit vergleicht. Da hatten wir nämlich so über Jahrzehnte konstante Startraten von 100 Satelliten pro Jahr. Also wir haben jetzt auf einmal eine Verzwanzigfachung des Verkehrs, äh, und das ist schon Revolution.“

**[pgg]:** „Wie ist denn da die Verteilung der Kosten und der Aufwände? Jetzt kommen die Privaten, nutzen das, erzeugen natürlich auch wieder, äh, eine Menge Hinterlassenschaften. Wird es irgendwie abgerechnet, die Kosten, die dadurch entstehen?“

**[Krag]:** „Also es gibt keinen Mechanismus, der rechtlich sicherstellt, dass man Schaden durch Weltraumschrott im All wieder einklagen kann. Da ist das Weltraumrecht, was es gibt, einfach nicht, äh, robust genug. Fairerweise muss man sagen: Es ist zu einer Zeit entstanden, wo dieses Problem noch nicht so offensichtlich war, in den 60er Jahren. Ich muss mal sagen, vorausschicken, dass das Problem, was wir heute im All haben, äh, im wesentlichen Resultat ist aus der Vergangenheit, ja? Also der Raumfahrt, die in den vergangenen Jahrzehnten stattgefunden hat, und die war oft noch in Hand des, des öffentlichen Sektors. Der private Sektor, der jetzt stärker übernimmt, muss sich erst noch beweisen, wie gut er wirklich mit dem Problem umgeht und wie weit, äh, er Weltraumschrott vermeiden kann. Also insofern muss man jetzt sagen: Es ist keiner mehr Schuld, zu dem Problem haben alle beigetragen. Äh, übrigens verteilt sich das auch relativ gut über die Nationen. Man kann auch kaum sagen, dass es schwarze Schafe gibt. International gesehen, ähm – es korreliert eher der Raumfahrtschrott mit der Raumfahrtaktivität, ja? Je mehr man Satelliten eben fliegt, umso wahrscheinlicher ist, dass man auch Schrott hinterlässt. So muss man das eher sehen. Also muss man aus Prinzip auch den Aufwand, äh, den Raum sauber zu halten, proportional mit der Raumfahrt messen.“

**[mg]:** „Um sich noch mal konkret vorzustellen, was Sie denn eigentlich machen: Also es wird aufgeräumt, sagen Sie, es wird vielleicht auch ausgewichen, oder – also wie muss ich mir vorstellen, dass da die Sicherheit in dieser Schrottumgebung gewährleistet wird?“

**[Krag]:** „Man muss mehrere Maßnahmen treffen. Äh, diese Maßnahmen sind schon vor 30 Jahren entwickelt und vorgeschlagen worden, und zwar von einer internationalen Expertengruppe, die alle elf großen Raumfahrtnationen beinhaltet. Und die sehen vor, dass man während des Betriebs, ähm, Kollisionsvermeidung durchführt. Das macht man natürlich auch schon im eigenen Interesse, äh, weil man sein Objekt natürlich nicht durch eine Kollision verlieren will. Hier in Darmstadt, im ESOC werden ja auch 20 Satelliten betrieben und wir kennen diese Technik sehr gut. Wir führen das hier selber durch. Und alle zwei Wochen kommt es dazu, dass einer unserer Satelliten ein Ausweichmanöver fliegen muss. Das geht natürlich nur, wenn man Daten hat. Äh, man kann also nur Objekten ausweichen, äh, die man auch kennt und von denen man die Position kennt und vorhersagen kann. Und das betrifft nur die größten 35.000. Denn die werden vermessen vom Boden aus. Aber das ist heute schon Praxis, aber was passiert

