

5G NTN startet durch: NR-NTN und IoT-NTN

Nicht-terrestrische 5G-Netze (5G NTN) sollen es in Zukunft 5G-Endgeräten auf oder in der Nähe der Erdoberfläche ermöglichen, sich mit satellitengestützten, nicht-terrestrischen Basisstationen zu verbinden.



© Ascent Xmedia GmbH

5G NTN steht für ein breites Spektrum unterschiedlicher Verbindungsszenarien, wie in Bild 1 dargestellt: von der satellitengestützten Kommunikation über fliegende Basisstationen bis hin zur Steuerung von unbemannten Luftfahrzeugen (UAV). 3GPP hat im Rahmen von Release 15 eine Studie [TR 38.811] zu Kanalmodellen und Einsatzszenarien begonnen, um NTN in das 5G-Ökosystem einzubinden. Daran schloss sich eine Studie [TR 38.821] für Release 16 zu Lösungen für die Anpassung von 5G NR zur Unterstützung von NTN an. Hauptziel dieser Studie war es, einen Funktionssatz zu identifizieren, der 5G NTN implementiert, aber die Auswirkungen auf das bestehende 5G-System minimiert.

Release 17 enthält die technischen Spezifikationen eines NTN, das alle Schichten innerhalb eines 5G-Systems betrifft, von der Bitübertragungsschicht über einen Protokollstapel bis hin zu Verbesserungen der Netzarchitektur. Ausgehend von diesem technologischen Grundgerüst wird die NTN-Entwicklung in Release 18 mit zusätzlichen Spektralbereichen, Protokollschicht-Erweiterungen und mehr Diensten fortgeschrieben.

Hauptmotivation für NTN-Kommunikation

ist die Ermöglichung einer flächendeckenden Netzversorgung in jedem Winkel der Erde. Nach Marktanalysen des Global System for Mobile Communications (GSMA) von 2020 erreicht der Mobilfunk inzwischen über 80% der globalen Bevölkerung, deckt bisher aber noch weniger als 40% der weltweiten Landfläche ab. Mittels NTN-Kommunikation sollen die verbleibenden über 60% und insbesondere abgelegene Gebiete, die Ozeane und Polarregionen versorgt werden.

Die ersten 5G NTN-Implementierungen werden sich auf unterbrechungsfreie Konnektivität und lückenlose Abdeckung sowie die Separierung der Technologie in zwei Facetten konzentrieren: NR-NTN und IoT-NTN.

NR-NTN kann als der eMBB-Teil (Enhanced Mobile Broadband) von 5G angesehen werden – es ermöglicht satellitengestützte Konnektivität mit Schwerpunkt auf breiter Abdeckung und Anwendungen im Freien. IoT-NTN bezeichnet die Verwendung von Satellitenverbindungen als Erweiterung von IoT-Technologien wie NB-IoT, LTE-M oder 5G Reduced Capability (RedCap). Später wird die Branche einen Best-Effort-Ansatz für die Dienstgüte (QoS) verfolgen, der sehr tolerant gegenüber Verzögerungen und langsamen Datenraten ist. In Bezug auf die erwarteten Datenraten ist NTN 5G nicht mit terrestrischen 5G-Netzen konkurrenzfähig. Die Rolle von 5G NTN ist deswegen in der Ergänzung terrestrischer 5G-Systeme und Sicherstellung

der Konnektivität in unterversorgten Regionen zu sehen.

Anwendungsfälle von NTN

Die aktuelle Entwicklung von NTN zielt hauptsächlich in zwei Richtungen: (1) die Erweiterung von 5G NR für nicht-terrestrische Kommunikation innerhalb des 5G-Systems und (2) der Aufbau eines weltweit flächendeckenden Internets der Dinge (IoT) oder IoT-NTN.

IoT-NTN sieht die Anpassung von NB-IoT oder Enhanced Machine Type Communications (eMTC) für NTN-Verbindungen vor, um die Komplexität sowohl der Endgeräte als auch der Satelliten in Grenzen zu halten. Ein weiteres Charakteristikum von IoT-NTN ist die fehlende QoS-Unterstützung. Für IoT-NTN ist stattdessen ein Best Effort-Ansatz angedacht, sodass künftige Anwendungen tolerant gegenüber langen Verzögerungen und geringem Datendurchsatz sein werden müssen. Energieeffizienz und Stromverbrauch kommt jedoch eine größere Bedeutung zu als bei NR-NTN. Release 17 priorisiert den

Autor:
Reiner Stuhlfauth
Rohde & Schwarz
GmbH & Co. KG
www.rohde-schwarz.com

Standalone-Betrieb und sieht eine transparente Satellitenarchitektur nach dem Bent-Pipe-Prinzip vor, wobei angenommen wird, dass das Endgerät (UE) über GNSS-Fähigkeiten (Global Navigation Satellite System) verfügt (kein simultaner Betrieb), um Zeit- und Frequenzabweichungen im Voraus zu kompensieren.

