

Liebe ITG-Mitglieder,

ich habe das Vergnügen, Herrn Schotten diesmal urlaubsbedingt beim Editorial zu vertreten, und möchte dabei in das Thema NewSpace einführen.

Zukunftsträchtige Entwicklungen in der Raumfahrt werden derzeit vordergründig von privaten Unternehmen dominiert. Medial beträchtlich in Szene gesetzt, sehen wir Techniken, die wir vor Kurzem noch der Science Fiction zugeordnet hätten: Raketenstufen fliegen nach getaner Arbeit zum Startplatz

zurück, globale Erdbeobachtungs- und Kommunikationssysteme werden aus tausenden von Satelliten bestehen. Diese Projekte werden dabei nicht – wie bisher üblich – durch staatliche Programme angetrieben, sondern von privaten Akteuren im Raumfahrtgeschäft dominiert.

Die in diesen ITG-News vorgestellten Konzepte zeigen, in welche Richtungen sich raumfahrtbasierte Kommunikationssysteme entwickeln:

Wir sehen Techniken, die wir vor Kurzem noch der Science Fiction zugeordnet hätten.

hochratige geostationäre Kommunikationssatelliten, stratosphärische Kommunikationsplattformen oder Satellitennetze befinden sich in der Entwicklungsphase oder im Aufbau.

Wir konnten eine Reihe von Experten für dieses Fokusthema gewinnen, welche uns hier einen aktuellen Überblick der Systeme geben, die in naher Zukunft einen erheblichen Einfluss auf unsere Kommunikationsmöglichkeiten haben. Wir erfahren unter anderem, wie

die „klassische“ Satellitenkommunikation mit geostationären Satelliten ebenso wie niedrigfliegende Satellitenkonstellationen von optischen Freistrahldatenverbindungen profitieren können. Das Internet der Dinge kann durch miniaturisierte Satelliten von terrestrischer Infrastruktur unabhängig werden, und bald schon kooperiert der 5G-Mobilfunk mit Satellitensystemen.

Diese Technologien gehen mit ihrem globalen Anspruch über die ge-



wohnte terrestrische Kommunikationsinfrastruktur weit hinaus und stellen dabei auch neue Herausforderungen an Standardisierung und Regulierung.

Ich möchte außerdem noch auf die ITG-Preisverleihung am 5. November und die ITG-Mitgliederversammlung am 13. November in Berlin hinweisen, zu der Sie herzlich von Vorstand und Geschäftsführung eingeladen sind.

Ich wünsche Ihnen eine spannende Lektüre dieser ITG-News!

DR.-ING. DIRK GIGGENBACH

Mitglied des ITG-Vorstands

EINLADUNG

ITG-Mitgliederversammlung 2018

Die ordentliche Mitgliederversammlung der ITG findet am 13. November in Berlin am ersten Tag des VDE Tec Summit 2018 statt. Sie beginnt um ca. 12.30 Uhr (bis ca. 13.30 Uhr) im Raum „360 Grad“. Alle ITG-Mitglieder sind hierzu herzlich eingeladen. Auf der Tagesordnung stehen u.a. der Tätigkeitsbericht der ITG für den Zeitraum 2017/2018, die Aussprache

über die Tätigkeit der ITG sowie die Bekanntgabe der Preisträger der ITG 2018. Aus organisatorischen Gründen bittet die ITG-Geschäftsführung darum, Fragen bzw. Diskussionspunkte zur Tagesordnung bis spätestens **31. Oktober 2018** schriftlich (per Brief oder E-Mail: itg@vde.com) an die ITG-Geschäftsstelle zu senden.
// tecsummit.vde.com

Inhalt

Meldungen	03
Fokus-Thema	
NewSpace	04
Termine	20

23. ITG-FACHTAGUNG MOBILKOMMUNIKATION 2018

Aktuelle Technologien und Anwendungen im Fokus

Am 16. und 17. Mai 2018 fand die 23. ITG-Fachtagung Mobilkommunikation an der Hochschule Osnabrück statt. Die Schwerpunktthemen der diesjährigen Tagung waren 5G, Industrial Radio, Fahrzeugkommunikation sowie das Internet der Dinge.

Auf der sehr gut besuchten Tagung präsentierten Forscher, Entwickler und Anwender aus Industrie, Hochschulen und Forschungsinstituten ihre aktuellen Forschungsergebnisse und Erfahrungen aus der Praxis.

Die Digitalisierung und das Internet der Dinge werden unser Leben im nächsten Jahrzehnt rasant verändern. Gleichzeitig wird die 5. Mobilfunkgeneration weltweit verfügbar und positioniert sich hier als Technologie für innovative Dienste. Hierfür sind neue Ansätze notwendig: Die großen Datenmengen erfordern eine kreativere Spektrumnutzung und den Einsatz von Massive MIMO. Anwendungen wie autonomes Fahren und Roboter in der Industrie 4.0 besitzen harte Echtzeitanforderungen, die nur durch flexible Netze und Edge Computing, d.h. mehr Intelligenz im Netz, erfüllt werden können. Big Data, kombiniert mit Deep Learning, bietet ein großes Potenzial für mobile Anwendungen, aber auch eine Herausforderung für

den Schutz von Daten und der Privatsphäre.

Die Fachtagung gliederte sich in acht Sitzungen, in denen 23 Referenten über aktuelle Themengebiete der Mobilkommunikation informierten. Zudem berichteten zwei hochinteressante Key Notes über neue Forschungsansätze zur Effizienzsteigerung mittels Signalverarbeitung und Informationstheorie und über das Potenzial maschinellen Lernens für das 5G-Netzwerkmanagement. Die Reihenfolge der acht Sitzungen orientierte sich am OSI-Modell. In der ersten Sitzung präsentierten zwei Forschungsprojekte Funkversorgungsmessungen in Grenzregionen und Kanalmodelle. Die darauf folgende Sitzung untersuchte, wie die spektrale Effizienz des Mobilfunkkanals mittels MIMO und Kanalcodierungen verbessert werden kann. Zudem wurden neue Device-to-Device-Kommunikationsansätze diskutiert. Die Bedeutung von „Industrial Radio“ zeigte sich in zwei Sitzungen,

deren Themen sich von flexiblen Netzarchitekturen bis hin zu Indoor-Lokalisierungssystemen erstreckten.

Der zweite Tagungstag startete mit einer Sitzung über das „Network Slicing“. Es wurde diskutiert, wie zukünftig Nutzer und Anwendungen ihren sehr individuellen Bedarf an Datenraten und Latenzen mittels virtualisierter Netze anpassen können. Zudem wurde in einer weiteren Sitzung auf die Herausforderungen und Lösungen für Mobilfunknetze in Katastrophengebieten hingewiesen. Die Tagung endete mit Vorträgen zu den Themen „Fahrzeugkommunikation“ und „Internet of Things“. Da Fahrzeuge Warnhinweise üblicherweise per Broadcast verteilen, wurden beispielsweise unterschiedliche Ansätze für eine zuverlässigere Kommunikation präsentiert. Weitere Themen umfassten die Realisierung privater 5G-Netze für Land- und Baumaschinen sowie die Anforderungen an die Informationssicherheit in Netzen.

Die Fachtagung hatte den Charakter eines Workshops, sodass es im Anschluss der Vorträge zum ausgiebigen Dialog zwischen dem Referenten und den Teilnehmern kam. In den Vortragspausen konnten sich die Teilnehmer Demonstrationen von aktuellen Forschungsprojekten erläutern lassen. Zudem stellten zwei Messgerätehersteller ihr neuestes Equipment aus dem Bereich der Mobilkommunikation und der Prüfmesstechnik vor. Im Anschluss des ersten Tagungstags wurde zudem ein gemütliches Abendessen bei Jazzmusik in der Osnabrücker Altstadt angeboten.

Die ITG-Fachtagung Mobilkommunikation ist eine Kooperationsveranstaltung der ITG im VDE, der Hochschule Osnabrück und des Bezirksvereins Osnabrück des VDE. Die Teilnehmer verschafften sich einen Überblick über aktuelle Technologien und zukünftige Entwicklungen im sehr dynamischen Mobilfunksektor. Sie lobten die hohe Qualität der Beiträge



Quelle: HS Osnabrück

Teilnehmer der 23. ITG-Fachtagung Mobilkommunikation



Das Programmkomitee (v.l.): Prof. Dr.-Ing. Hans Schotten, Prof. Dr.-Ing. Ralf Tönjes, Prof. Dr.-Ing. Peter Roer und Prof. Dr.-Ing. Clemens Westerkamp

und das ausgewogene Verhältnis von Vorträgen aus Hochschulen und Industrie. Der Tagungsband mit den Beiträgen ist im VDE VERLAG erschienen. Die Präsentationen können unter www.mobilkomtagung.de eingesehen werden. Die nächste ITG-Fachtagung Mobilkommunikation findet am 15. und 16. Mai 2019 an der Hochschule Osnabrück statt.

**PROF. DR. ING. RALF TÖNJES
GÜNTER HÜDEPOHL**

Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik
Hochschule Osnabrück

4. ITG/VDE SUMMER SCHOOL ON VIDEO COMPRESSING AND PROCESSING (SVCP)

Austausch für den wissenschaftlichen Nachwuchs

Vom 4. bis 6. Juli 2018 fand die vierte ITG/VDE Summer School on Video Compression and Processing im Hotel Bilm im Glück in der Nähe von Hannover statt.

Bereits zum vierten Mal in Folge wurde die ITG/VDE Summer School on Video Compression and Processing (SVCP) durch den ITG-Fachausschuss MT 2 „Bildkommunikation und Bildverarbeitung“ organisiert, der von Prof. Dr.-Ing. André Kaup von der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) geleitet wird. Ziel der Summer School ist der wissenschaftliche Austausch unter den Doktoranden auf dem Arbeitsgebiet des Fachausschusses in einer ungezwungenen, weniger formalen Atmosphäre, als dies typischerweise bei großen internationalen Konferenzen

der Fall ist. Durch die persönlichen Kontakte und intensiven Diskussionen können die Doktoranden gemeinsame Forschungsinteressen leichter identifizieren und bekommen Anregungen, die anschließend weiterverfolgt werden können. Nach den erfolgreichen Veranstaltungen in Waischenfeld (2015), Köthen (2016) und Kerkrade (2017) wurde die SVCP 2018 von der Leibniz-Universität Hannover (LUH) ausgerichtet. Das Tagungsprogramm wurde durch Prof. Dr.-Ing. Jörn Ostermann von der LUH zusammengestellt. Etwa 30 Teilnehmer von neun Universitäten und Forschungseinrich-

tungen besuchten die Summer School, 26 Poster und Vorträge wurden über drei Tage verteilt vorgestellt.

Das Themenspektrum umfasste u.a. neue Algorithmen zur Bewegungskompensation, Textursynthese und Signalprädiktion für die nächste Generation der Bild- und Videocodierung, Codierung von 360-Grad-Videosequenzen, Techniken für die Bildverbesserung, 3D-Rekonstruktion und Verfahren für die effiziente Repräsentation von DNA-Sequenzierungsdaten. Ergänzt wurde das wissenschaftliche Programm durch einen Übersichtsvortrag von Prof. Dr.-Ing. Bodo Rosenhahn unter dem Titel „De-hyping Neural Networks“, ein gemeinsames abendliches Grillen und Bosseln, bei dem wir nur eine Kugel in der Natur verloren. Die Rückmeldungen durch die Teilnehmer waren überaus positiv und die nächste SVCP ist für Juli 2019 in der Nähe von Konstanz bereits fest eingeplant.



Teilnehmer der 4. ITG/VDE Summer School vor dem Tagungsort Hotel Bilm im Glück bei Hannover

PROF. DR.-ING. ANDRÉ KAUP

Lehrstuhl für Multimediakommunikation und Signalverarbeitung, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Vorsitzender des ITG-Fachausschusses MT 2 „Bildkommunikation und Bildverarbeitung“



Quelle: Fotolia_sdecoret

NEWSPACE

5G-NewSpace

Der aktuell stattfindende Wandel der Raumfahrt von OldSpace zu NewSpace ist von zunehmend privatwirtschaftlichem Wettbewerb geprägt und erfordert eine enge Kooperation von Wirtschaft und Wissenschaft.

Wandel von OldSpace zu NewSpace

Die Raumfahrt befindet sich derzeit politisch, wirtschaftlich und technologisch im Wandel. Waren Technologieentwicklungen, Missionsplanungen oder die Operation von Weltraummissionen ursprünglich staatlich initiiert und dominiert („OldSpace“), so werden der Weltraumzugang und orbitale Anwendungen zukünftig deutlich privatwirtschaftlicher organisiert und von völlig neuen technologischen Ansätzen, Anwendungen und Geschäftsmodellen geprägt sein. Vor allem Unternehmen aus dem nordamerikanischen Raum, wie SpaceX, OneWeb und TeleSat, aber zunehmend auch Start-Ups im europäischen Raum im Umfeld von

Universitäten haben diese neue Ära unter dem Begriff „NewSpace“ eingeläutet. Ein deutlich stärker geprägter privatwirtschaftlicher Wettbewerb und die unabhängigen und konkurrierenden Entwicklungen der Luft- und Raumfahrtunternehmen des NewSpace werden im Vergleich zum OldSpace einen deutlich schnelleren und kostengünstigeren Zugang zu Weltraumtechnologien und Weltraummissionen ermöglichen.

Konstellationen von Kleinsatelliten

Eine Kerntechnologie der NewSpace-Ära sind Kleinsatelliten („Small Satellites“). Die Bezeichnung „Small Satellites“ bezeichnet leichte, vor allem

günstige und schnell verfügbare Satelliten, die in größeren gut skalierbaren Konstellationen bzw. Schwärmen spezifische Aufgaben für verschiedenste Anwendungen kooperativ wie ein im Raum verteiltes großes System durchführen können. Im Gegensatz zu einem großen, schweren und teuren Satelliten des OldSpace variiert das Volumen eines Kleinsatelliten von lediglich ein bis einigen Litern bzw. das Gewicht von 1 kg bis zu 500 kg. Zudem belaufen sich die typischen Kosten von Kleinsatelliten für Herstellung und Launch zusammen im Bereich von 100 000 Euro oder weniger.

