

Neue Zürcher Zeitung

NZZ – GEGRÜNDET 1780

Samstag, 28. Februar 2026 · Nr. 49 · 247. Jg.

AZ 8021 Zürich · Fr. 6.50

Laserlicht soll Datenstau im All beheben

Dem Satelliteninternet droht die Überlastung, bevor es richtig Fuss gefasst hat. Ein optischer Link zur Erde könnte Abhilfe schaffen – wären da nicht die Wolken. VON CHRISTIAN SPEICHER

Licht ist als Informationsträger unschlagbar. Mit einem Glasfaserkabel lassen sich viel grössere Datenmengen übertragen als mit einer auf Radiowellen beruhenden WLAN-Verbindung. Das lernt man zu schätzen, wenn man beispielsweise mehrere hochauflösende Filme streamt oder im Internet eine Videokonferenz verfolgt.

Im Weltraum stellt sich ein ähnliches Problem. Satelliten nutzen Radiowellen, um untereinander oder mit einer Empfangsstation auf der Erde zu kommunizieren. Das kann zu Engpässen führen. So treffen die hochauflösenden Bilder von Erdbeobachtungssatelliten oft verzögert auf der Erde ein. Für die Bekämpfung von Überschwemmungen, Waldbränden oder anderen Naturkatastrophen braucht man die Bilder aus dem All aber sofort.

Zudem gibt es für Radiowellen nur eine begrenzte Zahl an Frequenzbändern. Schon heute konkurrieren Satellitenbetreiber um die knappen Frequenzen. Wenn in Zukunft Hunderttausende von Satelliten um die Erde kreisen und einen Internetzugang anbieten, sind Störungen vorprogrammiert.

Deshalb arbeiten Forscher und Firmen seit geraumer Zeit daran, für die Kommunikation im Weltraum Laserlicht zu verwenden. Lichtwellen schwingen sehr viel schneller als Radiowellen. Deshalb ist der Frequenzbereich breiter, der für die Datenübertragung genutzt werden kann. Das verspricht Übertragungsraten im Bereich von Terabit pro Sekunde. Damit liessen sich 200 000 hochauflösende Videos gleichzeitig streamen. Man könne die heutigen Funkverbindungen mit Kantonsstrassen vergleichen, sagt Michael Gschweil von der ETH Zürich. «Optische Verbindungen durch den freien Raum entsprechen hingegen einer mehrspurigen Autobahn.»

Licht hat weitere Vorzüge. Im Vergleich zu Radiowellen sind Laserstrahlen stärker fokussiert. Sie lassen sich deshalb schwerer abfangen oder stören. In Zeiten elektronischer Kriegsführung ist das ein grosser Vorteil. Auch die mühsame Regulierung der knappen Radiofrequenzen durch die Internationale Fernmeldeunion würde der Vergangenheit angehören, wenn Satelliten in Zukunft optisch kommunizieren würden.