nach der Mission? In der Raumfahrt ist es ja so, dass, äh, wenn der Satellit mal nicht mehr funktionsfähig ist, also entweder man schaltet ihn ab oder man verliert das System aufgrund eines Fehlers an Bord, dann bleibt er mitunter trotzdem im All, denn die Orbitmechanik sorgt dafür, dass er weiter seine Bahn zieht, auch ohne Antrieb und, äh, das bei, bei hoher Geschwindigkeit. So und wenn der Satellit in sehr großer Höhen hinterlassen wird – 800 Kilometer zum Beispiel ist eine sehr stark genutzte Höhe – dann bleibt er mitunter noch 200 Jahre im All. Hinterlässt man ihn in 600 Kilometer Höhe, dann sind es nur 25 Jahre. Hinterlässt man ihn in 400 Kilometer Höhe, ist es nur ein Jahr. Also je tiefer, umso besser, denn die Dichte der Erdatmosphäre, die im All noch spürbar ist, die sorgt letztendlich dafür, dass die Objekte irgendwann wieder eintreten. Und zwar je schneller, umso tiefer sie fliegen. Also wird gefordert, dass man sein Objekt quasi entsorgen sollte, nach Ende der Mission, wie man es auch mit jedem [lacht], mit jedem anfallenden Müll tun sollte, also durch ein Entsorgungsmanöver, das die Bahnhöhe absenkt, so dass, äh, nur noch wenige Jahre im All bleibt und die Atmosphäre es dann auf natürliche Art und Weise entsorgt. Und die dritte Maßnahme ist, dass man das Objekt passiv macht. Damit ist gemeint, dass man sämtliche Energieträger, die an Bord sind, das ist zum Beispiel der Treibstoff, das ist auch der Druck in den Tanks, teilweise sehr viel Helium mit 200 Bar in Tanks, äh, geladene Batterien. Diese ganze Energie muss raus, denn wir haben mehr als 500 Mal beobachten müssen – also erschreckend hohe Zahl –, dass die Objekte mehr oder weniger zerplatzen und dann für eine Vielzahl von, von Trümmern sorgen. Das muss abgestellt werden, indem man sie passiviert (so nennen wir das), also die Energieträger ablässt. Würde man diese drei Maßnahmen überall technisch perfekt 100-prozentig umsetzen, hätten wir das Problem heute nicht und würden auch für die Zukunft das Problem deutlich eindämmen können.“

**[pgg]:** „Jetzt mal dumm gefragt: Gibt es eine Möglichkeit, vom Boden aus irgendwas zu initiieren, um so einen Geistersatelliten, der nicht von selbst nach unten lenkt, damit er irgendwann abstürzen kann, irgendwie einzufangen oder, oder noch mal nachzunavigieren irgendwie von außen?“

**[Krag]:** „Ja man muss sich den Satelliten vorstellen als eine Box mit, mit, ähm, Computer und, äh, einigen Nutzlasten, oft optische Instrumente oder ein Transponder. Fällt an Bord die Stromversorgung aus, fällt auch jede Möglichkeit der Kommunikation und des Kommandierens aus, ja? Auch wenn die Nutzlasten perfekt arbeiten, auch wenn genug Treibstoff noch an Bord ist, man hat einfach nicht mehr die Möglichkeit, einzugreifen. Das ist oft das Problem, dass wir an die Objekte nicht mehr rankommen, sobald mal ein größerer Fehler an Board eintritt. Anders bei, als bei Flugzeugen, bei Autos, die man einfach repariert. In der Raumfahrt sind wir darauf angewiesen, dass der Satellit auf unsere Kommandos reagiert. Ähm, und Grund für die Situation, die wir im All haben in den letzten Jahren, wo ja diese, diese Maßnahmen eigentlich schon umgesetzt werden müssen. Grund dafür, dass sie oft scheitern, ist genau das [lacht]. Es wäre eigentlich alles da an Ressourcen: Treibstoff, gesundes Raumfahrzeug, aber auf einmal irgendein Fehler an Bord, der einfach eine Alterserscheinung sein kann, sorgt dann dafür, dass wir die gar nicht mehr umsetzen können, selbst bei gutem Willen. Deswegen denken wir darüber nach – und das ist auch Teil meines Programms – denken drüber nach, ist noch

zurückhaltend gesagt: Wir investieren aktiv in die Technik, ein Objekt aktiv wieder rückzuholen. Das heißt im Prinzip, eine Aufräummission zu planen, die mit dem Zweck startet, sich anzunähern und das Objekt zu greifen, also gewissermaßen zu docken und dann kontrolliert zu entsorgen. Das ist natürlich ein großer Aufwand. Es ist sehr teuer, aber es ist eine Technik, wo wir glauben, dass es die geben muss. Bevor man das aber macht, ist es ganz wichtig, dass man sicherstellt, dass all das, was aus eigenen Mitteln an Bord passieren kann, auch passiert. Also dass man sozusagen die Vermeidung von Schrott noch deutlich penibler umsetzt. Gerade haben wir hier, äh, in Darmstadt, Verträge mit den drei großen Satellitenentwicklern unterschrieben: *Airbus*, *Thales* und *OHB*. Die stellen im Prinzip alle Satellitenplattformen, also das Grundgerüst eines jeden Satelliten hier in Europa, bereit. Und wenn wir die robuster machen – und die ESA investiert darin, Verträge sind unterschrieben – Vermeidungsstrategien wie das Entsorgen und das passiv machen mit deutlich höherer Erfolgsrate umzusetzen, durch mehr Redundanz an Bord, extra Technik an Bord, dann ist schon viel erreicht. Was dann noch strandet, was dann noch übrigbleibt – und technische Systeme können versagen, es wird immer was übrigbleiben – das könnte man sich trauen, nachträglich zu entsorgen. Also: hochstarten, einfangen und wieder runterholen. Und dafür muss die Technik bereitgestellt werden. Und uns schwebt vor, dass dann auch der Verursacher für diese Rückhol-Mission dann dementsprechend aufkommen muss. In anderen Worten: Es muss schon von vornherein in der Missionsdurchführung vorgelegt werden, dass auch das Budget für eine Rückholmission da ist oder idealerweise vielleicht sogar ein Versicherungsvertrag vorgelegt wird, der diese Rückholmission dann abdeckt.“