Die wesentlichen drei Anwendungsbereiche bzw. Märkte, die NewSpace durch Konstellationen von Kleinsatelliten adressiert, sind Kommunikation,

Erdbeobachtung und Wissenschaft/Technologie. Insbesondere dem Anwendungsbereich Kommunikation wird zukünftig eine hohe Bedeutung und damit ein großer Marktanteil des NewSpace zugeordnet. Aus wirtschaftlicher Sicht wird dem Markt der Kleinsatelliten bis zum Jahr 2022 ein Wachstum auf 2,2 Mrd. US-\$ und bis 2026 sogar auf 30 Mrd. US-\$ für Herstellung und Launch vorausgesagt [1]. Wesentlicher Grund hierfür ist die Vision der Digitalisierung der Gesellschaft und die damit notwendige Entwicklung des Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) oder, weiterführend gedacht, eines allgegenwärtigen und überall verfügbaren Internets („Internet of Everything and Everywhere“, IoEE).

5. Mobilfunkgeneration (5G)

Parallel zu der NewSpace-Evolution der Raumfahrt findet derzeit auch bei den terrestrischen Kommunikationssystemen mit der Entwicklung der 5. Mobilfunkgeneration (5G) ein Paradigmenwechsel statt – im Kern steht nicht mehr nur die Breitbandanbindung, sondern die Kommunikation zwischen Maschinen bzw. Dingen. Folglich hat das Standardisierungsforum 3GPP drei 5G-Services definiert: Enhanced Mobile Broadband (eMBB), Ultra Reliable Low Latency Communication (URLLC) und Massive Machine-type Communication (mMTC). Dies sind exakt die Services, welche zur Umsetzung von Anwendungen wie autonomes Fahren, digitale Industrie, digitale Landwirtschaft und digitale Logistik erforderlich sind. Zudem wurde erkannt, dass eine zuverlässige und flächendeckende Versorgung dieser Services über ein rein terrestrisches 5G-Kommunikationsnetz nicht erreicht werden kann. Folgerichtig wurden Satelliten bereits als integraler Bestandteil des 5G-Ökosystems identifiziert [2] und es sind weltweit Aktivitäten zur Zusammenführung von 5G mit NewSpace zu einem „5G-NewSpace“ begonnen worden.

5G-NewSpace

Bedingt durch die technologische Notwendigkeit, eine zuverlässige, hochratige, latenzarme und flächendeckende

Versorgung von 5G-Technologien bereitzustellen, hat das 5G-Standardisierungsforum 3GPP den Zugang zu 5G über Satelliten beschlossen [3]. Welche Technologien jedoch für die Kommunikation zwischen der Erde und den Satelliten oder zwischen den Satelliten im Orbit zum Einsatz kommen sollen, ist bisher noch nicht spezifiziert worden. Ebenso legt 3GPP weder den Orbit (Low Earth Orbits [LEO], Medium Earth Orbits [MEO], Geostationary Earth Orbit [GEO] oder Highly Elliptical Orbits [HEO]), die Satellitenkonstellationen oder Satellitengrößen und damit keine raumfahrtsspezifischen Randbedingungen bzw. Metriken fest. Dennoch ist zu betonen, dass die Beschlüsse der 3GPP-Standardisierungsgruppe zur Umsetzung eines 5G-Satellitenzugangs eine notwendige Voraussetzung für „5G-NewSpace“ waren. Durch diese Beschlüsse ist somit der Grundstein für einen zukünftigen Markt 5G-NewSpace gelegt worden.

Parallel zu den Aktivitäten in 3GPP sind weltweit politische, wirtschaftliche und wissenschaftliche Aktivitäten begonnen worden, welche die Zusammenführung von 5G mit NewSpace zu einem 5G-NewSpace als integralen Bestandteil adressieren (z. B. OneWeb [4], Starlink [5], TelesatLEO [6], LeoSat [7]). Als wichtige Beispiele sind das Projekt Satis5 [8] des ESA-Programms ARTES und das von der EU geförderte Projekt Sat5G [9] zu nennen, die die Abbildung von 5G-Konzepten wie Network Function Virtualisation (NFV) oder Network Slicing bei der Integration eines Satelliten im MEO oder GEO in das terrestrische 5G-System analysieren. Kleine Satelliten in deutlich niedrigeren Orbits, z. B. LEO, oder gar Schwärme von Kleinsatelliten stehen jedoch nicht im Fokus. Zudem behandeln derzeitige Aktivitäten die Integration hauptsächlich aus Sicht der terrestrischen 5G-Technologien. Raumfahrtsspezifische Aspekte und Herausforderungen, wie der Satellit selber, die Integration von 5G-Technologien in den Satelliten, der Abgleich der Kommunikation mit der Flugregelung, die Positionierung oder Lokalisierung der Satelliten oder eine optimale Missionsplanung für die Bereitstellung einer zuverlässigen, hochratigen, latenzarmen und flä-

chendeckenden Versorgung, bleiben annähernd unbeachtet. Somit gilt es, durch ein methodisches strukturiertes Vorgehen die Integration von 5G mit NewSpace unter Berücksichtigung der raumfahrtsspezifischen Aspekte technologisch anzugehen.

Folglich ergibt sich ein großer Forschungsbedarf an Technologien zur Integration von Satelliten in ein terrestrisches 5G-System. Die sich ergebenden technischen Herausforderungen lassen sich dabei nur durch eine enge Kooperation von Wissenschaft und Wirtschaft lösen.

Referenzen

- [1] Small satellites: The NewSpace revolution. Satellite Evolution EMEA 15 (2018) H. 2, S. 30–33, März/April 2018
- [2] Corici, M.; Kapovits, A.; Covaci, S.; Geurtz, A.; Gheorghe-Pop, I.-D.; Riemer, B.; Weber, A.: Assessing satellite-terrestrial integration opportunities in the 5G environment. ARTES White Paper, September 2016
- [3] Chuberre, N.; Michel, C.: Satellite components for the 5G system. Januar 2018: www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1933-sat_ntn
- [4] OneWeb: www.oneweb.world
- [5] Starlink: www.space.com
- [6] TelesatLEO: www.telesat.com/services/leo/why-leo
- [7] LeoSat: <http://leosat.com>
- [8] SATIS5 (Demonstrator for Satellite-Terrestrial Integration in the 5G Context). Projekt im ESA-Programm ARTES: <https://artes.esa.int/projects/satis5>
- [9] SaT5G (Satellite and Terrestrial Network for 5G). 5G-PPP-Projekt: <http://sat5g-project.eu/>

PROF. DR.-ING. ARMIN DEKORSY

Technologie-Zentrum Informatik und Informationstechnik (TZI) und Institut für Telekommunikation und Hochfrequenztechnik (ITH), Universität Bremen

FRANK BITTNER

Technologie-Zentrum Informatik und Informationstechnik (TZI), Universität Bremen

DR.-ING. DIRK WÜBBEN

Technologie-Zentrum Informatik und Informationstechnik (TZI) und Institut für Telekommunikation und Hochfrequenztechnik (ITH), Universität Bremen

NEWSPACE

Komplementäre Kooperation von 5G Mobilfunk und Satellitensystemen

Die komplementäre Nutzung von 5G-Mobilfunk und Satellitensystemen eröffnet eine Breitbandversorgung in geografisch unterschiedlichen Räumen.

Mit der Einführung von 5G befinden sich Europa und auch Deutschland auf dem Weg zur Gigabit-Gesellschaft [1]. 5G stellt ein sehr flexibles Kommunikationssystem mit einem weiten Bereich von Anwendungsgebieten und technischen Parametern dar und ist die Basis für die digitale Transformation der Gesellschaft und Wirtschaft. ITU-R (International Telecommunication Union – Radio Sector) hat 2015 die wichtigsten generischen Anforderungen an IMT-2020 (5G) formuliert, die im Wesentlichen die drei Anwendungsszenarien (s. Bild 1):

- eMBB – enhanced Mobile Broadband,
- URLLC – Ultra Reliable Low Latency Communication sowie
- mMTC – massive Machine Type Communication

unterstützen sollen [2], die derzeit in der Standardisierung bei 3GPP global umgesetzt werden [3].

Insbesondere die Unterstützung von Diensten mit sehr geringer Latenzzeit für kritische Infrastrukturen und sicherheitsrelevante Anwendungen sowie die

flächendeckende Breitbandversorgung bei räumlich sehr unterschiedlichen Kommunikationsverkehrsdichten stellen auch eine wirtschaftliche Herausforderung dar. Insofern kann terrestrisches 5G allein nicht alle möglichen Anwendungsfälle abdecken, sondern bedarf der Ergänzung durch und der Kooperation mit Satellitensystemen, wie z.B. die Breitbandversorgung von Flugzeugen.

Stärken des zellularen terrestrischen Mobilfunks

In terrestrischen Mobilfunksystemen kann die Systemkapazität (unterstützte Datenrate pro Fläche und Teilnehmer) im Wesentlichen durch zusätzliches Frequenzspektrum, die Verbesserung der spektralen Effizienz der Radio-schnittstelle und insbesondere durch die Wahl der Zellengröße beeinflusst werden. Die Erweiterung des Frequenzspektrums ist durch die Verfügbarkeit in den für die Funkausbreitung günstigen Frequenzbändern begrenzt, die spektrale Effizienz wird durch

physikalische Grenzen festgelegt. In den letzten Jahren hat es hier erhebliche Fortschritte durch digitale Signalverarbeitung bis in die Nähe physikalischer Grenzen gegeben. Bei jedem Funksystem nimmt bei gegebener Sendeleistung (EIRP – Äquivalente isotrope Strahlungsleistung) die Reichweite mit zunehmender Trägerfrequenz und Datenrate ab und damit die Anzahl der erforderlichen Basisstationen zu. Eine hohe Flächenkapazität kann durch Anpassung der Zellengröße ($\ll 1$ km) an die zu unterstützende Verkehrs- und Teilnehmerdichte (Teilnehmer sind sowohl Personen als auch Maschinen bzw. IoT) flexibel und durch Frequenzwiederholung in benachbarten Zellen innerhalb des verfügbaren Frequenzspektrums erreicht und auch technisch einfach erweitert werden. Kleine Zellengrößen erlauben auch bei üblichen Endgeräte-Formfaktoren und Antennengrößen sowie den Grenzwerten der maximal erlaubten Strahlungsleistung sehr hohe Datenraten im Uplink. Endgeräte für terrestrische

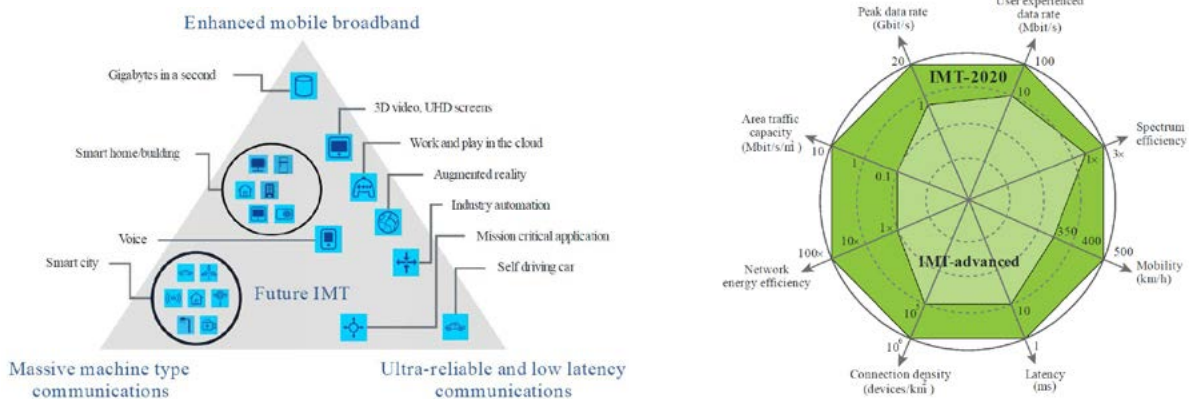


Bild 1: Anwendungsszenarien für IMT-2020 und darüber hinaus sowie Erweiterungen der Schlüsselparameter von IMT-Advanced zu IMT-2020 [2]

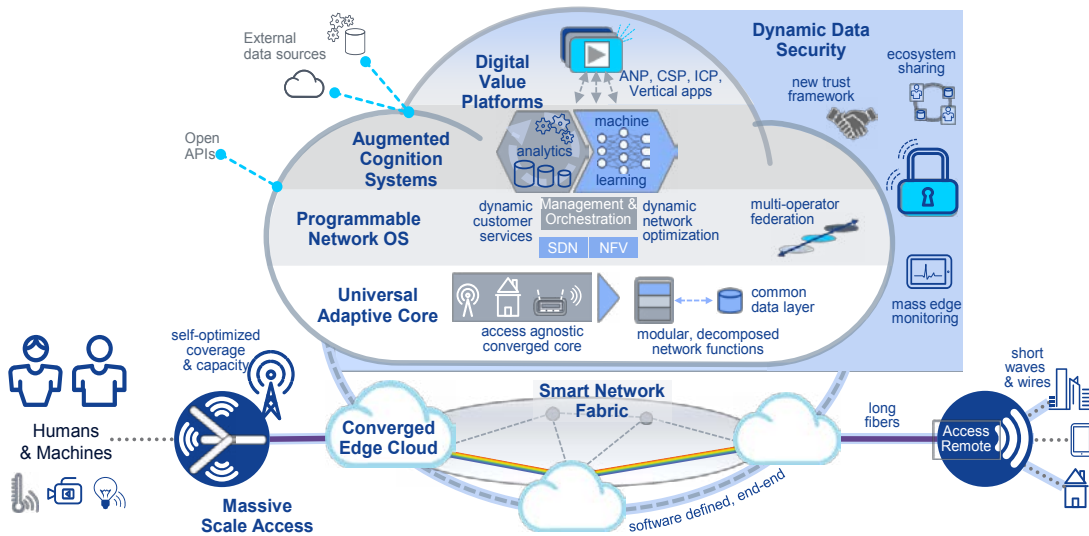


Bild 2: Beispielhafte Netzarchitektur

Systeme haben typischerweise integrierte Antennen und basieren auf sehr kosteneffizienten Chipsätzen für einen globalen Massenmarkt. Geringe Latenzzeiten werden durch die Netzarchitektur mittels Converged Edge Cloud garantiert, bei der die Anwendung sehr nahe an die Basisstation und den Endnutzer gebracht wird. Dadurch werden die Übertragungswege verkürzt und ausbreitungsbedingte Latenzzeiten deutlich reduziert (s. Bild 2). Dies führt zu einer hohen garantierten Dienstgüte, die auch bei Bedarf durch weitere Verkleinerung der Zellengröße erweitert werden kann.