NR-NTN fokussiert sich auf eMBB-Dienste mittels fliegender Basisstationen oder Satelliten und stellt die langfristige Zielrichtung von 5G NTN dar. In Phase 1 liegt der Schwerpunkt auf grundlegenden Internetdiensten wie Sprachkommunikation, Webbrowsing und Textnachrichten, wobei vorrangig Handgeräte und das Sub-6-GHz-Spektrum genutzt werden sollen. In Phase 2 und danach werden VSAT-Endgeräte (Very Small Aperture Terminal) mit verbesserter Empfangstechnik (RX) eingesetzt, die höhere Frequenzbereiche nutzen und wesentlich höhere Datenraten bieten. In Bezug auf die Architektur bleibt es in der ersten Phase bei transparenten Nutzlasten. Release 19 soll dann eine regenerative Nutzlastarchitektur in das NTN-System einführen und alle drei Facetten der Satellitenkonnektivität unterstützen: den festen Funkdienst über Satelliten (FSS), Broadcast-Satellitendienste (BSS) und mobile Satellitendienste (MSS).

Wie bereits erwähnt, liegt der Schwerpunkt auf der flächendeckenden Versorgung, aber

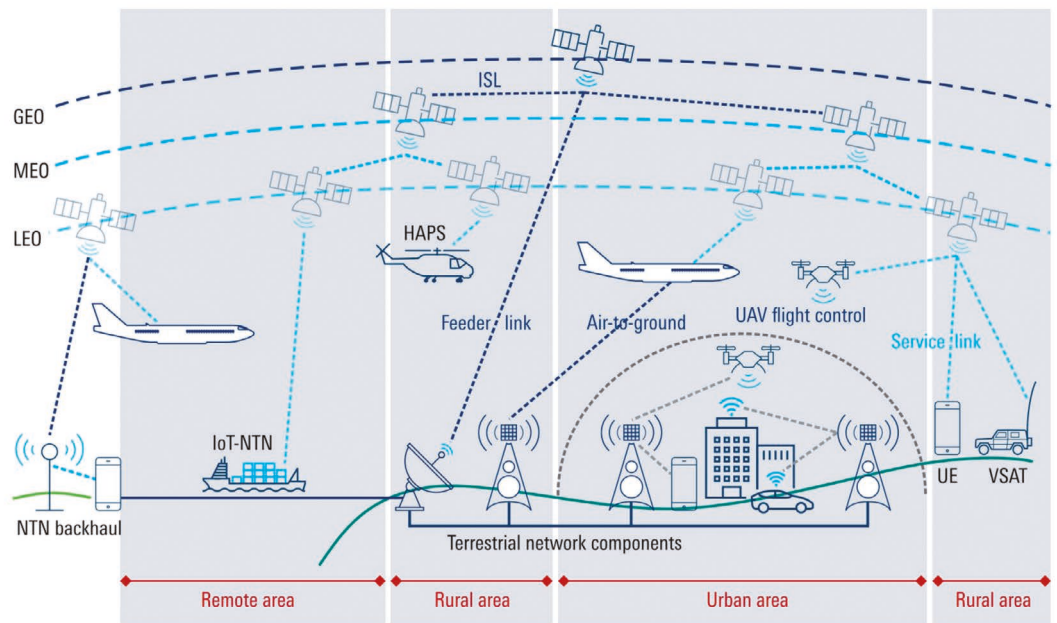


Bild 1: Allgemeiner Überblick über die Struktur nicht-terrestrischer Netze

die Abdeckung unterversorgter Gebiete ist nicht das einzige Ziel von 3GPP NTN. In einem weiteren Kontext sind vier Anwendungsfälle von Bedeutung [TR 22.822], wie in Bild 2 dargestellt:

- Die Service Continuity stellt in ozeanischen oder abgelegenen Gebieten, die für terrestrische Netze außer Reichweite sind, Funkzugangstechnologie (Radio Access Technology, RAT) bereit. Sie unterstützt die Dienstkontinuität zwischen landbasierten 5G-Zugangsnetzen und satellitengestützten Zugangsnetzen, die entweder dem gleichen Eigentümer

gehören oder unter entsprechende Vereinbarungen fallen.