**[mg]:** „Wer könnte das durchsetzen, dass das Vorschrift wird?“

**[Krag]:** „Ja, das kann nur ein Staat durchsetzen. Auf Ebene der Vereinten Nationen, also des internationalen Weltraumrechts, wird lediglich nur gefordert, dass jeder Staat die Raumfahrt aus seinem Land regelt. Also Deutschland regelt die Raumfahrt der Firmen aus Deutschland, ähm, und der Betreiber der Raumfahrt aus Deutschland. Die Amerikaner regeln die Raumfahrt, die zum Beispiel durch *SpaceX* als amerikanische Firma durchgeführt wird. Also, es wird quasi auf die Nationalstaaten delegiert und die machen dann natürlich Auflagen. Und, äh, da hoffen wir sehr, dass, dass in der Zukunft diese Auflagen verschärft werden, indem man zum Beispiel sagt: Wir führen eine Regel ein, wie es jeder Nationalpark hat: Das, was hochgebracht wird, muss auch wieder rausgeholt werden. Wenn das System das nicht aus eigenen Mitteln schafft, dann eben durch eine nachträgliche Rückholmission. Das macht ein Gesetzgeber natürlich nur, wenn er sieht, dass diese Technik auch verfügbar ist, funktioniert und auch finanziell im Rahmen bleibt, ja? Denn, man will ja die Raumfahrt nicht abwürgen. Deswegen gehen wir den Schritt, als Raumfahrtagentur, diese Technik bereitzustellen, der ganzen Welt zu demonstrieren: Ja, wir können ein Objekt zurückholen. Wir können Satelliten so bauen, dass sie mit 90 % Wahrscheinlichkeit nichts hinterlassen, und den Rest könnten wir abholen. Und das wäre auch zu vertretbaren Kosten möglich. Und dieser Schritt muss durch im Prinzip den öffentlichen Sektor kommen. Durch eine Agentur, die zeigen kann, dass dem Gesetzgeber im Prinzip eigentlich gar kein anderer Ausweg mehr bleibt, als

diesen Schritt zu gehen, weil nachweisbar alles funktioniert. Und deswegen investieren wir da rein und wollen auch bis 2028 eine, äh, erfolgreiche Rückholmission durchführen.“

**[pgg]:** „Die Entwicklung dieser Fänger, nenne ich die jetzt mal, die da eigens aufsteigen, um Satelliten zurückzuholen, die man nicht mehr erreicht. Das stelle ich mir jetzt ziemlich hightechmäßig vor. Wie viel und welche Digitaltechnik ist da im Spiel? Wie steuern Sie das? Und wie sieht so ein Gerät wohl aus?“