In Gebieten mit hohem Verkehrsaufkommen treibt die Nachfrage Kapazitätserweiterungen durch Kleinzellen, während in Gebieten mit geringem Verkehrsaufkommen (ländliche Räume mit geringer Bevölkerungsdichte) die Zelldichte aufgrund fehlender Wirtschaftlichkeit gering sein müsste, aber insbesondere bei höheren Trägerfrequenzen wegen der begrenzten Funkreichweite nur schwer implementierbar ist. Hier ergibt sich eine natürliche Kooperation von beiden Systemen.

Stärken satellitenbasierter Systeme

Die besondere Stärke satellitenbasierter Systeme liegt in der Versorgung größerer Flächen, die besonders eine wirtschaftliche Versorgung dünn besiedelter Gebiete gestatten. Prinzipiell stehen unterschiedliche Konzepte von

geostationären Systemen (GEO) für eine großflächige Versorgung zum Beispiel für Rundfunk oder Push-Anwendungen über MEO (Medium Earth Orbit) bis zu LEO (Low Earth Orbit) zur Verfügung, die für kleinere Versorgungsgebiete geeignet sind. LEO- und MEO-Systeme können in dünn besiedelten Gebieten oder für spezielle Versorgungsgebiete für individuelle Kommunikation eingesetzt werden. Die Zellengröße am Boden wird durch die Wahl der Orbit-Höhe (GEO, MEO oder LEO) sowie die Satellitenantennen festgelegt. In zukünftigen Systemen werden Satellitenantennensysteme mit Strahlformung eingesetzt, um kleinere Zellen am Boden zu erzeugen, die jedoch auch bei LEO-Konstellationen deutlich größer und weniger flexibel einstellbar sind als im terrestrischen Mobilfunk. Die Größe der Apertur der Satellitenantenne führt zu einer Mindest-Zellengröße am Boden, die die Systemkapazität pro Fläche begrenzt. Alle Konstellationen unterhalb von GEO erfordern eine große Anzahl umlaufender Satelliten, damit eine kontinuierliche Versorgung (ständige Sichtbarkeit von Satelliten), ein sicherer Hand-Over zwischen aufeinanderfolgenden Satelliten und eine größere Systemkapazität bereitgestellt werden können. Der Datendurchsatz pro Satellit wird durch das verfügbare Frequenzspektrum, den Antennengewinn und die Sendeleistung begrenzt, die im Weltraum über die Lebensdauer erzeugt werden muss. Sehr hohe

Antennengewinne bzw. schmale Antennenkeulen für kleine Zellengrößen am Boden erfordern große Antennenaperturen. Der aggregierte Datendurchsatz wird auf die aktiven Nutzer einer Satellitenzelle am Boden aufgeteilt. Die Kapazität kann nur durch eine größere Anzahl von Satelliten und ein erweitertes Frequenzspektrum nennenswert erhöht werden.

Aufgrund der längeren Ausbreitungswege auch in LEO-Konstellationen und großflächiges Raumdiversity für die resiliente Verbindung zwischen Kernnetz und den Satelliten sind die Latenzzeiten grundsätzlich größer als in terrestrischen Systemen. Die mögliche Datenrate in der Aufwärtsstrecke vom Endgerät zum Satelliten ist gegenüber terrestrischen Mobilfunksystemen deutlich geringer, da der Antennengewinn (Formfaktor des Endgeräts) und auch die Sendeleistung durch Grenzwerte der Strahlungsleistungsdichte begrenzt sind. Bei LEO- und MEO-Konstellationen muss die große Dopplerverschiebung aufgrund der schnell umlaufenden Satelliten durch komplexe Signalverarbeitung und ggf. durch Anpassungen an der Radioschnittstelle für die Kanalschätzung beherrscht werden. Derzeit befinden sich High-Throughput-Satelliten (in der Größenordnung 1 Tbit/s) in der Entwicklung, die auf einem zellularen Ansatz am Boden mit Spot-Beam-Antennen basieren. Die Gesamtkapazität wird auf die Spot Beams und schließlich auf die aktiven Nutzer aufgeteilt. Wenn ein High-Through-

	Terrestrischer Mobilfunk	Satellitensysteme
Systemkapazität je Fläche	+	0
Flächenversorgung	0	+
Versorgung auf hoher See	-	+
Latenz	+	-
Signalverarbeitungskomplexität	+	0
Endgerätekomplexität	+	-
Antennenformfaktor	+	-
Sendeleistung	+	-

Tabelle 1: Ausgewählte Kriterien für Versorgung terrestrischer versus Satellitensysteme

put-Satellit ein großes Gebiet mit vielen aktiven Teilnehmern abdecken soll, ist die verbleibende Kapazität pro aktivem Nutzer sehr gering (1 Gbit/s pro Teilnehmer erlaubt nur 1000 simultan aktive Nutzer pro Satellit bzw. entsprechend mehr Nutzer mit weniger Datendurchsatz).

Daher sind Satellitensysteme besonders für bestimmte Anwendungsszenarien, wie dünn besiedelte Gebiete, Versorgung für Schiffe auf See außerhalb terrestrischer Systeme und die Versorgung von Flugzeugen, geeignet. Dienste mit geringeren Latenzanforderungen sind nur bedingt möglich. Indoor-Versorgung kann nur über Repeater erfolgen.

Integration von terrestrischem Mobilfunk und Satellitensystemen

Aufgrund der Stärken terrestrischer Systeme und satellitenbasierter Systeme sowie auch der Beschränkungen aus technischer und wirtschaftlicher Sicht können beide in positiver Weise komplementär integriert werden (z. B. Aktivitäten in 3GPP SA2 [4]), um eine wirtschaftliche und globale Versorgung für viele Anwendungsszenarien – außer sehr geringen Latenzzeiten – zu gewährleisten. So können dicht besiedelte Gebiete mit mittleren und sehr hohen Kapazitätsanforderungen durch terrestrische Systeme

und dünn besiedelte Gebiete, Schiffe auf See oder Flugzeuge durch Satelliten-Systeme komplementär unterstützt und in derselben Netzinfrastruktur integriert werden. Tabelle 1 stellt ausgewählte Kriterien der beiden Systeme gegenüber.

Ein gutes Beispiel einer Integration von terrestrischem Mobilfunk und Satellitensystemen ist die Kommunikationsversorgung von Flugzeugen sowohl über terrestrischen Mobilfunk (derzeit LTE) über Land und dichter besiedeltem Gebiet sowie über Satelliten außerhalb des terrestrischen Versorgungsgebiets (s. Bild 3) mittels des European Aviation Networks [5]. Dadurch wird sowohl Redundanz er-

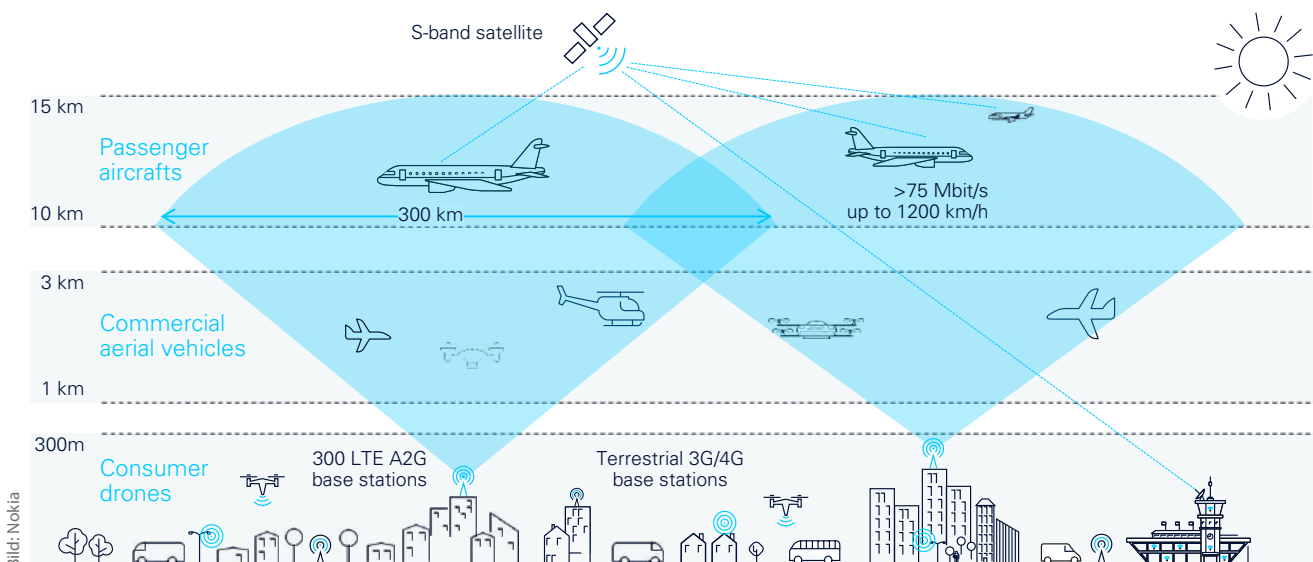


Bild 3: Breitband-Air-to-Ground-Versorgung über alle Schichten

zeugt als auch eine globale Versorgung ermöglicht.

Beide Systeme haben ihre Stärken in geografisch unterschiedlichen Räumen. Dies eröffnet Möglichkeiten für eine komplementäre Nutzung von terrestrischem Mobilfunk und Satellitensystemen. Bei einer engen Kooperation sind auch fortschrittliche Verfahren der ökonomischen Frequenznutzung, wie geringere Guardbands oder ggf. auch Frequenz-Sharing-Verfahren, denkbar, die Vorteile für beide Systeme und

eine bessere Nutzung des begrenzten Frequenzspektrums gestatten.

Referenzen

- [1] The Federal Government Germany: 5G Strategy for Germany. Juli 2017: www.bmvi.de/SharedDocs/EN/publications/5g-strategy-for-germany.pdf?__blob=publicationFile
- [2] ITU-R: IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond. Recommendation ITU-R M.2083-0 (09/2015): www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-!!!PDF-E.pdf

- [3] 3GPP: Release 16. [/www.3gpp.org/release-16](http://www.3gpp.org/release-16).
- [4] 3GPP Satellite Component for the 5G system. www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1933-sat_ntn
- [5] European Aviation Network. https://en.wikipedia.org/wiki/European_Aviation_Network. Internet of Space

DR. WERNER MOHR

Nokia Solutions and Networks GmbH & Co. KG, München

NEWSPACE

High-Throughput-Satelliten für die Breitbandversorgung aus dem All

So könnte Deutschland flächendeckend mit Gigabit-Internet erschlossen werden.

Deutschland rangiert laut OECD beim Breitbandausbau im Vergleich mit anderen Industrienationen aktuell auf einem der hinteren Plätze. Schon heute ist klar: Für eine „digitale Infrastruktur von Weltklasse“ in der Fläche und für alle Haushalte wird der von der Politik bisher favorisierte Glasfasernetzausbau bis 2025 nicht ausreichen. Eine ergänzende Erschließung unter-

versorgter Gebiete mittels Satellitenkommunikation kann dieses Dilemma lösen.

Digitalausbau in Deutschland

Die Verzahnung unserer Gesellschaft über intelligente, digital vernetzte Systeme wird fortwährend vorangetrieben. Wo Informations- und Kommunika-

tionstechnik für die Zivilgesellschaft ebenso bedeutend geworden ist wie für Gewerbe, Industrie, Handel und die Öffentliche Hand, muss eine Breitbandinfrastruktur verlässlich und lückenlos bereitgestellt werden. Schnelles Internet ist heute entscheidend für die Wahl eines Wohn- oder Gewerbestandorts, sodass erschließungstechnisch ohnehin schon benachteiligte

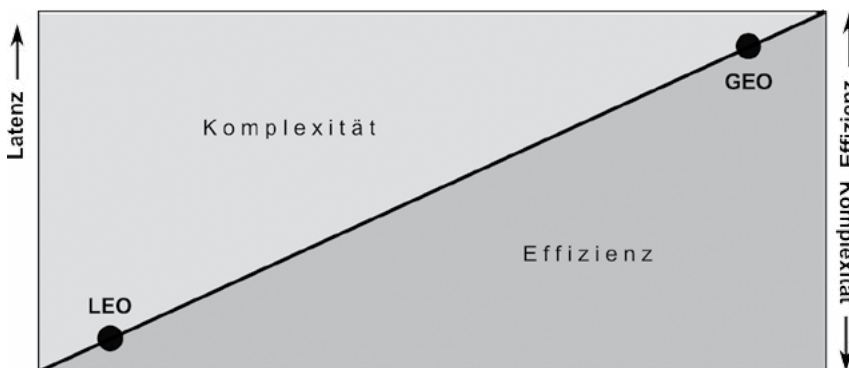


Bild 1: Charakterisierung von Satellitenorbits

periphere Räume weiter ins Hintertreffen zu geraten drohen.

Gemäß einer Studie der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) gehört Deutschland hinsichtlich der Versorgung seiner Bürgerinnen und Bürger mit breitbandigem Internet aktuell im internationalen Vergleich zu den Schlusslichtern. Im Koalitionsvertrag 2018 verfolgen Union und SPD daher den flächendeckenden Ausbau von Gigabit-Netzen bis 2025. Sogar ein Rechtsanspruch auf einen schnellen Internetanschluss wird inzwischen in Aussicht gestellt, was den Handlungsdruck weiter erhöhen sollte. Dennoch verläuft der Digitalausbau vor allem in ländlichen Gebieten sowie in Ostdeutschland allgemein immer noch schleppend.