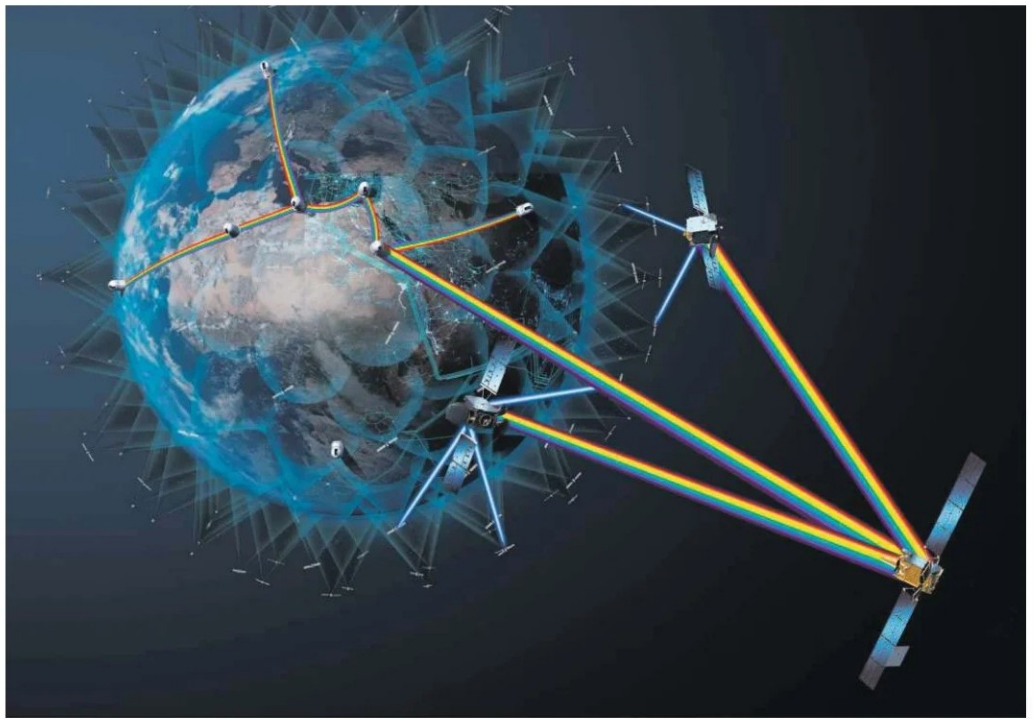
Wetter verzerrt Übertragung

Was nach einer nahezu idealen Lösung aussieht, hat allerdings einen Haken: Licht wird von Wolken blockiert. Bei schlechtem Wetter können Satelliten nicht mit der Bodenstation kommunizieren. Und selbst bei guter Sicht verzerrt der Wirbel in der Atmosphäre das Laserlicht. Das kann zu Übertragungsfehlern führen. Bis heute wird die optische Kommunikation deshalb vor allem für den Datenaustausch zwischen Satelliten verwendet. Denn im Weltraum gibt es keine störende Atmosphäre und keine Wolken.

Den Anfang machte im Jahr 2001 die Europäische Weltraumorganisation (ESA) mit dem Artemis-Satelliten. Der mit einem Laserterminal ausgestattete Satellit kreiste auf einer geostationären Umlaufbahn um die Erde und tauschte Daten mit einem französischen Aufklärungssatelliten in einem erdnahen Orbit aus. Über eine Entfernung von 40 000 Kilometern wurde eine Datenrate von 50 Megabit pro Sekunde erzielt.

Was damals mit relativ geringen Datenraten begann, wird heute routinemässig genutzt, etwa bei einigen der Erdbeobachtungssatelliten der ESA. Diese Satelliten können Daten direkt zur Erde funken. Da sie sich jedoch schnell bewegen, ist der Kontakt mit einer Bodenstation auf kurze Zeitfenster von wenigen Minuten beschränkt.

Zeitkritische Daten werden deshalb per Laserlicht an eine Relaisstation im geostationären Orbit umgelenkt und von dort mit Radiowellen zur Erde ge-



Eine Konzeptstudie der ESA für ein laserbasiertes Kommunikationsnetz zeigt, wie Satelliten in verschiedenen Erdorbits mit Stationen am Boden verbunden werden können.

Im Vergleich zu Radiowellen sind Laserstrahlen stärker fokussiert. Sie lassen sich deshalb schwerer abfangen oder stören.

funkt. Der Vorteil ist, dass die in einer Höhe von 36 000 Kilometern fliegenden Satelliten der Relaisstation einen ständigen Sichtkontakt zur Bodenstation haben und deshalb kontinuierlich Daten übermitteln können.

«Für die Kommunikation zwischen Satelliten steht die optische Verbindung an der Schwelle zur Kommerzialisierung», sagt Christian Fuchs von Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Es gebe inzwischen zahlreiche Firmen, die Laserterminals für Satelliten im Angebot hätten.

Zu den Firmen, die auf Laserlicht setzen, gehört SpaceX. Das amerikanische Raumfahrtunternehmen betreibt das Satellitennetzwerk Starlink, das schnelles Internet in abgelegene Gegenden bringt. Die neueren Starlink-Satelliten sind standardmässig mit drei Weltraumlasern ausgestattet, die 100 Gigabit pro Sekunde übertragen können. Für die Kommunikation zwischen zwei Satelliten der Konstellation wird damit der Umweg über eine

Bodenstation auf der Erde überflüssig. Das verringert die Latenzzeit und macht die Internetverbindung schneller. Auch die Kuiper-Satelliten des Unternehmens Amazon nutzen für die Vernetzung der Satelliten Laserlicht.

«Der Flaschenhals bleibt die Verbindung zwischen den Satelliten und der Erde», sagt Fuchs. Aber auch hier tut sich etwas. So hat die kanadische Firma Kepler im Mai vergangenen Jahres einen optischen Link zwischen einem Satelliten im erdnahen Orbit und einer Bodenstation in Frankreich hergestellt. Die Bodenstation wurde von der französischen Firma Cailabs entwickelt. Bei dem Test wurden die Standards erfüllt, die die amerikanische Space Development Agency für ein Netzwerk aus optisch verbundenen Satelliten vorgibt. Diese Standards sollen dafür sorgen, dass die optischen Links von verschiedenen Firmen kompatibel sind.