**[Krag]:** „Also es ist richtig, das ist ein sehr großer Aufwand und es ist auch technisch kompliziert. Es gibt kaum baugleiche Satelliten, außer innerhalb einer Konstellation. Und Konstellationen sind natürlich prädestiniert für solche Fälle, weil man da im Prinzip das gleiche Vehikel einsetzen kann für verschiedene Zielsatelliten. Aber ansonsten hat man sehr gemischte [lacht] Varianten von Satelliten, die man greifen muss. Sie sind unkontrolliert zu dem Zeitpunkt, wo man sie greift, das heißt, sie senden kein Signal aus, die Position lässt sich nicht genau ermitteln. Man muss also aus der Annäherung heraus, ähm, auch im Nachfeld aufklären, wo sich das Objekt genau befindet. Dazu braucht man schon mal Entfernungsmessung. Das kann ein Radar sein, es kann ein LiDAR sein, Optische Navigation durch Weitwinkelkameras, äh, Schmalwinkelkameras, dieses Objekt tatsächlich sehen. Aber dazu muss es auch beleuchtet sein. Ist ja keine Lampe an Bord, es muss also von der Sonne angestrahlt werden. Das geht dann auch nicht jederzeit, ja? Also auf Hälfte des Orbits, also eines Umlaufes, sind die Satelliten im Schatten der Erde oft. Kann man dann vielleicht mit Infrarot arbeiten und die weiter beobachten. Dann geht es weiter: Die Objekte haben keine stabile Lage, das heißt, sie können taumeln und die Taumelbewegung lässt sich vom Boden aus auch schwer ermitteln. Das heißt, auch das muss man erst im Nachfeld aufklären. Das geht dann im Wesentlichen durch Optik. Also man, man schaut sich das Objekt an, man beobachtet. Man versucht so, Features an Bord zu identifizieren, irgendwas Markantes wie eine Kante oder, oder eine Düse, und dann daraus vielleicht sogar autonom an Bord die Lagebewegung zu rekonstruieren. Da muss das so vorstellen: Wenn so ein Robotersystem sich annähert, kann der Roboterarm nicht einfach so ein taumelndes Objekt greifen. Wenn da zwei Tonnen rotieren, dann wirbelt das den Greifer mit rum, ne? Die Trägheitsmomente sind so groß, das geht nicht. Man müsste sich vielleicht erst mal synchronisieren mit dieser Bewegung, und dazu muss man sie genau kennen, kann man auch nicht allzu lange machen, denn das kostet sehr viel Treibstoff und der ganze Greifvorgang erfordert auch nochmal an Bord Autonomie, um sicherzustellen, dass man das Objekt auch vielleicht erst mal sicher umschließt, bevor man es irgendwo berührt. Denn auch die Kontaktdynamik im All ist ja besonders. Berührt man es an einer Stelle, driftet das in die andere Richtung, ähm, bewegt man einen Roboterarm, hat man ein Reaktionsmoment auf den Rest des Satellitenkörpers. Also man hat da jetzt also sechs Freiheitsgrade, die einem Probleme machen. Wir simulieren deswegen viel am Boden und wir glauben, dass, äh, eine Mischung aus, ähm, Autonomie an Bord – weil man kann ja auch nicht immer mit dem Satelliten Kontakt haben. Der Satellitkontakt kommt nur zustande, wenn er sich gerade über eine Bodenstation bewegt. Das ist nicht unbedingt die ganze Zeit der Fall. Also die Autonomie wäre da wichtig. Allerdings auch nicht die

ganze Zeit, denn es bedarf Daten vom Boden zur Positionierung und vielleicht auch zu Prozessierung von einigen von den Informationen.“

**[mg]:** „Wenn wir uns noch mal klarmachen, was eigentlich auf dem Spiel steht, wenn diese Maßnahmen nicht umgesetzt werden, nicht greifen oder auch nicht rechtzeitig greifen. Haben Sie Beispiele für Unfälle, die passiert sind, die auch Auswirkungen auf der Erde hatten, die spürbar waren?“