Die wesentliche Herausforderung dreht sich um die Frage, wie mit der sogenannten „letzten Meile“ wirtschaftlich umzugehen ist. Teure Glasfasern werden in der Regel nur bis zu Verteilerkästen gelegt. Auf den Strecken bis zu den Hausanschlüssen der Verbraucher liegen aus Rentabilitätsgründen meist immer noch Kupferkabel, die in manchen Fällen 80 Jahre alt sind. Mit diesen werden gigabitfähige Internetanschlüsse rein physikalisch nicht umzusetzen sein, auch nicht mit Signalvorverarbeitungsstrategien, dem sog. Vectoring. Experten raten daher zu einer gezielten Subventionierung des Ausbaus echter Glasfasernetze bis zum Verbraucher (sog. Fiber to the Home) auf dem Land. Solche Programme sind kurzfristig aber gar nicht umsetzbar (Schätzungen gehen von mindes-

tens 15 Jahren Dauer aus), selbst wenn Bund und Länder die Kosten für den Netzausbau, die je nach Prognose im mittleren zweistelligen Milliarden-Euro-Bereich liegen, aufbringen könnten.

Darüber hinaus stellt sich das Problem des Netzbetriebs, denn auch für die großen Telekommunikationsanbieter bedeutet ein preisgünstiger Netzausbau nicht automatisch, dass diese Netze später auch profitabel bewirtschaftet werden können. Dies zeigt sich bereits in der aktuellen Breitband-Förderperiode. Gerade in Ostdeutschland haben Kommunen bereits die Erfahrung gemacht, dass selbst eine kostenlose Überlassung des Glasfasernetzes bei den Platzhirschen der Telekommunikationsbranche nicht immer auf Gegenliebe stößt, da zusätzliche Kosten für den Betrieb bei oft nur geringen Nutzerzahlen den Renditevorstellungen der Anteilseigner nicht gerecht werden können. Eigentümer der Netze bleiben in vielen Fällen die Kommunen, die dann auch für die Netzwartung und Netzinstandhaltung zuständig und damit nicht selten schlicht überfordert sind. Angesichts dieser komplexen Gemengelage dürfte eines hinlänglich sicher sein: Mit dem Glasfaserausbau allein wird der ländliche Raum niemals bis zum letzten Haushalt erschlossen werden.

Genau hier kann Satellitenkommunikation einen wichtigen Beitrag leisten, wirtschaftliche Lösungen in der Fläche schnell und unkompliziert bereitzustellen. Für Deutschland würde dies einen zentralen und angesichts der damit zu erwartenden Nutzerzahlen

ökonomisch vorteilhaften Netzbetrieb innerhalb weniger Jahre ermöglichen.

Satellitenorbits

Raumfahrer unterscheiden grob drei erdnahe Umlaufbahnen: (1) niedrige (engl.: low) Erdorbits (LEO) mit Bahnhöhen von 100 km bis 2000 km, (2) mittlere Erdorbits (MEO) mit Bahnhöhen bis zu 35 786 km und (3) hohe Erdorbits (HEO) mit Bahnhöhen über 35 786 km. Eine besondere Rolle wird dem geostationären Orbit (GEO) in 35 786 km Höhe zuteil, da Satelliten dort die gleiche Winkelgeschwindigkeit um das Erdzentrum haben wie die Erdoberfläche, sodass sie vom Boden aus eine fixe Position zu haben scheinen. Dieser Orbit eignet sich besonders für großräumige Kommunikationsverbindungen und ist seit den 1960er-Jahren vor allem für die Übertragung von Rundfunkprogrammen äußerst beliebt.

Für Kommunikationsanwendungen von zentraler Bedeutung sind die durch die Entfernung der Terminals hervorgerufenen Latenzzeiten in den Signalwegen. Hier gilt: Je näher sich ein Satellit an der Erdoberfläche befindet, desto kürzer ist die Laufzeitverzögerung (vgl. Bild 1). In einem LEO mit 800 km beträgt diese für einen Single-Hop etwa 5 ms (das entspricht ungefähr der durch eine 1 000 km lange Glasfaser hervorgerufenen Latenz), im GEO dagegen rund 240 ms. Je nach überbrückter Entfernung am Boden kann sich dies also gegenüber terrestrischen Verbindungen nachteilig auswirken.

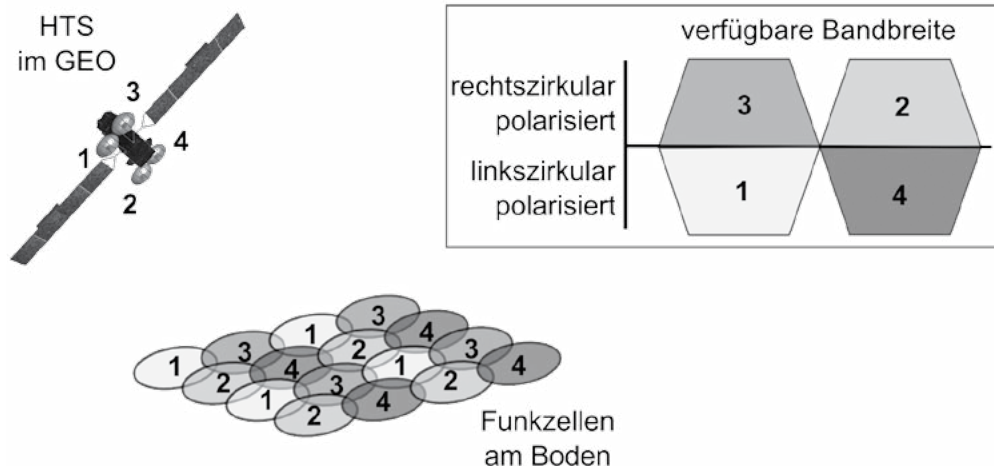


Bild 2: Wiederverwendung der Frequenz in einem Vier-Farben-Schema bei einem gängigen HTS

Es gilt aber auch: Je niedriger ein Satellit über der Erdoberfläche fliegt, desto höher muss seine Umlaufgeschwindigkeit sein, um das Gleichgewicht zwischen Zentripetal- und Gravitationskraft aufrecht zu erhalten. Die Umlaufdauer eines niedrig fliegenden Satelliten beträgt etwa 90 min. In dieser Zeit umrundet dieser einmal den kompletten Globus, ist aber über Deutschland nur einen Bruchteil des Umlaufs zu sehen (man kann dies gut anhand von Überflügen der Internationalen Raumstation am nächtlichen Himmel beobachten). Nur etwa ein Drittel der Umläufe gehen typischerweise über Deutschland. Gleichzeitig verkleinert sich das Gesichtsfeld eines Satelliten auf die Erde mit abnehmender Höhe. Damit die Ausleuchtung der Bundesrepublik vom Weltraum aus kontinuierlich sichergestellt werden kann, sind in MEO folglich weniger Satelliten notwendig als in LEO, sodass die Komplexität einer weltraumgestützten Kommunikationsinfrastruktur in höheren Orbits abnimmt. Um eine deutschlandweite Signalabdeckung zu erreichen, genügt beispielsweise ein einziger Satellit, wenn er in einer geostationären Umlaufbahn zwischen etwa 30° westlicher und 50° östlicher Länge positioniert wird. Dahingegen wird auf 800 km Höhe für dieselbe Aufgabe schon eine Konstellation aus mehreren Dutzend Satelliten in geschickt gewählten, aufeinander abgestimmten LEO benötigt.

Das Gros einer LEO-Konstellation ist also permanent unsichtbar, ihre effiziente Nutzung entsprechend unwahrscheinlich. Zusätzlich müssen bei LEO- oder MEO-Systemen die Antennen der Nutzer den sich am Himmel bewegendem Satelliten folgen und, je nach Dauer der Sichtbarkeit, den Satelliten sehr häufig wechseln. Nicht zuletzt deswegen gelten Satelliten im GEO immer noch als das Mittel der Wahl, um Informationen innerhalb einzelner Regionen weltraumgestützt zu übertragen.

High-Throughput-Satelliten

Gegenüber den klassischen GEO-Satelliten zur Verbreitung von TV-Programmen ist die Transpondertechnologie inzwischen weit fortgeschritten und zielt auf die Maximierung des

Datenverkehrs zwischen individuellen Netzknoten. Während Rundfunksatelliten mit einer Antenne meist große Gebiete oder sogar Kontinente versorgen, strebt man das technisch realisierbare Minimum für die Größe der Ausleuchtzone (engl. Spotbeams) an. Sogenannte Multibeam-Antennen versorgen in einzelnen Spotbeams kleinere Gebiete mit einem Durchmesser von wenigen 100 km und bilden, wie aus dem Mobilfunk bekannt, am Boden eine zellenartige Struktur aus benachbarten Empfangsbereichen. Die Wiederverwendung des Spektrums in den einzelnen Zellen führt zu einer enormen Steigerung des Datendurchsatzes für den gesamten Satelliten (aktuelle Systeme erreichen Kapazitäten weit über 100 Gbit/s) und ist Namensgeber für die High-Throughput-Satelliten (HTS). Wird, wie in Bild 2 dargestellt, das Spektrum in zwei Hälften aufgeteilt, so können mit den zwei zur Verfügung stehenden Polarisationen (z.B. links- und rechtsdrehend zirkular) vier orthogonale Ausbreitungsmoden als Ressourcen erzeugt werden, die eine Trennung des Nutzerverkehrs in benachbarten Spotbeams ermöglichen.

Die weitere Steigerung des Datendurchsatzes von HTS ist entscheidend für die Rentabilität solcher Systeme im Hinblick auf die Gesamtzahl der möglichen Nutzer und deren individuell verfügbaren Datenraten. Ein Schritt in diese Richtung stellt die Verwendung des gesamten Spektrums innerhalb nur eines Spotbeams dar. Die entstehende Interferenz zwischen benachbarten Beams wird dabei durch digitale Signalverarbeitung mittels Vorverzerrung unterdrückt. Mehrantennensysteme, die in terrestrischen Kommunikationskonzepten unter dem Namen Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Standard geworden sind, können auch für Satellitenverbindungen gewinnbringend eingesetzt werden. Sie stellen hier die Zukunft dar und können sowohl im Downlink, beispielsweise zur Anbindung von deutlich mehr Nutzern, als auch im Uplink eingesetzt werden. So trägt die Technologie unter anderem zur Verringerung der Gateway-Stationen für die Signaleinspeisung bei. Für die Gateway-Stationen werden zudem verstärkt auch höhere Frequenzen nutzbar ge-

macht, die mittels neuester Technologien bis hin zu optischen Bändern reichen. Da das heute verfügbare Funkspektrum für die langfristig erforderlichen Datenraten nicht mehr ausreichen wird, sind solche Alternativen trotz des heute noch hohen technologischen Aufwands unabdingbar.

Die verfügbaren technologischen Fortschritte im Bereich der HTS machen es heute möglich, Datenverbindungen mit individuellem Inhalt für eine große Zahl von Nutzern in der Fläche bereitzustellen. Sie eignen sich somit hervorragend für die Versorgung eines begrenzten Gebiets wie der Bundesrepublik mit Breitbandinternet aus dem All.

Anwendungsmöglichkeiten

Die Auswahl möglicher digitaler Dienste, die über Satellit verteilt werden können, ist je nach favorisierter Umlaufbahn naturgemäß eingeschränkt. Anwendungen mit hohen Echtzeitanforderungen, wie Online-Gaming oder Tele-Robotik, können aus dem GEO sicherlich nicht oder nur stark eingeschränkt zur Verfügung gestellt werden. Andere Dienste sind hingegen von komplementären Anforderungen getrieben. Für die Mehrzahl der Anwender von Kommunikationsdiensten (Studien sprechen von ca. 85 Prozent) ist heute vorwiegend breitbandiges Datenstreaming, beispielsweise für die Nutzung von hochauflösenden Multimedia- und Entertainment-Inhalten, relevant. Da diese in der Regel ohnehin gepuffert übertragen werden, spielt die Signallaufzeit nur eine untergeordnete Rolle. Der Datendurchsatz eines privaten Internetanschlusses könnte aus dem Weltraum deutlich erhöht und z. B. für Direct-To-Home-(DTH-)Satellitenfernsehen, das durch neue IP-TV-Individualangebote, wie Netflix oder Amazon Prime, immer weiter individualisiert wird, nutzbar gemacht werden.

Auch für die mobile Internetnutzung kann die Satellitenkommunikation zukünftig eine Rolle spielen. Unter dem Begriff Enhanced Mobile Broadband (eMBB) wird ein mögliches Anwendungsszenario bereits im Rahmen der nächsten Generation von Telekommunikationsstandards 5G disku-

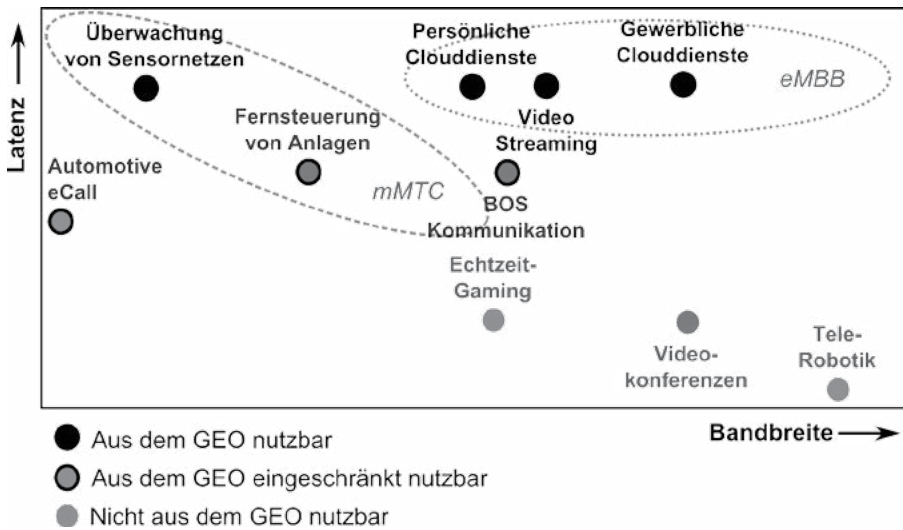


Bild 3: Auswahl digitaler Kommunikationsdienste

tiert. Hochgeschwindigkeitsverbindungen von bis zu 1 Gbit/s zwischen einer oder mehreren terrestrischen Basisstationen und dem Kernnetzwerk könnten dabei satellitengestützt hergestellt werden. Inhalte wie Videos oder UHD-TV, aber auch andere Daten würden so großflächig an alle Basisstationen in einem Gebiet per Satellit übermittelt. Die terrestrischen Backhaul-Netze zwischen den Basisstationen und dem eigentlichen Kernnetzwerk könnten durch diese hybride Nutzung von Satelliten mit terrestrischen Basisstationen entlastet und die dadurch freien Kapazitäten für eine andere Nutzerkommunikation eingesetzt werden.

