

Datenritt auf dem Laserstrahl

Das Experiment KIODO – Test eines optischen Satelliten-Downlinks

Von Dr. Dirk Giggenschach und Dr. Nicolas Perlot

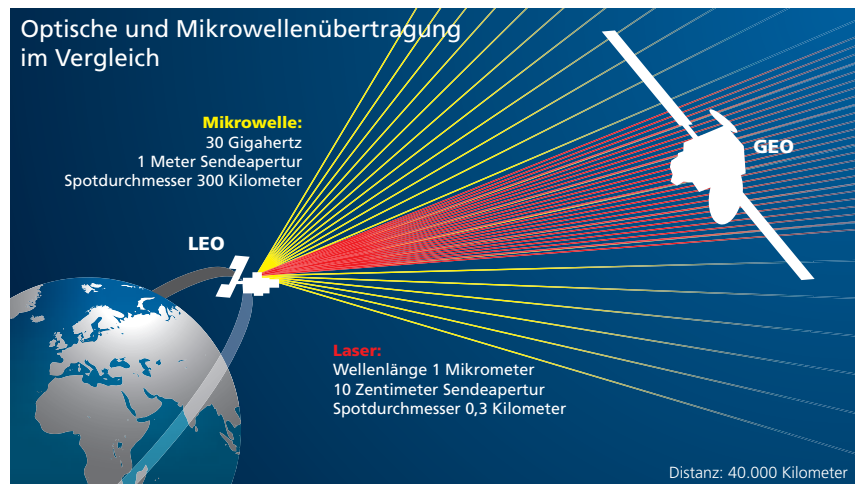
Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) hat in einer Kooperation mit der japanischen Weltraumagentur JAXA erfolgreich eine direkte optische Kommunikationsverbindung zwischen einem niedrig fliegenden Testsatelliten und einer optischen Bodenstation getestet. Der Experiment-Name KIODO verbindet den zweiten, japanischen Namen des Testsatelliten „Kirari“ – was blinken oder funkeln bedeutet – mit „Optical Downlink to Oberpfaffenhofen“. KIODO demonstrierte erstmals in Europa, dass diese Technologie hervorragend für die Kommunikation mit Erderkundungssatelliten und anderen mobilen Kommunikationspartnern eingesetzt werden kann. Ziel war es auch, den optischen Kommunikationskanal zwischen Satellit und Bodenstation zu vermessen sowie Beeinträchtigungen der Übertragung durch die Atmosphäre zu untersuchen. Die Wissenschaftler gehen davon aus, bei künftigen Versuchen die Datenraten in den Gigabitbereich ausweiten zu können.

Die optische Bodenstation des DLR in Oberpfaffenhofen während des KIODO-Experiments

Das Kiodo-Experiment wurde im Juni 2006 in acht verschiedenen Nächten durchgeführt. Der japanische Satellit OICETS (Optical Inter-Orbit Communications Engineering Test Satellite) überflog dabei den DLR-Standort im bayerischen Oberpfaffenhofen und richtete sein Kommunikationsterminal auf die optische Bodenstation des DLR-Instituts für Kommunikation und Navigation aus. Das japanische Kontrollzentrum in Tokio hatte OICETS zu diesem Zweck entsprechend programmiert und mit den Zielkoordinaten der DLR-Bodenstation versehen.

Das Kommunikationssignal weist bei dieser Technologie eine extrem enge Bündelung auf und erfordert daher eine hochpräzise Strahlausrichtung und -verfolgung. Hierzu war es erforderlich, dass die Bodenstation den Satelliten zunächst mit einem Ziel-Laser anstrahlte. Durch den Empfang dieses so genannten Beacon-Signals konnte dann das Satelliten-Terminal seinen Laserstrahl mit dem aufmodulierten digitalen Datenstrom mit einer Genauigkeit von wenigen Metern auf die Bodenstation ausrichten.