**[Krag]:** „Ja. Wir haben selber einen Zwischenfall gehabt mit einem unserer Satelliten, der Radarbeobachtung von der Erde macht, ähm, aus, äh, zu Umweltforschungs- und Erdbeobachtung-Applikationen, ähm, der wurde von einem Objekt von zwei Millimeter Größe nur getroffen, also zu klein, um dem, um dem irgendwie ausweichen zu können. Das konnte man einfach nicht sehen. Trotzdem mit so einer Wucht in die Solarzelle eingeschlagen, dass daraus Fragmente rausgeschlagen worden sind, die, die wiederum Kollisionswarnung auslösen mit anderen. Also die waren groß genug, um von der Erde gesehen zu werden, und wir wissen, dass die da sind, und, äh, sie sind heute noch da und lösen Probleme aus mit anderen Satelliten. Weil jedes Mal, wenn wir ein Manöver fliegen, verlieren wir Zeit. Es, es kostet sehr viel Geld. Wir müssen ein Team bereithalten, Tag und Nacht, die die Kollisionswarnung beobachten, Manöver planen. Und oft verlieren wir auch Daten, weil während des Manövers keine Daten produziert werden, und dann sitzen da mitunter Tausende von Wissenschaftlern, denen dann eben ein paar Stunden Daten fehlen. Und das ist schwer zu bemessen finanziell, aber es hat auf jeden Fall einen großen Einfluss. Oft sagen Leute: Ja gut, das ist die Raumfahrt. Ähm, das ist doch nur so ein Spezialgebiet. Das betrifft nur so ein paar Spezialisten, aber nicht die Menschheit insgesamt. Und das ist, das ist natürlich falsch, ja? Also man muss sich nur das Smartphone anschauen, dann erkennt man sofort, dass, ähm, viele Applikationen direkt mit Diensten aus dem All zusammenhängen. Das, das fängt an mit der Wetterapp, ne? Ohne Wettersatelliten undenkbar. Das Telefongespräch – merkt man oft gar nicht – geht oft über Satellit, wenn es ein Ferngespräch ist. Die Navigation komplett undenkbar, ohne Raumfahrt. Und dann darf man nicht vergessen in der Zukunft das Internet selber, ne? Wir haben heute terrestrisches Internet, aber es steht im Raum – und das wird nicht mehr lange dauern – äh, dass wir mobiles Internet bekommen durch direkte Verbindung mit dem Satelliten; vom Auto aus, vom, äh, Segelboot aus, vom Flugzeug aus, vielleicht sogar vom All aus. Also das will man sich auf keinen Fall wegdenken. Das wäre viel zu wichtig, um darauf verzichten zu können. Aber momentan ist diese Infrastruktur in Gefahr – und wir müssen aktiv werden, damit diese Dienste möglich werden.“

**[mg]:** „Gibt es denn Möglichkeiten – da sind wir jetzt noch mal bei Fragen von Regeln oder auch Instanzen, die Regeln durchsetzen können – gibt es Möglichkeiten, jetzt diese schnelle Zunahme von Objekten im All, Sie hatten ja *SpaceX* schon angesprochen, zu stoppen oder zumindest zu verzögern, bis man bereit ist oder irgendwie vorbereitet ist auf diese Dichte von Satellitenverkehr?“



**[Krag]:** „Ja, das ist noch so eine Abwägungsfrage, ob man wirklich die Raumfahrt selber so ein bisschen einengen sollte. Oder sollte man nicht eher sich darauf konzentrieren, auf das, wie wir die Raumfahrt machen? Ich bin da eher der Meinung, dass man die Auflagen sich anschauen sollte, ähm, und dass man die Konsequenzen der Nichterfüllung, also sozusagen die exekutive Seite und nicht so sehr die legislative Seite, die schon ganz gut da ist, äh, dass man die verstärken sollte. Denn wir wollen ja diese, diese Maßnahmen treffen, nicht um Raumfahrt zu verhindern, sondern um sie zu ermöglichen. Es geht darum, dass wir den Weltraum nutzen können. Nicht nur wir, sondern auch nachfolgende Generationen. Und deswegen halte ich das am, am besten, dass wir die Technik bereitstellen und auch einfordern. Wir müssen natürlich einfordern, dass sie genutzt wird, und es muss auch Konsequenzen haben, wenn es trotz allem nicht gemacht wird oder, oder fehlschlägt. Und ich würde eher daraufsetzen, dass man das einfordert, damit wir das, äh, die Raumfahrt durchführen können, denn die wollen wir ja sehen, und trotzdem zukünftigen Generationen noch das gleiche Maß an Raumfahrt zu ähnlichen Risikoleveln wie heute ermöglichen können.“

**[pgg]:** „Es klingt sehr schön und man stellt es sich auch gerne für die Zukunft so vor, dass sozusagen die Menschheit gemeinsam dafür sorgt, dass ja, dass da oben viel möglich ist, dass die Risiken minimiert werden, dass vielleicht neue Technologien global installiert werden, über das Satellitensystem oder andere, äh, Artefakte, die im Weltraum ihre Dienste tun. Jetzt hat sich die globale Weltlage in den letzten Jahren ja ziemlich verändert und die Frage, ob da so ein friedliches Miteinander im All noch möglich ist, ist bestimmt eine, die auch diskutiert wird. Wie sieht das aus Ihrer Sicht aus? Kann man sagen, es ist nach wie vor so ein Miteinander, egal, was politisch auf dem Boden passiert, oder spüren Sie auch ein Auseinanderdriften von Machtblöcken im All?“