Ein weiteres Anwendungsfeld stellen sogenannte Massive Machine Type Communications (mMTC) dar. Es ist durch eine sehr große Anzahl an verbundenen Endgeräten charakterisiert, welche typischerweise mit sehr geringer Sendeleistung echtzeitunkritische Daten im Internet-of-Things übertragen. Diese Endgeräte (z.B. Sensoren) erfordern sehr lange Batterielaufzeiten und geringe Kosten. Auch hier böte sich die konsolidierte Anbindung vieler Geräte mittels einer leistungsstarken Basisstation über Satellit an das Internet an, um Sensornetz-

werke kosteneffizient, flexibel und flächendeckend auszurollen.

Fazit

Die Satellitenkommunikation stellt heute eine leistungsfähige und effiziente Ergänzung zu terrestrischen Übertragungskanälen dar, wenn auf die flächendeckende Anbindung einer Nutzergemeinde abgezielt wird. Aufgrund diverser, disruptiver Entwicklungen der letzten Dekade sind Kommunikationssatelliten heute vollwertiger Bestandteil komplexer Mobilkommunikationsnetze der neuesten Generation. Technologisch verfügen moderne High-Throughput-Satelliten über die neuesten Entwicklungen in der Signalverarbeitung; sie gelten als ausgereift und sind auch im Vergleich zu modernen terrestrischen Netzinfrastrukturen auf dem neuesten Stand.

Dort, wo eine Breitbandinternetversorgung sonst nur mit großem Aufwand möglich würde, können Satelliten eine zuverlässige, wirtschaftliche und ökologisch saubere Alternative darstellen. Dies trifft in erster Linie auf die tendenziell unterversorgten, peripher gelegenen Räume zu. Für das im Koalitionsvertrag festgesetzte

Ziel, bis 2025 eine gigabitfähige Breitbandversorgung in ganz Deutschland flächendeckend zu gewährleisten, können breitbandige Kommunikationssatelliten als Bausteine eines hybriden Systems eine Schlüsseltechnologie sein. Deutschland hat dabei ideale Voraussetzungen, dieser Technologie zum Durchbruch zu verhelfen: Eine leistungsstarke Raumfahrtindustrie, einen hohen Bedarf an breitbandigem Internet auch im ländlichen Raum und nicht zuletzt die erforderliche technologische Expertise, die aus exzellenter Forschung und innovativen KMU gespeist wird.

DR. RER. NAT. MARCUS KNOPP

Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Raumflugbetrieb und Astronautentraining des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR e. V.) in Oberpfaffenhofen

PROF. DR.-ING. CHRISTIAN HOFMANN

Jun. Professor für Secure Space Communications, Universität der Bundeswehr München

PROF. DR.-ING. ANDREAS KNOPP, MBA

Universitätsprofessor für Informationsverarbeitung und Leiter „Munich Center for Space Communication“, Universität der Bundeswehr München

Das Ziel: Breitbandversorgung aus dem All

DLR und ADVA haben 13,16 Terabit pro Sekunde übertragen und damit einen neuen Weltrekord in optischer Freistrahldatenübertragung aufgestellt.

Wissenschaftler des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) haben zusammen mit ADVA – Anbieter von Open-Networking-Lösungen – im Oktober 2017 mit 13,16 Terabit pro Sekunde einen neuen Weltrekord in der optischen Freistrahldatenübertragung aufgestellt. Mit dieser Datenrate könnten alle gedruckten Bücher der Welt in etwa einer halben Minute übertragen werden. Auch könnte damit der gesamte, für 2020 prognostizierte Internetverkehr von 144 Petabyte pro Tag in Deutschland übertragen werden. Das eigentliche Ziel ist jedoch ein anderes, nämlich die ländlichen Gebiete, die heute nicht an ein terrestrisches Breitbandnetz angeschlossen sind, vom Satelliten aus zu versorgen. Für die Versorgung von Gesamteuropa im Jahr 2020 reichen laut der Europäischen BATS-Studie drei bis vier Terabit pro Sekunde aus.

Breitbandinternetzugang als Schlüssel zur Digitalisierung

Digitalisierung ist die neue Revolution, die unsere Gesellschaft verändert, die Lebensqualität der Bürger verbessert und die Effizienz der wirtschaftlichen Prozesse erhöht. Industrie 4.0 und das Internet der Dinge sind Elemente hierzu. Allen Entwicklungen der Digitalisierung ist gemeinsam, dass sie einen Breitbandanschluss benötigen. „Satelliten spielen eine Schlüsselrolle, um den Breitbandanschluss in der Fläche anbieten zu können“, erklärt Prof. Christoph Günther, Direktor des DLR-Instituts für Kommunikation und Navigation. Das Versorgungsgebiet wird hierfür vom Satelliten aus mit zahlreichen Strahlen ausgeleuchtet. Man kann sich diese Strahlen wie Keulen vorstellen, die von Satelliten die Erde beleuchten und Kommuni-

kationssignale zur Verfügung stellen. Die Funkfrequenzen werden dabei ständig wiederverwendet, wodurch eine enorme Kommunikationskapazität zwischen Nutzern und Satelliten entsteht. Um diese Kapazität ausschöpfen zu können, muss sie auch zwischen Internet und Satelliten bereitgestellt werden. Das erfolgt durch die optische Freiraumübertragung, wie sie in dem Versuch getestet wurde. Die optische Freiraumübertragung transportiert die großen Datenströme in ähnlicher Weise, wie es die Glasfaser in den terrestrischen Transportnetzen tut.

Neuer Weltrekord in Laserkommunikation für Satelliten

Der neue Weltrekord ist aus der Zusammenarbeit von DLR und ADVA entstanden. Das DLR hat das Konzept und die optischen Systeme zur atmosphärischen Übertragung beigesteuert, ADVA die Transponder für die hohen Datenraten. In der gemeinsamen

Demonstration wurde der Einfallswinkel der auf den Empfänger auftreffenden Wellenfront korrigiert. Die Wellenfrontverzerrungen (Phasenfluktuationen des Strahlprofils) entstehen dabei durch Temperaturunterschiede in der Atmosphäre, die als Turbulenz bekannt sind. Jeder hat schon einmal das Flimmern über einer heißen Straße gesehen. Das gleiche Phänomen tritt auch hier auf. Das empfangene Signal, das auf der zwei Zentimeter großen Empfangsapertur auftrifft, muss am Empfänger in eine Glasfaser mit einigen Mikrometer Durchmesser (dünner als ein Haar) eingekoppelt werden, um danach verstärkt und weiterverarbeitet werden zu können, wie es in der Faserkommunikation üblich ist. An dieser Stelle endet der Beitrag des DLR. Danach kam das Faserkommunikationsequipment der Firma ADVA zum Einsatz. Am Sender, vor der optischen Bodenstation des DLR, wurden 53 Wellenlängen-Multiplex-Kanäle mit einem Kanalabstand von 50 GHz zusammenge-



Der optische „Satellitenterminal“ beim Hohenpeißenberg; der Effekt der Satellitenbewegung wird durch eine seitlich Verschiebung der Sendelaser (auf die Schiene) nachgebildet. So können die DLR-Wissenschaftler verschiedene Kanalbedingungen untersuchen



Der optische „Bodenterminal“ mit adaptiver Optik beim DLR Weilheim

koppelt und auf den Sendeaufbau des DLR gegeben. Die Signale wurden dabei mit dem CloudConnect-System FSP 3000 von ADVA erzeugt, das kommerziell für die fasergebundene Übertragung verfügbar ist. Jede Wellenlänge trug dabei 200 Gbit/s Nutzdaten zuzüglich Overhead für die Soft-Decision-Vorwärts-Fehlerkorrektur. Die einzelnen Wellenlängen wurden mit 16-QAM (Quadratur-Amplituden-Modulation) in zwei Polarisationen bei einer Symbolrate von rund 32 GBaud moduliert. Am Empfänger wurden die einzelnen Wellenlängen mit Demultiplexerfiltern getrennt und mit dem kohärenten Empfänger im Transponder detektiert

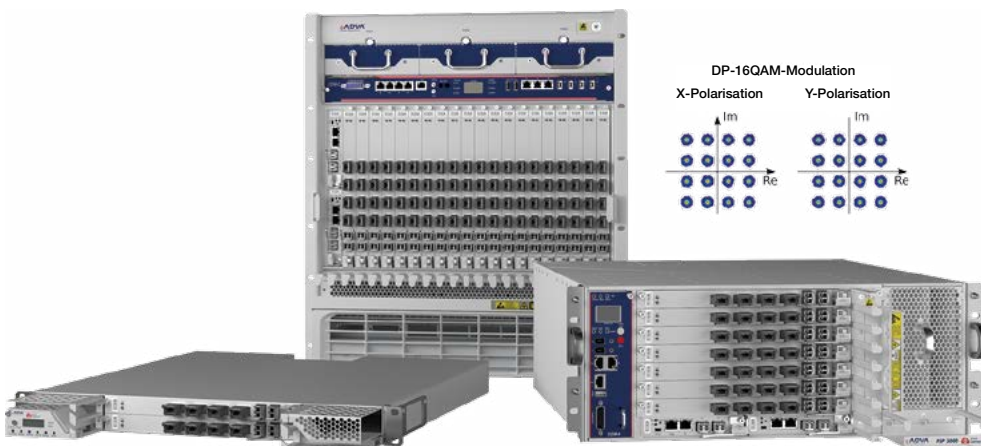
und demoduliert und die Bitfehler-raten der Übertragung gemessen. Abhängig von der Stärke der Turbulenzen können immer wieder Signalverluste auftreten. Sobald das Signal jedoch zurückkehrt, kann die Übertragung ohne Verzögerungen wieder aufgenommen werden. Dies zeigt die besondere Robustheit des QuadFlex-Transponders, das Signal trotz der starken Leistungsschwankungen nach der Freistrahübertragung demodulieren zu können. Eine solche Schwankung tritt im Fasernetz nicht auf. Im Vergleich zu einem Rekord des DLR im Jahr 2016 konnte eine fast achtfache Steigerung der Datenrate erreicht werden. Dies wurde vor allem durch

die erhöhte Datenrate pro Kanal mit über 200 Gbit/s (inklusive Overhead) erreicht. Neben den WDM-Kanälen, die von ADVA moduliert wurden, übertrug das DLR einen 100-Gbit/s-Kanal, um die Verzerrungen des Signals durch atmosphärische Turbulenzen zu analysieren.

Die Distanz, die bei den Versuchen überbrückt wurde, betrug 10,45 Kilometer zwischen dem Standort des DLR in Weilheim und dem Standort des Deutschen Wetterdienstes auf dem Hohenpeißenberg. Diese Teststrecke entspricht in Bezug auf das Turbulenzverhalten der schlechtesten denkbaren Verbindung von einer Bodenstation zu einem geostationären Satelliten.

Ziel: Hohe Verfügbarkeit der Verbindung

Eine hohe Verfügbarkeit der Verbindung ist Voraussetzung, um Telekommunikationsdienste anbieten zu können. Hierfür ist es notwendig, dass die Verbindung kaum Schwund (kurzzeitige Ausfälle) aufweist. Selbst sehr kurze Unterbrechungen führen, auf Grund der hohen Datenraten, zu enormen Verlusten. Bei einer Unterbrechung von nur einer Millisekunde fehlt bereits ein Gigabit an Daten. Dieses muss entweder über komplexe Fehlerkorrekturalgorithmen rekonstruiert oder nochmals übertragen werden. Letzteres reduziert nicht nur die Kapazität, sondern vergrößert auch die Latenz und ist damit äußerst unerwünscht.



ADVAs CloudConnect-Produktfamilie mit QuadFlex-Transpondern, die jeweils auf zwei Kanälen mit 200 Gbit/s DP-16QAM-Erzeugung und -Detektion ermöglichen (siehe auch die Konstellationsdiagramme)



DLR-Wissenschaftler während der Messkampagne beim DLR Weilheim

Um den Schwund zu minimieren, hat das DLR in einem weiteren Experiment höhere Ordnungen der Verzerrung in einer adaptiven Optik korrigiert. Die Ausfälle konnten dabei in

Richtung Satellit zum Boden weiter reduziert werden. Die dabei erfolgte Schätzung des Kanals wurde auch verwendet, um den Signalen in der Richtung Boden zum Satellit die in-

verse Verzerrung aufzuprägen, sodass die Signalfluktuationen am Hohenpeißenberg (virtueller Satellit) deutlich reduziert wurden und sich damit eine erhöhte Verfügbarkeit einstellte. Im Gegensatz zum Hohenpeißenberg bewegt sich ein echter Satellit jedoch im Verhältnis zur Bodenstation. Auch die sich daraus ergebenden Veränderungen konnten nachgebildet werden und auch hier bestätigten die Messungen die Erwartungen. Damit hat sich das Versuchsfeld als ideal für die Verifikation verschiedener Ansätze erwiesen. Solche Ansätze sind notwendig, um die Stabilität der Übertragung weiter zu steigern und die Komplexität des Systems möglichst stark zu vereinfachen.

DR. RAMON MATA CALVO

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

DR.-ING. ANNIKA DOCHHAN

Senior Engineer Advanced Technology
ADVA Optical Networking SE

NEWSPACE

Kerntechnologien für LEO-Satellitenkonstellationen

LEO-Satellitenkonstellationen können aufgrund deutlich kürzerer Signallaufzeiten zu grundlegenden Veränderungen in der Kommunikation führen.

