

# High-Altitude-Platform Systems und deren Vernetzung mit optischer Freistrahls-Kommunikation

Was High-Altitude-Platform Systems (HAPS) für die Kommunikationsnetze leisten können.

Neben der terrestrisch gebundenen Kommunikation über Festnetz-/DSL-Anschluss und Mobilfunknetze gibt es seit einigen Jahren Satellitenkommunikationsnetze mit speziellen Endgeräten (z.B. Iridium, Globalstar oder Inmarsat) bzw. dedizierten Bodenterminals. Dabei hat die Satellitenkommunikation noch die relativ große Distanz zwischen Endnutzer und Satellit von einigen hundert bis tausenden Kilometern zu überwinden, was die Übertragungsrate und die Verzögerung aufgrund der Signallaufzeit negativ beeinflusst. Als dritte Möglichkeit werden derzeit in der Stratosphäre zwischen 18 km und 25 km Höhe positionierte Kommunikationsplattformen, sogenannte High-Altitude Pseudo Satellites oder Platform Systems (HAPS) entwickelt. Durch die große Flughöhe weit über Wolken und

Jetstreams bietet sich ein wetterunabhängiger und den Flugverkehr nicht gefährdender Einsatz.

Die relativ kurze Distanz zwischen Endnutzer und „fliegendem Mobilfunkmast“ erlaubt den Verzicht auf spezielle Kommunikationshardware – existierende WiFi- und 4G-/5G-Technologien können damit direkt und ohne zusätzliche Antennen oder zwischengeschaltete Systeme angebunden werden. Die Abschattung des Funksignals wird zudem aufgrund der Sichtrichtung – nach oben zum HAP – vermindert.

Dabei werden entweder aerodynamische Drohnenflugzeuge eingesetzt, die solarbetrieben mehrere Monate in großen Höhen stationiert werden sollen, oder aerostatische (Leichter-als-Luft-)Träger, die z.B. als Ballons dauerhaft in der Stratosphäre verblei-

ben können. Falls wie im Fall der Ballons kein Antrieb vorhanden ist, werden über Flughöhenänderungen die unterschiedlichen Windrichtungen in verschiedenen Atmosphärenschichten zur Positionsbeeinflussung genutzt.

Der Google-Mutterkonzern Alphabet betreibt hierzu eine Flotte von speziellen Stratosphärenballons im Projekt LOON, weitere Firmen sind ebenfalls aktiv in der Entwicklung solcher Systeme. Daneben entwickeln Airbus mit dem Zephyr und weitere europäische, chinesische und amerikanische Firmen entsprechende aerodynamische Plattformen. Als dritten Ansatz sind zeppelinartige Systeme zu nennen, welche aktive Positionierung mittels Antrieben verbinden mit Leichter-als-Luft-Strukturen für den entsprechenden Auftrieb.