**[Krag]:** „Ja, man, man sieht deutlich, dass sich die Raumfahrtnationen in unterschiedliche Richtungen bewegen. Ähm. Es ist ja so, dass wir eigentlich nur eine Handvoll sehr, sehr stark aktiver Raumfahrtnationen haben, ne? Das sind die Amerikaner, sind die Europäer, das sind die Chinesen, sind die Russen, sind die Inder. Wenn man die an Bord hat für, äh, ehrgeizige Regeln, dann hat man mehr als 90 % der Raumfahrt erschlagen. Also wir haben jetzt nicht so sehr das Problem, dass wir – oder ich würde empfehlen, dass man jetzt nicht unbedingt auf das letzte, noch langsamste Schiff wartet, um, äh, ehrgeizig voranzuschreiten, sondern eher mit den Staaten, die wirklich aktiv sind im Weltraum, voranschreitet und vielleicht akzeptiert, dass nicht jeder dabei ist, aber die wichtigsten zumindest dabei sind, damit man nicht so lange warten muss auf, äh, auf wichtige Entscheidungen. Arbeiten die gut zusammen? Ich muss sagen, es ist keiner ignorant und wir haben es geschafft, eine sehr technische Zusammenarbeit herzustellen und die Politik auszuklammern. Äh, wenn wir uns unter Experten treffen und verabreden, Simulationen vergleichen, welche Maßnahmen effizient sind und welche nicht so effizient sind und welche man empfehlen sollte für die Gesetzgeber, funktioniert das eigentlich sehr gut. Ich vergleiche das manchmal mit dem Weltklimarat, ja? Wo man ja auch schafft, so ein bisschen die Politik auszuklammern und das auf Experten-Ingenieursebene zu machen. Wir gucken auch, dass das möglichst nicht kontaminiert wird. Wir reden auch nach wie vor mit Russen und

Ukrainern. Selbst wenn sie in unterschiedlichen Ecken des Raums sitzen, kommt eine technische Diskussion zustande über das, was notwendig ist. Ja, und das betrifft auch China und Indien. Also ich bin da optimistisch, weil jedem bewusst ist, dass der Weltraum eine gemeinschaftliche, genutzte Ressource ist, so wie die Weltmeere auch, und dass keinem geholfen ist, wenn er sich aus der Problematik raushält. Und mit dem Wissen, muss ich sagen, haben wir gute Erfahrung, alle wichtigen Nationen gemeinsam auf dem Thema voranzubringen.“

**[mg]:** „Das tut gut zu hören, glaube ich [lacht].“

**[Krag]:** „Also, wenn wir Rückschläge sehen, dann sind diese Rückschläge, meiner Meinung nach, nicht Resultat von Ignoranz oder unzureichender Gesetzgebung, sondern von unzureichender Technik. Wir schaffen es heute einfach noch nicht, mit der geforderten Zuverlässigkeit ein Objekt sicher zu entsorgen, nachdem es zehn Jahre im Weltall war oder eine Explosion zu hindern – oft hängt das beides zusammen. Deswegen glauben wir, die Verschärfung der Regeln ist jetzt vielleicht nur 10 % des Problems, 90 % ist Bereitstellung der Technik. Und die Technik muss dann auch verwendet werden, das ist klar. Und deswegen fokussieren wir uns in unserem Programm auf die Demonstration und Bereitstellung der Lösungen.“

**[pgg]:** „Ist gerade auf der Ebene jetzt, was die Technik angeht, das zunehmende Engagement von Privatunternehmen aus Ihrer Sicht eher eine Konkurrenz nach unten, oder ist das auch eine Chance?“

**[Krag]:** „Nein, das ist eine Chance. Denn die, die haben die Tendenz, viele Satelliten baugleicher Natur einzusetzen. Also hat man die Chance, indem man einmal das richtige Design anpackt, äh, sozusagen gleich die ganze Konstellation positiv mit abzudecken. Ähm, zudem sind die Systeme viel einfacher als jetzt unsere komplexen wissenschaftlichen Satelliten. Das heißt, da hat man auch die Chance, dass die vielleicht ein bisschen robuster gebaut sind. Vorsichtig muss man natürlich sein, weil die natürlich höhere Gewinn- oder überhaupt Gewinnmargen haben und dann vielleicht Kosten sparen, und muss natürlich sicherstellen, dass das passiert. Aber selbst bei denen habe ich das Gefühl, dass sie sich sehr für das Problem interessieren. Denn es hat ja auch Auswirkungen auf den Business-Case. Ist die orbitale Umgebung einmal verschmutzt, schaden die sich unmittelbar selber. Insofern beobachte ich, dass sie [lacht] das sehr ernst nehmen. *Starlink* zum Beispiel, Konstellation, die wahrscheinlich jeder kennt, mit schon mehreren tausend Satelliten im All, fliegt sehr tief, die fliegen in 550 Kilometer Höhe. Da sorgt dann die Dichte der Atmosphäre dazu, dass, wenn ein Satellit ausfällt, dass sie schon von selber innerhalb von fünf Jahren verschwinden, das ist ganz gut. Andere gehen deutlich größere Höhen, mehr als 1000 Kilometer. Da muss natürlich alles penibel funktionieren, damit wir die wieder loswerden. Und da muss man genau hinschauen, dass das auch klappt.“