Eine besondere Herausforderung lag in der hohen Dynamik des Links, da der niedrig fliegende Satellit in wenigen Minuten über die Bodenstation hinwegflog, aber mit einer Präzision von wenigen hundertstel Grad verfolgt werden musste. Hierzu wurde das Signal vom Satelliten optisch mit hochempfindlichen Digitalkameras verfolgt und die Ausrichtung des



Empfangsteleskops entsprechend präzise nachgeregelt.

Auf der Satellitenseite war für dieses Experiment ein besonderes Orbitmanöver erforderlich, da das Terminal auf dem Satelliten normalerweise von der Erde weg, hin zu höher fliegenden (geostationären) Kommunikationssatelliten, zeigt. Die entsprechende Eigenrotation von OICETS musste daher jeweils für einen Umlauf gestoppt werden, damit sich das optische Terminal über Oberpfaffenhofen auf der erd zugewandten Seite des Satelliten befand. Eine halbe Erdumkreisung später wurde die Rotation des Satelliten wieder gestartet, damit er sich wieder in seinem ursprünglichen Modus befand – bis zum nächsten Trial ein paar Nächte darauf.

Der Einfluss der Atmosphäre auf optische Freistrahübertragung besteht zum einen in der Dämpfung des Signals durch Streuung und

Absorption durch die Luftmoleküle sowie durch Staub und Dunsttröpfchen. Zum anderen beeinflusst die so genannte Brechungsindexturbulenz, kurz BIT, die Signalübertragung und erzeugt ein Schwanken des Empfangssignals. Bei Kiodo führte die BIT zusammen mit der hohen Geschwindigkeit des Satelliten zu extrem schnellen Signalschwankungen (so genannten Fades) mit mehreren Kilohertz Bandbreite. Wahrscheinlich ist dies der Grund für eine gewisse Rest-Bitfehlerrate von etwa 10^{-6} . Ziel weiterer Untersuchungen wird es unter anderem sein, derartige Effekte zu analysieren und zu kompensieren.

Außer den erwähnten atmosphärischen Effekten führen dichte Wolken zur Blockierung einer optischen Verbindung, weshalb für zuverlässige Satelliten-Downlinks mehrere Bodenstationen von Vorteil sind. Diese sollten sinnvoller Weise an bewölkungsarmen Orten positioniert werden,



OICETS in-orbit mit dem optischen Terminal „LUCE“ nach unten gewandt

z. B. auf Bergen oder in südlichen Regionen. Die Stationen können sich dann beim Empfang je nach Bewölkungslage abwechseln. Da die optischen Empfangsstationen kostengünstiger sind als große Funk-Antennen und außerdem fernbedient betrieben

werden können, wird dadurch auch die Gesamtkontaktzeit zum Boden erhöht. Eine andere Lösungsmöglichkeit des Bewölkungsproblems besteht in der direkten Kommunikation von Satelliten mit Flugzeugen – welche normalerweise über der Wolkendecke fliegen.

Mit dem erfolgreichen Experiment haben die DLR-Wissenschaftler zusammen mit ihren Kollegen von der JAXA bewiesen, dass die optische Freiraumkommunikation auch für Übertragungen aus dem Weltraum eingesetzt werden kann. Weitere Tests sind mit dem deutschen Erdkundungssatelliten TerraSAR-X geplant, auf dem ein hochratiges optisches Kommunikationsterminal anderer Bauart mitfliegen wird.

Langfristig wird die optische Freiraumkommunikation als notwendige Ergänzung zu bisherigen Übertragungsmethoden mittels Funksystemen gesehen. Die Übertragung von Satellitendaten per Laserstrahl ermöglicht Datenraten, die jene von Mikrowellensystemen um das Hundertfache übertreffen. Neue Anwendungen in der Erdkundung, wie hoch auflösende optische oder Radar-Sensoren, die fast ununterbrochen arbeiten können, rücken damit ins Blickfeld.