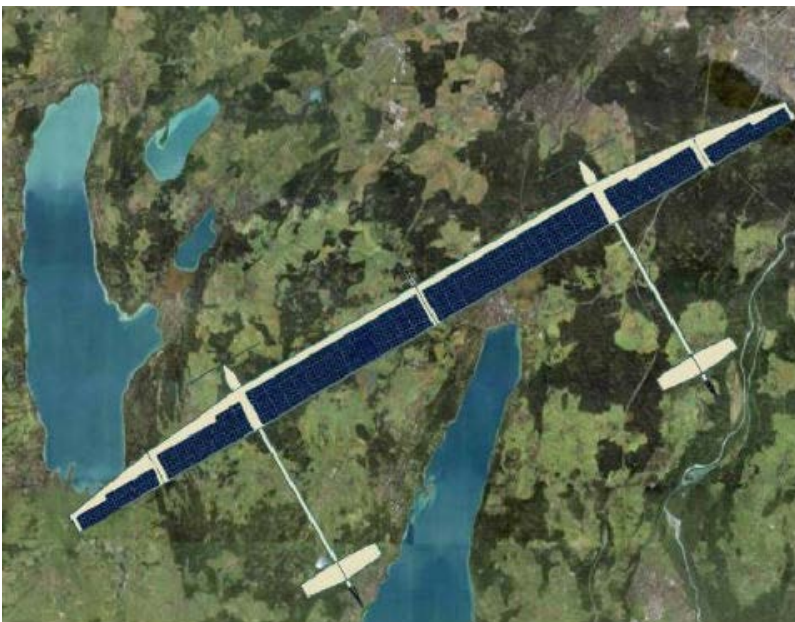


Bild: DLR

Solarbetriebene Stratosphärendrohne ELHASPA

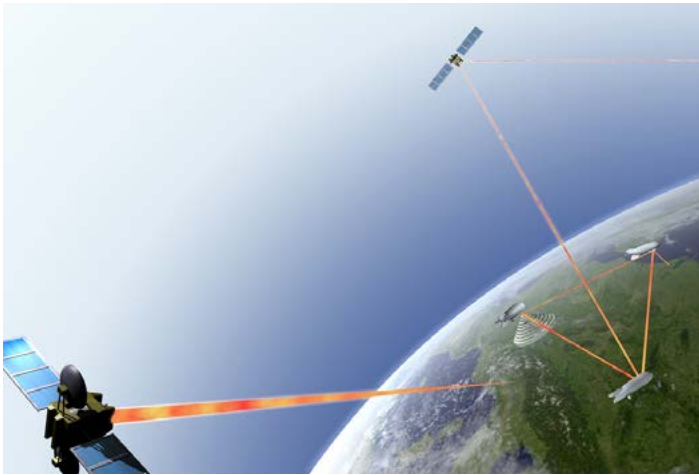


Bild: DLR

Szenario einer optischen Vernetzung von HAP-Systemen mit Satellitennetzwerken

### Stratosphärische Backbone-Vernetzung durch optische Freistrahverbindungen

Die Daten der Endnutzer müssen vom HAP-Netzwerk weitergeleitet werden. Hier bietet sich zunächst eine Funkverbindung vom HAP zu etablierten Kommunikationssatellitennetzen oder zu mobilen terrestrischen Kommunikationsnetzen an. Diese bieten aber zum einen nur sehr begrenzte Übertragungsraten, zum anderen ist ihre Nutzung als Datenbackbone sehr teuer. Naheliegender ist eine direkte Weiterleitung zu weiteren HAP im selben System, was über mehrere hundert Kilometer in der Stratosphäre möglich ist, sowie möglicherweise eine direkte Anbindung zum Boden. Solche Freistrahverbindungen müssen energieeffizient und

hochratig sein und sollten nicht mit terrestrischen Funkssystemen interferieren. Vorteilhaft sind hier freistrahloptische (FSO-)Verbindungen mittels modulierter Laserstrahlung. Für die optische Satellitenkommunikation werden bereits Verbindungen mit mehreren Gigabit pro Sekunde operationell eingesetzt, an höheren Datenraten wird gearbeitet. Diese Technologien können durch Herunterskalieren auf geringere Distanzen für die OIPL (Optical Inter-Platform Links) und die HAP-to-Ground-Links adaptiert werden.

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) untersucht seit 2005 in verschiedenen Projekten die hochratige Vernetzbarkeit von HAPS über Laserterminals. Dabei ist die dafür erforderliche Datensicherung durch Fehlerkorrektur (FEC)

und Wiederholungsanforderung (ARQ) ein wichtiges Forschungsthema.

Bei einer Kopplung mehrerer HAP ergeben sich vielfältige Netzaspekte. Bereits der Übertragungskanal zwischen ihnen zeigt wegen der optischen Brechungsindexturbulenzen schwankende Signalstärken. Dieses Fading muss mittels Fehlersicherung über adaptive FEC- und ARQ-Verfahren korrigiert werden. Durch die relativ großen Distanzen zwischen den HAP und die entsprechenden hohen Umlaufzeiten gestaltet sich jedoch eine zeitnahe Adaption auf die Schwankungen der Signalstärken als schwierig. Als hilfreich könnte sich hier die Reziprozität der Übertragungsbedingungen in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung herausstellen. Größtenteils müssen die Nutzinformationen der Teilnehmer dann über mehrere Lei-



Experimentelles Laser-Kommunikationssystem des DLR: erfolgreich getesteter 1,25-Gbit/s-Datenlink mit einem Stratosphärenballon in 24 km Höhe

Bild: M. Steur

tungsabschnitte zwischen den HAP (bzw. auch über zwischengeschaltete LEO-GEO-Satellitenkonstellationen hinweg) übertragen werden. Hierbei vervielfachen sich entsprechend die durch Übertragungswiederholungen erzeugten Verzögerungszeiten – und vor allem auch ihre entsprechenden Schwankungen. Besonders kritisch ist auch das Routing der Informationen zwischen den HAP: Als Beispiele seien

hier die Ende-zu-Ende-Verfügbarkeit bei Plattformen mit begrenzter Flugdauer in der Atmosphäre und die Wegesuche in einem variabel vermaschten Netz aus HAP genannt.