Satellitenkonstellationen für Kommunikationsanwendungen gewinnen zunehmend an Bedeutung. Ziel dieser Satellitenkonstellationen ist es, die Erdoberfläche lückenlos kommunikationstechnisch anzubinden. Die Laufzeit des Signals von einem Nutzer zum anderen, die sogenannte Latenzzeit, ist für Kommunikationsanwendungen von großer Bedeutung. Um diese Latenzzeit kurz zu halten, verwenden Satellitenkonstellation niedrig fliegende Satelliten im Low Earth Orbit (LEO) mit Flughöhen im Bereich von

800 km bis 1500 km. Damit können deutlich niedrigere Latenzzeiten erreicht werden als bei der Kommunikation mit geostationären Satelliten in rund 36000 km Höhe. Hierdurch ist die Einbindung in terrestrische Datennetze wie z.B. 5G möglich. Zeitkritische Dienste können unterstützt werden.

Niedrige Flughöhe bedeutet kurze Latenzzeit, bedeutet aber auch, dass der von einem Satelliten abdeckbare Bereich klein ist (s. Bild 1). Die Anzahl der Satelliten muss daher soweit

erhöht werden, dass eine lückenlose globale Abdeckung erreicht wird. Es sind derzeit LEO-Konstellationen von 100 bis 400 Satelliten in der Diskussion, bei einigen weiter reichenden Planungen gehen die Stückzahlen in die Tausende. Um die Kommunikationsdienste wirtschaftlich anbieten zu können, sind die Preiserwartungen pro Satellit gegenüber den herkömmlichen Raumfahrtprojekten drastisch reduziert.

LEO-Satelliten bewegen sich auf ihrer Bahn mit ca. 30000 km/h um

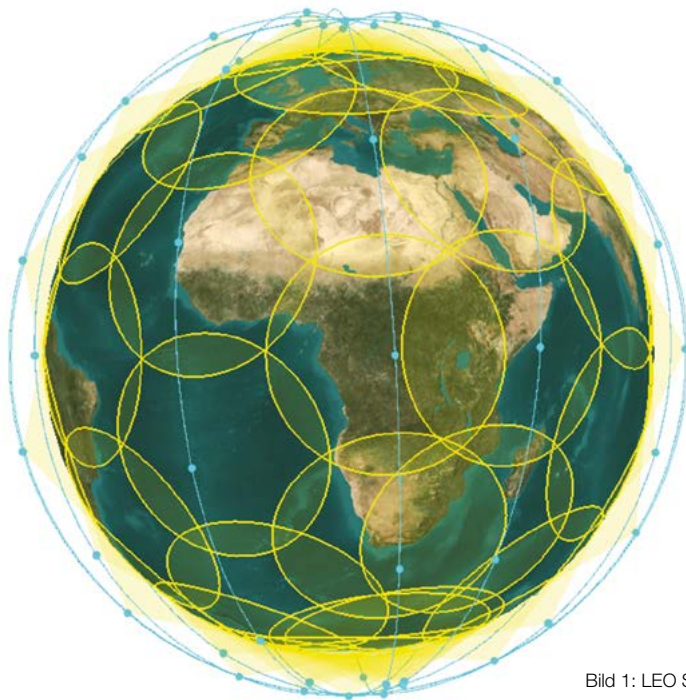


Bild 1: LEO Satellitenkonstellation, blaue Punkte: Satellit, gelbe Kreise: Ausleuchtgebiet eines Satelliten auf der Erde

die Erde. Der Nutzer am Boden kommuniziert dabei mit einem sich ständig bewegendem Kommunikationsnetzwerk im Orbit. Um die Kommunikation mit einer Bodenstation aufrecht erhalten zu können, müssen die Send- und Empfangsantennen der Kommunikationsverbindungen über einen Winkelbereich θ_A bis θ_E permanent nachgeführt werden (s. Bild 2). Verbindungen werden nach dem Überflug unterbrochen und mit dem nächsten Satelliten wieder aufgebaut. Für die Kommunikation zwischen LEO-Satellit und Boden werden Mikrowellensignale eingesetzt.

70 Prozent der Erdoberfläche sind mit Wasser bedeckt. Wegen des reduzierten Kommunikationsbedarfs auf den Wasserflächen sind die Satelliten über den Wasserflächen nicht ausgelastet. Die Satelliten können jedoch zur Weiterleitung von Daten über große Entfernungen genutzt werden. Dies erfordert eine Kommunikationsverbindung zwischen den Satelliten, sogenannte Intersatellitenverbindungen (ISL). Typische Datenratenanforderungen reichen von einigen Mbit/s für Internet-of-Things-Anwendungen bis zu etwa 10 Gbit/s für Telekommunikationsanwendungen. Abhängig von den Anforderungen kommen entweder Mikrowellen- oder optische Inter-

satellitenverbindungen in Betracht. Bei sehr hohen Datenraten haben optische Intersatellitenverbindungen gegenüber Mikrowellenverbindungen Vorteile bezüglich Größe, Gewicht und Leistungsverbrauch.

Im Folgenden stellen wir die wesentlichen Eigenschaften der beiden Kerntechnologien für LEO-Konstellationen vor: optische Intersatellitenverbindungen und steuerbare Antennen für Mikrowellenverbindungen.

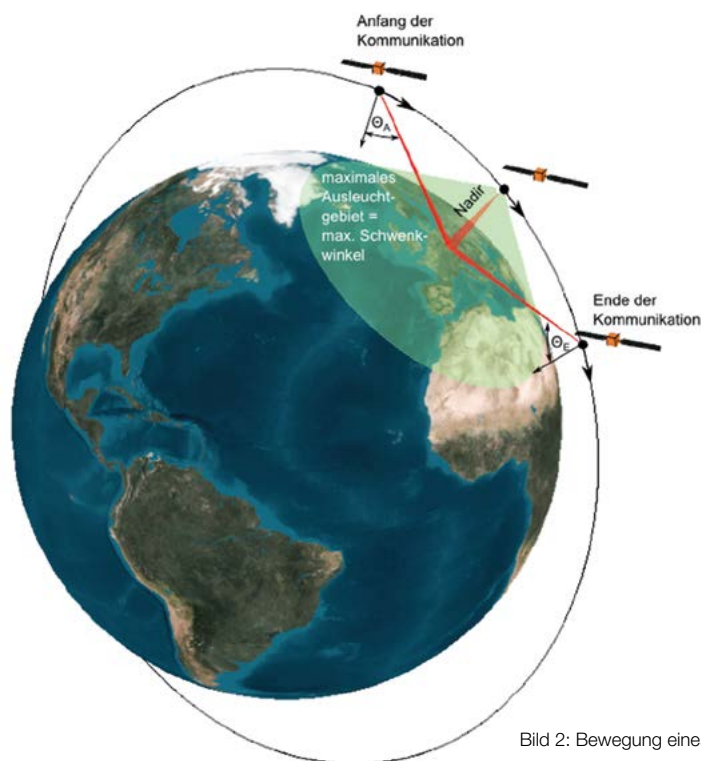


Bild 2: Bewegung eines LEO Satelliten und Kommunikationsanbindung

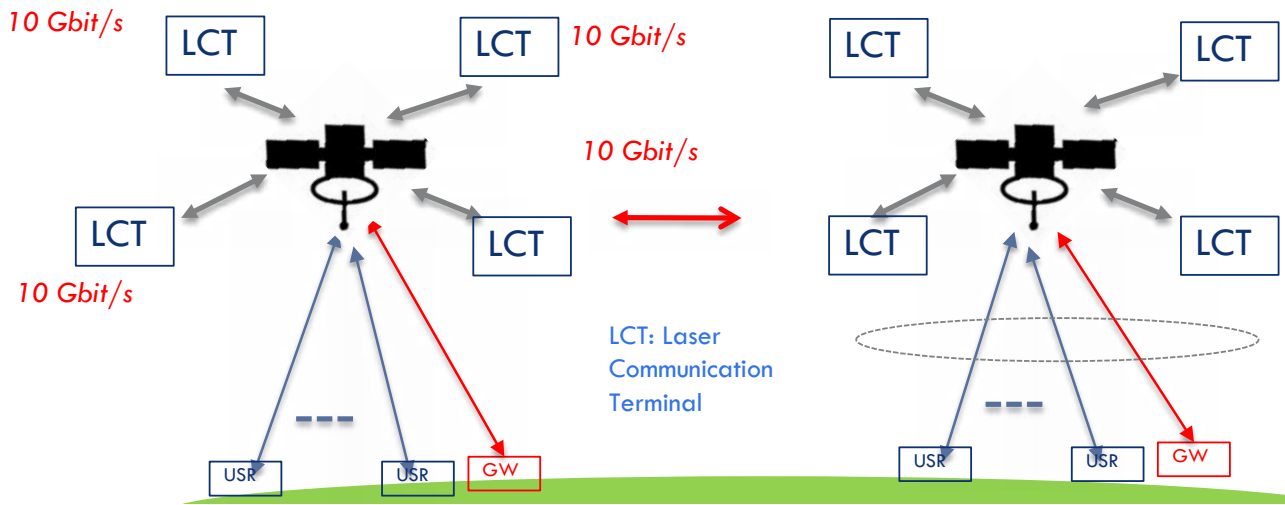


Bild 3: Kommunikationsverbindungen in LEO Konstellationen (GW: Gateway, USR: Nutzerterminal)

Optische Intersatellitenverbindungen

Für LEO-Konstellationen mit Telekommunikationsanwendungen liegen die Datenratenanforderungen derzeit im Bereich von 10 Gbit/s. Die Entfernungen zwischen den Satelliten liegen zwischen 3000 km und 8000 km. Optische Intersatellitenverbindungen haben für diese Anforderungen gegenüber Mikrowellenverbindungen bezüglich Größe, Masse und Leistungsverbrauch Vorteile. Dies liegt an der im Vergleich zur Mikrowellentechnik um mehrere Größenordnungen kleineren Wellenlänge. Die Strahlkeule eines optischen Strahls ist deutlich schmaler als diejenige der Mikrowellenverbindung. Laserterminals (Laser Communication Terminal, LCT) können daher kleiner gebaut werden, da ein größerer Anteil des abgestrahlten Lichts beim Gegenterminal ankommt. Ein weiterer Vorteil der Optik liegt in der deutlich größeren Trägerfrequenz. Dadurch steht eine sehr große Bandbreite zur Datenübertragung zur Verfügung. Darüber hinaus entfällt die bei Mikrowellenverbindungen nötige Frequenzregulierung zur Vermeidung von Interferenzen bei der Nutzung gemeinsam genutzter Frequenzbereiche komplett.

LEO-Konstellationen sind üblicherweise in Bahnebenen organisiert, auf denen eine bestimmte Anzahl von Satelliten gleichmäßig verteilt sind. Die Satelliten fliegen auf diesen Bahnen hintereinander her. Intersatellitenver-

bindungen sind typischerweise innerhalb einer Bahn zum vorausfliegenden und zum hinterherfliegenden Satelliten gefordert. In den meisten Fällen werden auch Verbindungen zu Satelliten auf benachbarten Bahnebenen verlangt. Das häufigste Szenario sind daher vier Laserterminals auf einem Satelliten. Durch diese Verbindungen wird die Konstellation zu einem vermaschten Datennetzwerk im Orbit. Daten können zwischen beliebigen Punkten auf der Erde ausgetauscht werden.

Laserterminals bestehen aus Laserquelle, Teleskop und Strahlaustrichtungsmechanismus. Die optische Sendeleistung liegt typischerweise im Bereich von 1 Watt bis 3 Watt. Typische Aperturdurchmesser bewegen sich im Bereich von 40 mm bis 80 mm. Die gute Bündelwirkung der optischen Antenne stellt hohe Anforderungen an die Ausrichtmechanismen und an die zugehörige Sensorik des Laserterminals auf dem LEO-Satelliten. Bei einer Entfernung von 8000 km liegen die Strahldurchmesser auf der Empfangsseite im Bereich von einigen Hundert Metern. Die Kommunikation erfolgt in beide Richtungen gleichzeitig (Duplexbetrieb). Die erforderlichen Empfangsleistungen liegen im nW-Bereich. Um Masse zu sparen, laufen Send- und Empfangssignale über das gleiche optische Teleskop. Dies stellt, wegen der großen Unterschiede von Send- und Empfangsleistungen, hohe Anforderungen an die optische Systemauslegung.

Empfindliche Detektionsverfahren, wie kohärente Detektion, bieten hier Vorteile.

Die zugrunde liegende Technologie der optischen Intersatellitenverbindungen wird bereits operationell genutzt (s. Bild 4). Für Datenübertragungen zwischen LEO- und GEO-Satelliten ist sie heute bereits im Einsatz. Im sogenannten European Data Relay System (EDRS) werden täglich 40 optische Intersatellitenverbindungen über Entfernungen bis zu 45000 km durchgeführt. Die grundlegenden Prinzipien sind damit bereits verifiziert und werden nun auch für LEO-Konstellationen angewendet.

Steuerbare Antennen

Das aus der Flughöhe resultierende Ausleuchtungsgebiet eines LEO-Satelliten auf der Erde kann durch einen Konus mit einem Öffnungswinkel von bis zu 62 Grad beschrieben werden, je nach Höhe der Umlaufbahn und minimal zulässigem Elevationswinkel der Bodenstation. Der erforderliche Schwenkwinkelbereich einer steuerbaren Antenne wird durch diesen Winkel definiert.

Zukünftige Weltraumanwendungen erfordern sowohl aktive Send- als auch Empfangsantennen, deren Hauptanforderungen wie folgt zusammengefasst werden können:

1. Die Möglichkeit der Strahlformung und Strahlaustrichtung, d.h. die Nachführung der Strahlungshauptkeule bei Überflug über die Bodenstation.