Autoren:

Dr. Dirk Giggenbach leitet die Gruppe Optische Freiraumkommunikation am DLR-Institut für Kommunikation und Navigation, Dr. Nicolas Perlot ist Projektleiter von KIDO.



Das KIDO-Empfangsterminal – ein 40 Zentimeter Cassegrain-Teleskop mit fokalen Messgeräten und optischem Receiver-Frontend – in der optischen Bodenstation Oberpfaffenhofen

Vorteile der Optischen Freistrahübertragung

Elektromagnetische Wellen – wie sie zu Kommunikationszwecken eingesetzt werden – neigen von Natur aus zur Aufweitung (Divergenz), was zur Verringerung der Signalstärke beim Empfänger führt. Durch Richtantennen beim Sender (z. B. Parabolantennen, Teleskope) kann diese Divergenz minimiert werden, wobei der Divergenzwinkel umso kleiner ist, je größer die Antennenfläche und je kleiner die Wellenlänge des Signals ist. Daher kann durch Verringerung der Trägerwellenlänge die Signalstärke beim Empfänger erhöht werden. Da Kommunikationslaser elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen von etwa einem tausendstel Millimeter erzeugen, sind sie die idealen Quellen für hocheffiziente gerichtete Freistrah-Datenübertragung. Der Effizienzvorteil gegenüber den konventionellen Wellenlängen im Mikrowellenbereich liegt bei einem Faktor von über einer Million. Dieser Gewinn kann vorteilhaft in die verschiedenen Übertragungsparameter wie Sendeleistung, Antennengrößen, Distanzen und Datenrate investiert werden. Insbesondere die Datenraten können mit optischen Technologien erheblich gesteigert werden, bis hin zu den in der terrestrischen Glasfaserkommunikation üblichen vielen Gigabit pro Sekunde. Solche Datenraten sind im Wellenlängenbereich der klassischen Funktechnik (einige Meter bis Zentimeter Wellenlänge) nicht realisierbar. Neben den technologischen Problemen ist es vor allem die Begrenztheit der Frequenzbänder im Funkbereich, die dem entgegenstehen.

Was bedeutet Brechungsindexturbulenz?

Die freie Atmosphäre besteht aus unterschiedlich großen Luftzellen (wenige Millimeter bis einige Meter Durchmesser), welche leicht unterschiedliche Temperaturen und damit einen unterschiedlichen Brechungsindex haben. Für Licht ist daher die Atmosphäre kein ideal transmittierendes homogenes Medium, sondern weist statistisch einen örtlich und zeitlich zufällig verteilten Brechungsindex auf, die Brechungsindexturbulenz (BIT). Das Licht wird dabei örtlich verteilt leicht abgelenkt, man sagt, die Wellenfront des Lichts werde gestört. Im weiteren Ausbreitungsvorgang entstehen dann Intensitätsschwankungen. Dieser BIT-Effekt bedingt auch das Funkeln von Sternen und das „Flirren“ über heißem Asphalt. Für die optische Kommunikation innerhalb der Atmosphäre ist dies ein Problem, das sich in schnellen Signalschwankungen (Fading) bemerkbar macht.

Der Satellit OICETS

OICETS (Optical Inter Orbit Communications Engineering Test Satellite) trägt als primäre Nutzlast das optische Inter-Satelliten-Kommunikationsterminal „LUCE“ (Laser Utilizing Communications Equipment). Dieses kommuniziert auch mit einem entsprechend kompatiblen Gegenterminal. Das befindet sich auf dem europäischen Forschungssatelliten „Artemis“ (Projekt SILEX, Semiconductor Inter-Satellite-Link Experiment). OICETS wird von der japanischen Luft- und Raumfahrtagentur JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) betrieben.

OICETS wurde am 23. August 2005 von Baikonur aus gestartet. Er fliegt mit einer Masse von 570 Kilogramm in einer polaren, sonnensynchronen Umlaufbahn und hat eine Orbithöhe von 610 Kilometern. Seine Umlaufdauer beträgt 97 Minuten.