Trotz aller Herausforderungen stellt die Kommunikation über optisch vernetzte HAP und angekoppelte LEO-GEO-Konstellationen eine ausgezeichnete Perspektive zur Internet-Anbindung

bisher unterversorgter Regionen oder Katastrophenszenarien bereit.

**DR.-ING. DIRK GIGGENBACH**

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

**PROF. DR.-ING. ANDREAS KIRSTÄDTER**

Institut für Kommunikationsnetze und Rechnersysteme, Universität Stuttgart

## NEWSPACE

# Kleinst-Satelliten-Netze für das Internet der Dinge

*Die aktuell in den Startlöchern stehenden Mega-Konstellationen von Telekommunikationssatelliten in niedrigen Erdumlaufbahnen sollen Internet weltweit an jedem Ort verfügbar machen. Durch die fortschreitende Miniaturisierung werden kosteneffiziente Telekommunikationsnetze für das Internet der Dinge mit Kleinst-Satelliten möglich.*

Die Raumfahrt beeindruckt gegenwärtig durch einen Paradigmenwechsel von einzelnen traditionellen Großsatelliten in geostationären Umlaufbahnen (GEO – Geostationary Earth Orbit) hin zu verteilten vernetzten Kleinsatelliten in niedrigen Erdumlaufbahnen (LEO – Low Earth Orbit). Im Bereich der Erdbeobachtung betreibt so die Firma Planet 150 Dove-LEO-Satelliten mit etwa 6 kg Masse und erfasst seit 2017 die Erdoberfläche mit hoher zeitlicher Auflösung. Mit dem Ziel, weltweit überall Internet bereitzustellen, werden in der Telekommunikation entsprechende Mega-Konstellationen mit mehreren hundert Klein-Satelliten vorbereitet. Miniaturisierung der Satelliten und Fortschritte in der Nachrichtentechnik eröffnen hier neue Perspektiven für Anwendungen im „Internet der Dinge“ (IoT – Internet of Things).

Der rasch anwachsende Bedarf bei IoT-Anwendungen soll nach den Vorhersagen noch in diesem Jahrzehnt etwa 25 Milliarden Sensoren und Ak-

toren miteinander vernetzen. Das globale Marktvolumen beim Internet der Dinge umfasste im Jahr 2017 bereits 195 Milliarden US-Dollar bei einer erwarteten jährlichen Wachstumsrate von 30 Prozent [1]. In dicht besiedelten Gebieten wird die Vernetzung über Glasfaserverbindungen und 5G-Funkverbindungen erfolgen, während für abgelegene Gebiete (wie z.B. Bergwerke in Wüsten, Ölplattformen auf hoher See) und für mobile Systeme (wie z.B. Flugzeuge, Schiffe oder Züge) eine Anbindung über Satelliten attraktiv ist. So können große Flächen wirtschaftlich abgedeckt werden, ohne aufwändige Bodeninfrastruktur installieren zu müssen. Das IEEE hat in diesem Bereich eine eigene Konferenzserie unter dem Titel „Internet of Space (IoS)“ auf den Weg gebracht, um die spezifischen Herausforderungen in diesem Bereich anzugehen.

Weltumspannende Satellitennetze wurden bereits Ende der 90er-Jahre hauptsächlich für Sprachkommunikation aufgebaut, wie Iridium (66 Satel-

liten mit jeweils 689 kg Masse seit 1998), Globalstar (48 Satelliten mit je 450 kg ab 2000) oder Orbcomm (27 LEO-Satelliten). Diese waren damals aber kommerziell weniger erfolgreich. Mit den heutigen fortgeschrittenen Technologien und dem geänderten Kommunikationsverhalten der Bevölkerung sowie den IoT-Anforderungen werden nun erneut Groß-Konstellationen auf den Weg gebracht. Auch diese frühen Satellitennetz-Anbieter gehen gerade mit neuer leistungsfähigerer Technologie in die 2. Generation. Darüber hinaus bringt OneWeb die erste neue Mega-Konstellation in den nächsten beiden Jahren in entsprechende LEO-Umlaufbahnen. Ende 2018 sollen die ersten zehn Satelliten mit jeweils 145 kg Masse im Orbit platziert werden. Es werden hier von OneWeb etwa 900 Satelliten gebaut. So sollen später kontinuierlich 720 Satelliten im V-Band (37 GHz bis zu 50 GHz) betrieben werden. Bei OneWeb ist bereits die nächste Generation mit 1280 Satelliten im Medium