Ein Satellit im erdnahen Orbit bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 28 000 Kilometern pro Stunde, erklärt Fuchs. Deshalb müsse der Laserstrahl rasch nachgeführt werden, damit der Kontakt zum Teleskop am Boden nicht abreisse. Das stelle hohe Anforderungen an die Laserterminals.

Ein «Henne-Ei-Problem»

Auch die Bodenstationen müssen optimiert werden, damit sie optisch mit den Satelliten kommunizieren können. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt betreibt in Oberpfaffenhofen, Trauen und in Almería (Spanien) drei experimentelle Stationen. Hier untersuchen Fuchs und seine Kollegen, wie man die Störungen minimieren kann, die das Licht in der turbulenten Atmosphäre erfährt. Sie verwenden hierzu Methoden, die ursprünglich für optische Teleskope auf der Erde entwickelt wurden.

Gegen Wolken helfen aber auch technische Kniffe. In Zukunft sollen es daher mehrere Bodenstationen richten, die an verschiede-

In Zukunft sollen es mehrere Bodenstationen an verschiedenen Orten richten. Ist die Sicht auf eine Station blockiert, weicht man auf eine andere aus.

nen Orten stehen. Ist die Sicht auf eine Bodenstation durch Wolken blockiert, weicht man auf eine andere aus. Wie zuverlässig das funktioniert, hängt davon ab, wie weiträumig die Bodenstationen verteilt sind.

Eine Simulation von Christian Fuchs und Florian Moll zeigt, dass 12 Bodenstationen in Deutschland eine Verfügbarkeit von 84,7 Prozent gewährleisten könnten. Würde man die 12 Stationen strategisch über ganz Europa verteilen, läge die Erreichbarkeit sogar bei 99,9 Prozent. Ein solches Netz könnte bis auf neun Stunden pro Jahr Daten empfangen. Diese Abschätzung beruht auf realen Wolkenkarten, die über einen Zeitraum von fünf Jahren gesammelt wurden.

Ein solches Netzwerk von Bodenstationen gibt es bis jetzt allerdings noch nicht. Was es gibt, sind Vorläufer, die vor allem Forschungszwecken dienen. So betreibt die ESA das European Optical Nucleus Network, das aus Bodenstationen in Teneriffa, Spanien, Griechenland und den Niederlanden be-

steht. Das amerikanische Gegenstück besteht aus einer Station in Kalifornien und einer auf Hawaii.

«Man hat es hier mit einem typischen Henne-Ei-Problem zu tun», sagt Fuchs. Solange es zu wenige Bodenstationen gebe, zögerten die Satellitenbetreiber, ihre Satelliten mit teuren Laserterminals auszustatten. Umgekehrt wolle niemand in Bodenstationen investieren, solange es zu wenige Satelliten mit entsprechenden Terminals gebe.

Schleppender Ausbau

Inzwischen gehen jedoch einige Firmen dieses Wagnis ein. Zu ihnen gehört Astroflight aus Litauen. Das Start-up testete im Jahr 2022 eine tragbare Bodenstation, die zu Vergleichszwecken neben der Bodenstation der ESA auf Teneriffa aufgestellt wurde. Momentan baut das Unternehmen eine Pilotstation auf Grönland. Sie soll Laserstrahlen von Satelliten auffangen, die auf einer polaren Umlaufbahn um die Erde kreisen. «Jemand muss den ersten Schritt machen», sagt Laurynas Maciulis, der CEO von Astroflight. Um der optischen Kommunikation im Weltall zum Durchbruch zu verhelfen, müssen der Bau von Bodenstationen und die Ausrüstung von Satelliten mit Laserterminals aber parallel vorangetrieben werden.

Das geschieht derzeit nur schleppend. «Ich hätte erwartet, dass sich die Laserkommunikation durch den freien Raum schneller durchsetzt», sagt der ETH-Forscher Michael Gschweil. Die Infrastruktur werde zwar ständig weiterentwickelt, aber noch nehme der Markt das nur verzögert an. Gschweil kann sich aber vorstellen, dass die derzeitigen geopolitischen Verwerfungen einen Schub bringen. Denn die optische Kommunikation sei sicherer.

Fuchs glaubt an den kommerziellen Erfolg der optischen Kommunikation im Weltraum. «Die Nachfrage nach hohen Datenübertragungsraten ist vorhanden. Das wird sich in Zukunft nicht ändern.»