**[mg]:** „Wir haben jetzt viel über den Verkehr im All gesprochen und das Problem mit dem Schrott als Gefahr auch für Infrastruktur. Sie hatten am Anfang auch das Weltraumwetter noch mal als eines Ihrer Arbeitsfelder – angekündigt.“

**[Krag]:** „Ja.“

**[mg]:** „Und das ist natürlich auch super interessant. Sie sagten, es hätte auch Auswirkungen auf die Infrastruktur am Boden. Was machen Sie da? Was ist da Ihr Sicherheits-, der Sicherheitsaspekt, mit dem Sie sich beschäftigen?“

**[Krag]:** „Ja, im Gegensatz zu dem Weltraumschrott, ähm, kann man das Weltraumwetter nicht verhindern, ne? Die Sonne wird, wird aktiv sein, wann immer sie es will. Und ihr ist es auch herzlich egal, dass in 150 Millionen Kilometern Entfernung ein bewohnter Planet ist, der sehr vulnerabel ist. Es kommt regelmäßig zu gewaltigen Auswürfen von Masse aus der Sonnencorona, das – Vielfaches der Erdmasse, innerhalb von ein paar Stunden können die bei uns sein, und das überrascht uns oft, weil wir keine gute Vorhersagemöglichkeit haben. Es gibt auch harte Strahlung, die schadet unseren Satelliten im All. Und wenn die Ereignisse mal extrem werden, und wir waren kurz davor, vor ein paar Wochen, über Darmstadt, gab es Polarlicht. Das kommt nur alle 20 Jahre mal vor. Das ist letztendlich ein Zeugnis davon, dass der Sonnenwind das Erdmagnetfeld so verbogen hat, dass, äh, letztendlich das, was sich normalerweise in den Pol-Regionen abspielt, in tiefere Breiten verschoben hat. Diese Bewegung des Magnetfelds hat Auswirkungen auf lange, stromdurchflossene Leiter wie zum Beispiel Hochspannungsleitungen. Man erinnert sich an die, an die Lorentzkraft rückwärts, ja? Also: Wenn sich ein Magnetfeld durch einen langen Leiter bewegt, wird ein großer Strom induziert. Proportional zur Länge des Leiters, und das ist bei Hochspannungsleitungen besonders kritisch. So. Und, äh, da kann es zu Blackouts kommen. Es gibt viele Applikationen, die sich auf das Magnetfeld verlassen: Kompass, das Bohren nach Öl (die Bohrköpfe, äh, navigieren mit dem Magnetfeld), wir verlassen uns auf GPS, das wird aber durch die Ionosphäre gestört. Also man kann fehlgeleitet werden bei großer Sonnenaktivität, und Speicherchips an Bord von Satelliten und andere Elektronikkomponenten werden direkt vom Sonnenwind beeinflusst, und es gibt mehrere Satellitenausfälle in der Zeit. Die Strahlendosis wird höher. Also Flüge in der Atmosphäre über die Polkappen sind nicht gut [lacht] bei, bei starkem Sonnenwind. Also vieles, wo man gerne ein paar Stunden vorher Bescheid wüsste, wenn es, wenn es eintrifft. Was wir erreichen wollen, ist, dass wir eine Vorhersage dafür bekommen – wenn man es schon nicht verhindern kann – die genau genug ist. Und deswegen starten wir eine Mission, die heißt *VIGIL*. Das könnte man übersetzen, so mit Wächter. Die vom *Lagrange-Punkt 5*, 150 Millionen Kilometer von uns, von der Seite auf Erde und Sonne und die Verbindungslinie schaut, und im Prinzip alles vorhersagen kann, was sich dazwischen abspielt, mit einer genauen, äh, Vorhersage des Eintreffens von solchen Ereignissen, dass man also vorgewarnt ist und entsprechend Systeme sicher machen kann, dass man sie nicht verliert. Ich vergleiche das mit Orkanwarnungen, ja? Wenn man sagt: Okay, in zwei, drei Stunden ist mit einem Orkan zu rechnen, dann weiß ja auch jeder, was er zu machen hat. Also Fenster verbarrikadieren, nicht rausgehen usw.