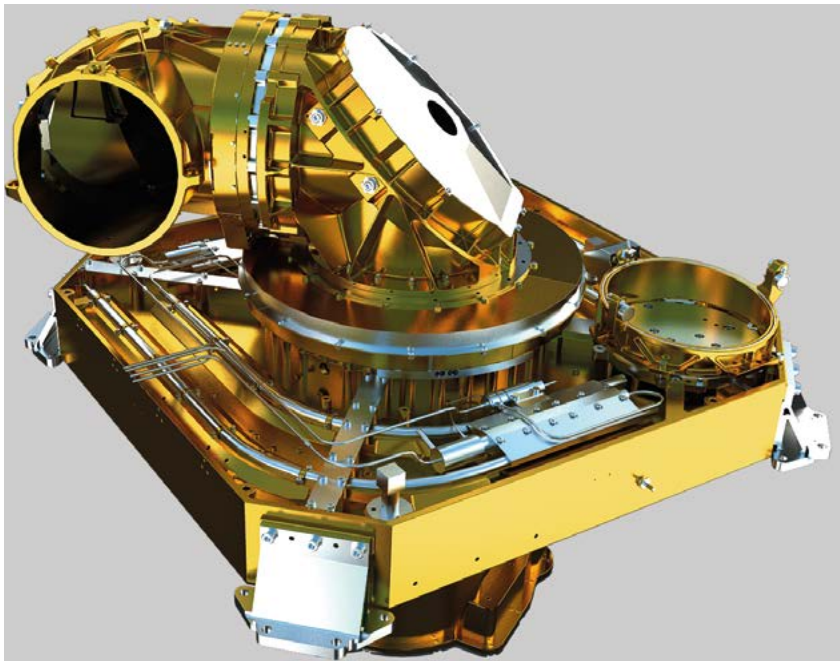


Bild 4: Laser-Kommunikationsterminal der Firma TESAT Spacecom für LEO-zu-GEO-Intersatellitenverbindungen

2. In vielen Konstellation-Anwendungen ist eine Vielzahl von gleichzeitig einstellbaren unabhängigen Strahlungshauptkeulen erforderlich. Die geforderte Mehrstrahligkeit wird über das die Strahlerelemente ansteuernde Verteilnetzwerk gewährleistet.

Mechanisch gesteuerte Antennen bestehen im wesentlichen aus einem zweiachsigen Positionierantrieb, auf dem ein Parabolspiegel oder eine Hornantenne montiert ist. Sie sind bereits in verschiedenen LEO-Missionen im Einsatz. Vorteilhaft sind hier die hohe Richtwirkung eines Parabolspiegels besonders bei hohen Frequenzen sowie der große mechanische Schwenkbereich.

Mehrstrahleigenschaften und die hohe Geschwindigkeit der Strahlenschwenkung sind jedoch deutliche Vorteile einer aktiven elektronisch gesteuerten Gruppenantenne. Bei der Strahlformung oder Schwenkung aktiver Gruppenantennen wird grundsätzlich zwischen der analogen oder digitalen Einstellung von Phase und Amplitude am Einzelstrahlerelement unterschieden.

Ein analoges Strahlformungsnetzwerk besteht aus diskreten Phasen- und Amplitudenstellgliedern, das Verteilnetzwerk wird mittels Leistungsteilern ausgeführt. Die Komplexität die-

ses Netzwerks steigt mit der Anzahl der erforderlichen unabhängigen Strahlungshauptkeulen deutlich an.

Ein digitales Strahlformungsnetzwerk besitzt Analog-Digital-Wandler oder Digital-Analog-Wandler (Empfangs- oder Sendefall) individuell für jedes Einzelstrahlerelement. Die gleichzeitige Erzeugung verschiedener Strahlungscharakteristiken erfolgt digital in einem Signalprozessor.

Ein weiterer Vorteil einer aktiven Gruppenantenne ist die Aufteilung der erforderlichen Gesamtsendeleistung auf die Einzelelemente oder Untergruppen. Die dadurch geringere Sendeleistung pro Element ermöglicht die kompakte Integration des Strahlerelements mit Verstärkerkonzepten auf GaN-Halbleiter-Basis.

In der Zukunft werden, bedingt durch hohe Datenraten, Bandbreiten benötigt, welche nicht mehr im Ka-Frequenzband verfügbar sind. Angedacht werden Frequenzbänder im Q- und V-Band (40 GHz bis 50 GHz) oder sogar im E-Band im Bereich 71 GHz bis 86 GHz.

Für Funkstrecken zwischen Erde und LEO-Satellit stellen diese Frequenzbereiche hinsichtlich der großen Ausbreitungs- und atmosphärischen Dämpfungen hohe Anforderungen an Antennengewinn und Sendeleistung. Im Rahmen von nationalen Förder-

vorhaben ist die genauere Charakterisierung und Validierung der ITU-Ausbreitungsmodelle in E-Band sowie die Entwicklung einer besonders leistungsfähigen Send- und Empfangstechnologie, u. a. mit GaN Solid-State Power Amplifiern (SSPA) und rauscharmen GaAs-Vorverstärkern (LNA), die in Gruppenantennen eingesetzt werden können, geplant.

Zusammenfassung

LEO-Satellitenkonstellationen werden zu grundlegenden Veränderungen in der Kommunikation führen. Mit ihnen können deutlich kürzere Signallaufzeiten realisiert werden, als bei der Kommunikation mit geostationären Satelliten. Hierdurch ist die Einbindung in terrestrische Datennetze wie z.B. 5G oder in andere zeitkritische Dienste möglich. Die festen Kommunikationsverbindungen zu geostationären Satelliten werden durch dynamische Verbindungen mit ständig wechselnden LEO-Satelliten ergänzt. Um LEO-Konstellationen zu einem echten Datennetz zu erweitern und damit eine effiziente Nutzung sicherzustellen, sind Verbindungen zwischen den Satelliten notwendig. Diese Vernetzung erfordert innovative Systemkonzepte und neue Technologien.

Zwei dieser neuen Technologien wurden in dem vorliegenden Artikel diskutiert:

1. Optische Intersatellitenverbindungen: mittels Laserstrahlen werden Daten zwischen Satelliten über eine Entfernung von 8000 km übertragen.
 2. Elektronisch steuerbare Antennen: bei dieser mikrowellenbasierten Übertragung wird die Ausrichtung der Send- und Empfangsantennen elektronisch nachgeführt.
- TESAT Spacecom hat im Bereich dieser Kerntechnologien eine weltweit führende Position. Optische Intersatellitenverbindungen und elektronisch steuerbare Antennen für LEO-Konstellationen werden in den nächsten ein bis zwei Jahren verfügbar sein.

DR. HERWIG ZECH
UWE OEHLER

Tesat-Spacecom, Backnang

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.

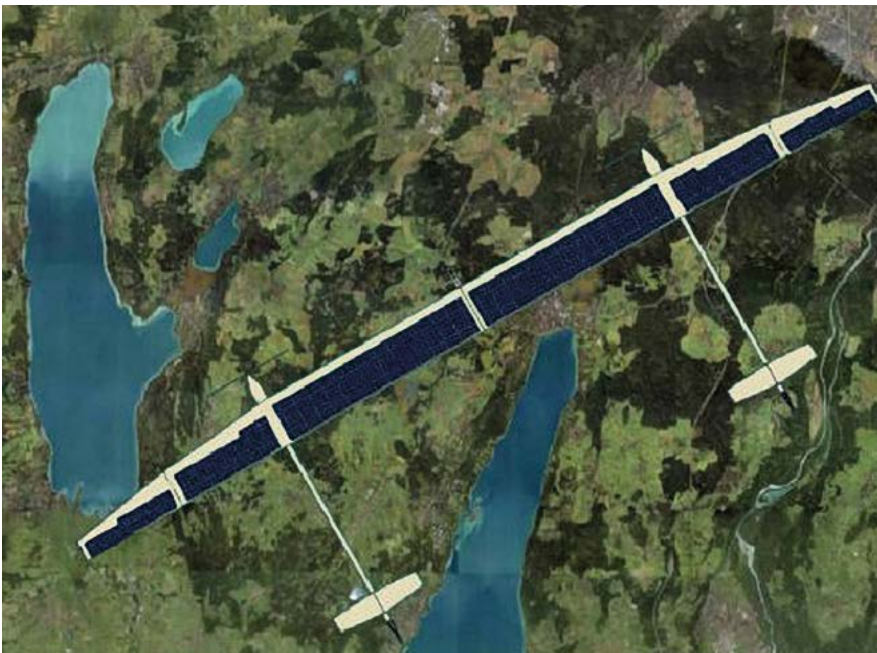


Bild: DLR

Solarbetriebene Stratosphärendrohne
ELHASPA

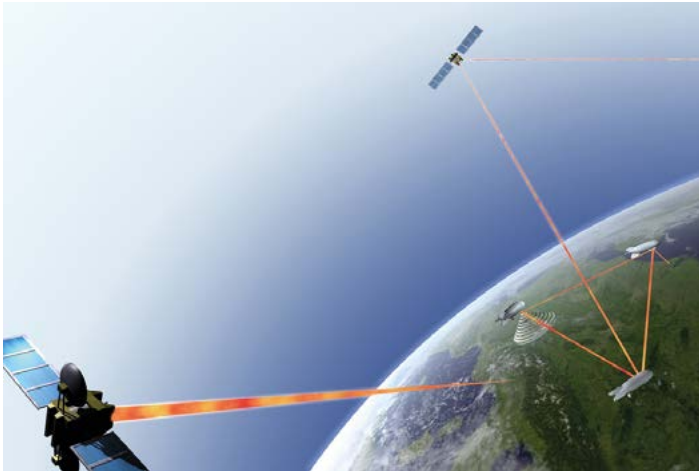


Bild: DLR

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 Kommunikationssatellitennetzwerken 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 Funksystemen 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 all dieser Herausforderungen stellt die Kommunikation über optisch vernetzte HAP und angekoppelte LEO-GEO-Konstellationen eine ausgezeichnete Perspektive zur Internet-Anbindung bisher unterversorg-

ter 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

Earth Orbit (MEO) in Planung. Aber es gibt auch schon Ankündigungen weiterer Wettbewerber wie Boeing mit 1396 LEO-Satelliten im V-Band, SpaceX mit 4425 LEO-Satelliten im Ka- und Ku-Band, später 7 518 Satelliten im V-Band, Samsung mit 4 600 LEO-Satelliten. Hinzu kommen kleinere Konstellationen wie bei Telesat mit 117 LEO-Satelliten im V-Band und SAS mit 200 Nano-Satelliten (mit etwa 10 kg Masse) in äquatornahen LEO-Umlaufbahnen.

Diese gerade entstehenden Mega-Konstellationen sind ein erster Schritt, um mit hoher Bandbreite Internet überall weltweit anzubieten. Für zukünftige industrielle IoT-Anwendungen sind jedoch eher kostengünstige Echtzeit-Verbindungen geringer Bandbreite mit hoher Datensicherheit gefragt. Dies kann mit Netzwerken aus vielen kleinen Satelliten besonders effizient und fehlertolerant realisiert werden [3]. Zum selben Preis wie ein traditioneller Satellit können sehr viele

Kleinst-Satelliten in den Orbit gebracht werden und so deutlich kürzere Latenzzeiten bieten. Auch im Fall von Defekten ist so nur eine geringe Reduzierung der Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems zu beobachten.

Bei einer Konstellation wird jeder Satellit individuell von den Bodenstationen kontrolliert. Dies wird bei Mega-Konstellationen sehr aufwändig und erfordert eine intensive Vorausplanung für die größtenteils außerhalb des Sichtbarkeitsfensters liegenden Orbitsegmente. Deshalb werden sehr intensiv Formationsansätze erforscht, bei denen Relativnavigation zwischen den Satelliten durchgeführt und über Inter-Satelliten-Datenübertragung ausgetauscht wird. Eine Formation ermöglicht so die Selbstorganisation des Multi-Satelliten-Systems im Orbit mit sehr kurzen Reaktionszeiten. Wissenschaftlich besonders spannende Herausforderungen betreffen die verteilte, vernetzte Regelung, um über Inter-Satelliten-Links

Regelkreise zu schließen und das System in einer größeren Formation von mehreren 100 Einzelsatelliten zu koordinieren, sodass alle Kollisionsgefahren sicher vermieden werden.

Im „NewSpace“-Sektor werden enorme Leistungssteigerungen bei Kleinst-Satelliten (im Bereich unter 10 Kilogramm) erzielt, gerade in den für kommerzielle Systeme wichtigen Bereichen längerer Lebensdauer und höherer Ausrichtgenauigkeiten des Lageregelungssystems [2, 3]. Der Kleinst-Satelliten-Sektor weist hier erheblich kürzere Innovationszyklen aus – wegen der schnellen Implementierung innerhalb typischerweise eines Jahres. Insbesondere die Entwicklung von Interface-Standards und die Modularisierung einzelner Subsysteme (s. Bild 1) reduzieren die Realisierungsdauer der Kleinst-Satelliten weiter. So können Erfahrungen im Orbit auch sehr schnell wieder zu technischen Verbesserungen für die nächste Generation führen. Charakteristisch für „NewSpace“ ist

Modulare Bus-Architektur für flexible Kleinst-Satelliten-Produktion

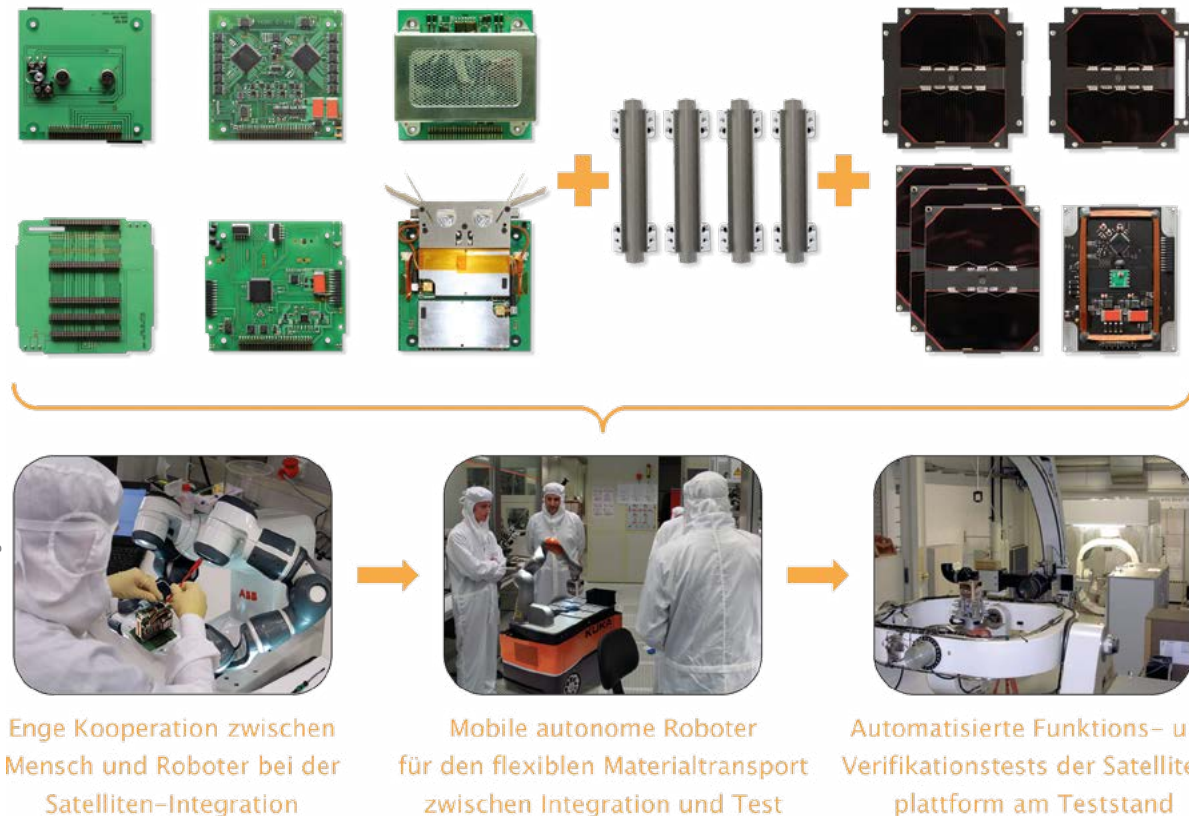


Bild: Zentrum für Telematik, Würzburg

Bild 1: Der modulare Baukasten für Satellitenkomponenten: Auf dem standardisierten UNISEC-Bus, realisiert auf einer Backplane, können alle Satelliten-Untersysteme durch Steckverbindungen flexibel und schnell integriert werden (damit gewann das Zentrum für Telematik den 1. Preis im Airbus DS Space Challenge 2017)

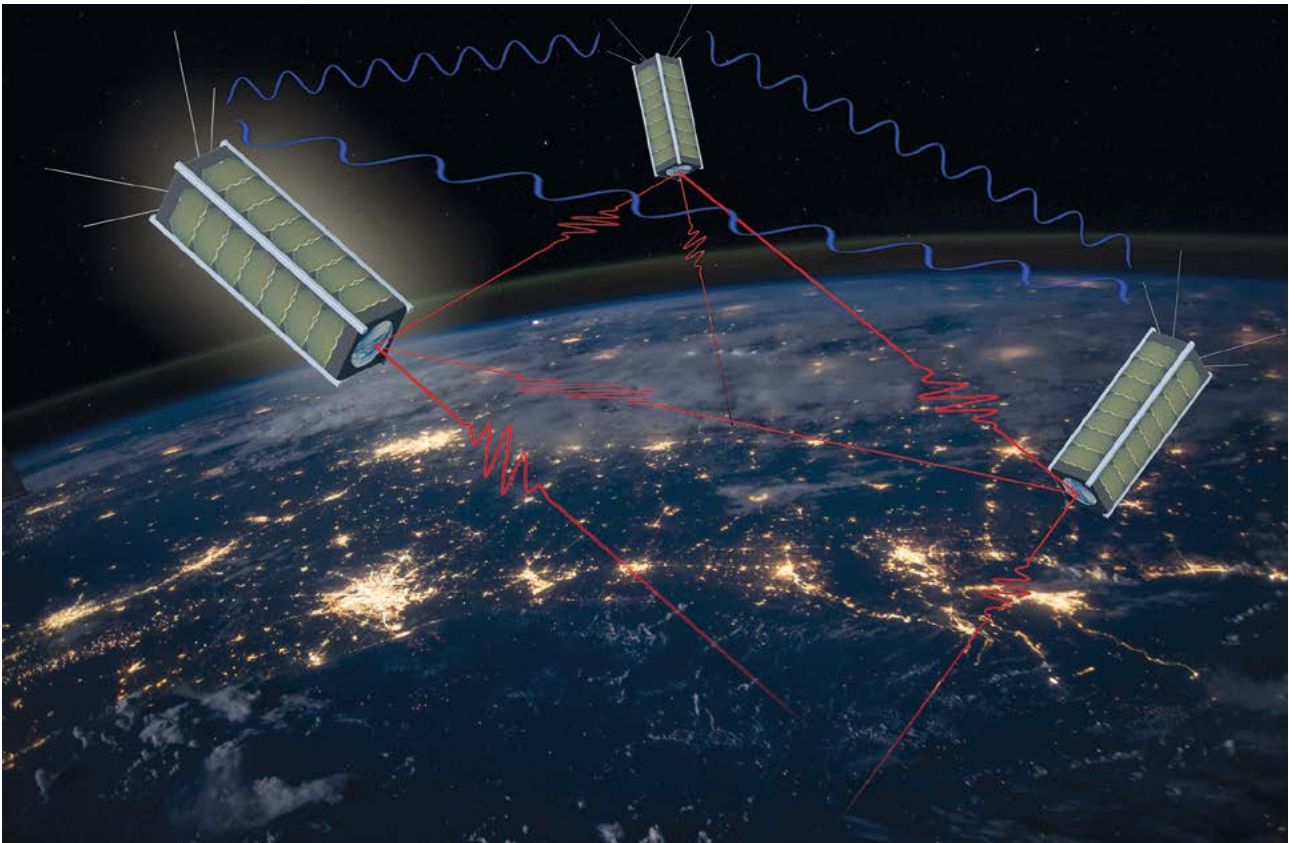


Bild 2: Künftiges Pico-Satelliten-Netzwerk zur Verteilung von Quantenschlüsseln für abhörsichere Telekommunikationsverbindungen

hier auch die Verwendung kommerzieller, leistungsfähiger Bauteile, welche die Störstrahlung der Weltraumumgebung durch Redundanz und fortgeschrittene FDIR-Software (Fault Detection, Identification and Recovery) korrigieren. In der Telekommunikation dominieren bei den Kleinst-Satelliten UHF/VHF- oder S-Band-Transceiver mit beschränkter Bandbreite. Aber mittlerweile werden auch sehr miniaturisierte, leistungsfähige Kommunikationssysteme im X-Band und im optischen Bereich entwickelt. Bereits der erste deutsche Pico-Satellit (weniger als 1 kg Masse) UWE-1 (Universität Würzburg Experimentalsatellit 1) hatte 2005 die Optimierung der Protokoll-Parameter im „Internet in Space“ als wissenschaftliche Zielsetzung und in Folgeemissionen wurden diese Inhalte noch weiter ausgebaut.

Mit kostengünstigen Kleinst-Satelliten lässt sich so ein weltumspannendes, echtzeitfähiges Kommunikationsnetz für beschränkte Bandbreiten anbieten [3]. Denn gerade beim Internet der Dinge werden oft nur beschränkte Bandbreiten gefordert, wie

beispielsweise bei der Maschine-zu-Maschine-Kommunikation, in der Logistik oder bei Notfalleinsätzen [4]. Diesen Markt adressieren hier Neugründungen, wie Sky and Space Global Ltd. (www.skyand.space.global) oder S4 – Smart Small Satellite Systems GmbH (www.s4-space.com). Erste Technologie-Demonstrationen wurden dazu schon im Orbit durchgeführt.

Sehr spannendes Einsatzpotenzial für Kleinst-Satelliten eröffnet sich auch bei der abhörsicheren Kommunikation durch Verteilung von Quantenschlüsseln (s. Bild 2). Das vom BMBF geförderte Pico-Satelliten-Projekt QUBE soll 2019 wesentliche Quantentechnologien in der Umlaufbahn erproben: Es werden an Bord sehr umfangreiche Quantenschlüssel erzeugt. Über eine optische Verbindung mittels verschränkter Photonen wird zu den Bodenempfangsstationen der Kommunikationspartner eine abhörsichere Übertragung der Quantenschlüssel durchgeführt. Anschließend kann unter Nutzung dieser empfangenen Quantenschlüssel über eine konventionelle Bodenverbindung ein abhör-

sicherer Datenaustausch durchgeführt werden.

Das sich rasch ausbreitende Internet der Dinge bietet so auch für die Weltraumindustrie spannende neue Herausforderungen, die momentan durch Mega-Konstellationen und NewSpace enorme Innovationspotenziale für künftige Telekommunikationsnetze via Satellit freisetzen.

Referenzen

- [1] VDI-Nachrichten 20.4.2018, Seite 1
- [2] Schilling, K.; Winzlinge im Orbit. Spektrum der Wissenschaft, Mai 2015, S. 48–51
- [3] Schilling, K.: Perspectives for Miniaturized, Distributed, Networked Systems for Space Exploration. Robotics and Autonomous Systems 90 (2017), S. 118–124
- [4] Schilling, K.: Machine-to-Machine Communication by Networks of Small Satellites. Workshop on Internet in Space (TWIoS), TU1D-4. Proceedings IEEE Radio & Wireless Week, Anaheim 2018.

PROF. DR. KLAUS SCHILLING

Ordinarius für „Robotik und Telematik“ an der Universität Würzburg und Vorstand des unabhängigen Forschungsinstituts Zentrum für Telematik

+++ ITG-Preise 2019 +++

**Aufruf für den
Dissertationspreis der ITG 2019**

Die Informationstechnische Gesellschaft im VDE (ITG) verleiht jährlich bis zu drei Dissertationspreise an junge ITG-Mitglieder für besonders herausragende Dissertationen auf dem Gebiet der Informationstechnik. Jeder Preis ist mit einer Geldprämie von 2000 Euro sowie einer Urkunde verbunden. Ein-sendeschluss für den Dissertationspreis der ITG 2019 ist der **6. Februar 2019**.

Aufruf für den Preis der ITG 2019

Seit dem Jahr 1956 wird der mit einer Geldprämie von 3000 Euro dotierte Preis der ITG für besonders hervorragende Publikationen auf dem Gebiet der Informationstechnik an Wissenschaftler und Ingenieure verliehen. Der Vorstand der Informationstechnischen Gesellschaft im VDE (ITG) bittet um die Einreichung der Unterlagen zur Bewerbung bis **15. Februar 2019**.

Aufruf für den JOHANN-PHILIPP-REIS-PREIS“ 2019

Das 125-jährige Jubiläum der erstmaligen Präsentation seiner genialen Idee



haben die Stadt Friedrichsdorf, die Barbarossa-Stadt Gelnhausen, die Deutsche Telekom und der VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik zum Anlass genommen, einen mit 10000 Euro dotierten Preis für eine herausragende, innovative Veröffentlichung auf dem Gebiet der Nachrichtentechnik zu vergeben. Der 1987

erstmalig vergebene Preis wird seither alle 2 Jahre vergeben. Auch 2019 soll der Preis wieder an Ingenieure und Ingenieurinnen oder Naturwissenschaftler und Naturwissenschaftlerinnen (Altersgrenze 40 Jahre) verliehen werden, die mit ihrer Arbeit eine bedeutende nachrichtentechnische Neuerung, die auch Auswirkungen auf die Volkswirtschaft hat, in Gang gesetzt haben bzw. eine solche Entwicklung erwarten lassen. Der ITG-Vorstand bittet nun, Vorschläge für den „JOHANN-PHILIPP-REIS-PREIS“ 2019 spätestens bis zum **13. April 2019** an die ITG-Geschäftsführung (Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt) einzureichen. Vorschlagsberechtigt für die Verleihung des Preises sind alle ITG-Mitglieder. Die Bewertung der eingehenden Vorschläge obliegt einem von den Stiftern berufenen Preisprüfergremium.

Weitere Informationen und Einzelheiten zu den Bewerbungsmodalitäten der verschiedenen Preise der ITG finden Sie unter
// www.vde.com/itgpreise

Grafik: Fotolia_Jlgarts

Veranstaltungen

Hinweis: Weitere Veranstaltungen finden Sie auf den Seiten 46 und 47 des VDE dialog.

11.–12.12.2018, Köln
25. ITG-Fachtagung
Kommunikationskabelnetze
ITG-FA KT 4
// www.vde.com/de/itg/veranstaltungen

11.–14.02.2019, Rostock
12th International ITG Conference
on Systems, Communications and
Coding (SCC 2019)
ITG-FA KT 4
// www.scc2019.net/

18.–21.03.2019, Garching/München
International Conference on
Networked Systems 2019
ITG, GI
// www.netsys2019.org

19.–20.03.2019, Berlin
13. ITG-Fachkonferenz Breitband-
versorgung in Deutschland
ITG-FA 5.2, FG 5.2.5
// www.vde.com/de/itg/veranstaltungen

25.–27.03.2019, Stuttgart
GeMiC 2019 – German Microwave
Conference
ITG, IMA e.V.
// www.ihf.uni-stuttgart.de/gemic2019

08.–09.05.2019, Leipzig
Photonische Netze 2019
ITG-FA KT 4, ITG-FG 5.3.3
// www.vde.com/de/itg/veranstaltungen

15.–16.05.2019, Osnabrück
24. ITG-Fachtagung Mobilfunk-
kommunikation
ITG
// www.vde.com/de/itg/veranstaltungen

Call for Papers

24.–26.02.2019, Prien am See
TuZ 2019
Der 31. Workshop „Test und Zuverlässigkeit von Schaltungen und Systemen“ strebt wie immer einen informellen Austausch zwischen Industrie und Forschungseinrichtungen an. Angenomme-

ne Beiträge werden in einem Tagungsband (ohne ISBN) bereitgestellt. Es werden Einreichungen im Umfang von maximal 2 Seiten akzeptiert. Einreichungsschluss für Beiträge ist der **26. Oktober 2018**.
// www.tuz-workshop.de

Impressum

ITG-news

Herausgeber: Informationstechnische Gesellschaft im VDE, Frankfurt am Main

Redaktion: Dr. Volker Schanz,
Silvia Buhlmann

Telefon: 069/6308-360/-362

E-Mail: itg@vde.com

Internet: www.vde.com/itg

Konzept und Realisation: HEALTH-CARE-COM GmbH, ein Unternehmen der VDE VERLAG GmbH, Projektleitung: Anne Wolf

Druck: Heenemann GmbH & Co. KG, Berlin