Ähnlich würde man mit den Weltraumwetterwarnungen umgehen: Also verlasst euch nicht in den nächsten zwei Stunden aufs GPS. Flüge vielleicht eher verzögern um zwei Stunden. Ja, also Maßnahmen derart würde man dann treffen.“

**[mg]:** „Welche Strategien verfolgt man, um diese Vorhersagen präziser zu machen? Ist das Mustererkennung oder wird das, sage ich mal, ganz normal modelliert? Ist das ein Thema für Grundlagenforschung, oder ist man da schon weiter?“

**[Krag]:** „Das ist noch Grundlagenforschung, und das ist eine gute Frage, denn das ist ein Problem, das uns gerade sehr stark beschäftigt. Unser Wächtersatellit fliegt in 150 Millionen Kilometer Entfernung, Signal dauert acht Minuten, bis es bei uns ankommt. Das heißt, regt sich irgendwas auf der Sonne, dann wird das, die Bilder davon erst mal zur Erde geschickt. Ein Wissenschaftler schaut sich das an und sagt dann: Auweia, da müssen wir schnell genauer hingucken. Kommandiert den Satelliten, vielleicht noch mehr Bilder aufzunehmen, in höherer Rate. Und auf die Art und Weise geht wertvolle Zeit verloren, denn mitunter kann das Ereignis schon nach zwölf Stunden bei uns eintreffen. Kann der Satellit vielleicht autonomer gemacht werden, dass er selber erkennt: Es lohnt sich jetzt mal, die Bildrate zu erhöhen? Oder: Es lohnt sich jetzt vielleicht noch mal, ein paar andere Bilder zu machen. Denn man kann das nicht dauerhaft machen. Das würde einfach zu viele Daten produzieren und den genauen Zeitpunkt zu erkennen, wann es sich lohnt, das zu tun. Das wäre natürlich toll, wenn man das autonom entscheiden könnte. Und da experimentieren wir sehr viel mit, ähm, künstlicher Intelligenz und anderen Algorithmen, die versuchen, das autonom zu erkunden. Für *VIGIL* kommt das wahrscheinlich zu spät, aber für Nachfolgemissionen ist das sehr wahrscheinlich, dass wir dann da und dort mitkriegen.“

**[mg]:** „Das heißt, so abschließend würden Sie sagen, was so die Sicherheit im Weltraum betrifft: Für unsere Infrastruktur, die digitale wie dann auch die analoge, sind wir eigentlich gut aufgestellt, wir müssen es nur im Blick behalten?“

**[Krag]:** „Ja, die digitale Infrastruktur entwickelt sich ja gerade erst. Vor 150 Jahren gab es ein Ereignis auf der Sonne, das sogenannte Carrington-Event, das dazu geführt hat, dass die sämtliche digitale Infrastruktur ausgefallen sind, äh, was zu der damaligen Zeit nur die Telegrafentelegraphenleitungen waren [lacht]. Und das war deutlich spürbar damals. Sollte so ein Ereignis heute auftreten, mit dem Grad der Digitalisierung, den wir heute haben, wäre der Schaden gewaltig groß. Also es lohnt sich unglaublich in diese Vorhersagetechnik zu investieren. Und zwar je weiter die Digitalisierung voranschreitet, umso mehr. Und mit den Schritten, die wir jetzt gehen, äh, gehen wir in die richtige Richtung, da bin ich überzeugt.“

*[Der Abspann mit Musik beginnt.]*

**[mg]:** „Und damit ist dieses *Digitalgespräch* zu Ende und wir bedanken uns bei Dr. Holger Krag vom Europäischen Raumflugkontrollzentrum in Darmstadt. Viele Grüße an die ESOC. Und wie immer auch vielen Dank an Sie, liebe Zuhörerinnen und Zuhörer, für

das Interesse und die Aufmerksamkeit. Wenn Sie mögen, hören wir uns wieder in drei Wochen zur nächsten Folge des *Digitalgesprächs*, einem Podcast von ZEVEDI, dem *Zentrum verantwortungsbewusste Digitalisierung*."



This work is licensed under CC BY-NC-ND 4.0. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>