- Die Service Ubiquity adressiert missionskritische Kommunikation (Mission-critical Communications, MCX). Ziel ist die permanente Systemverfügbarkeit, insbesondere für den Einsatz im Katastrophenschutz, wenn terrestrische Netzarchitekturen zerstört oder aus anderen Gründen ausgefallen sind. Über NTN-Verbindungen kann die Systemverfügbarkeit in kurzer Zeit wiederhergestellt werden.
- Die Service Scalability verfolgt allgemeine Prinzipien des Datenverkehrs-Managements.

Die Optimierung der Verkehrssteuerung, etwa durch Verlagerung des Datenverkehrs von der terrestrischen zur nicht-terrestrischen Kommunikation, ermöglicht eine höhere Systemeffizienz, insbesondere angesichts des großen Abdeckungsbereichs einer NTN gNB.

- Bei 5G System Backhaul Services geht es um die Nutzung von NTN als Backhaul-Verbindung zum Kernnetz. Mit anderen Worten werden die Endgeräte weiterhin über terrestrische Funkzugangstechnologien (RAT) ans Netz angebunden. Kommt es jedoch zu einem Ausfall, greift als Backup die NTN-Verbindung.

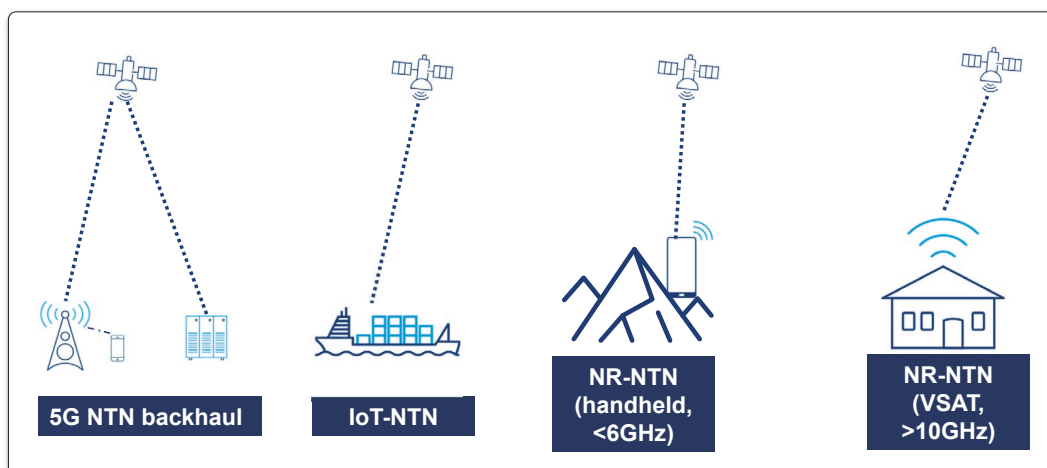


Bild 2: Zukünftige NTN-Anwendungsfälle

Spektrumaspekte von NTN

Der wichtigste Aspekt für die Kommunikation ist das verfügbare Frequenzspektrum. Da es äußerst unwahrscheinlich ist, dass Satelliten nur ein bestimmtes Land oder eine bestimmte Region erreichen, wird dringend ein internationales Abkommen über die zulässigen Frequenzen bei der Satellitenkommunikation benötigt. Organisationen wie die Internationale Fernmeldeunion (ITU) unterstützen solche Koordinierungsinitiativen.

Derzeit werden mehrere Frequenzbereiche für NTN diskutiert. Einige davon liegen im etablierten FR1-Spektrum, andere reichen über 10 GHz hinaus und bis in den FR2-Bereich. Bei 3GPP sind momentan zwei FR1-Bänder für NTN im Gespräch. Das erste davon ist das Band n256: die S-Band-Frequenzen von 1980 bis 2010 MHz in der Uplink-(UL)-Richtung und von 2170 bis 2200 MHz in der Downlink-(DL)-Richtung. Das zweite ist das Band n255: die L-Band-Frequenzen von 1525 bis 1559 MHz in der DL-Richtung und von 1626,5 bis 1660,5 MHz in der UL-Richtung.

Für die langfristige NTN-Spektrumnutzung diskutiert 3GPP NR-NTN oberhalb von 10 GHz. Das Ka-Band erhält höchste Pri-

orität. Für den Uplink sind Frequenzen von 17,7 bis 20,2 GHz und für den Downlink von 27,5 und 30 GHz vorgesehen. Darüber hinaus wird das Ku-Band mit 10,7 bis 12,75 GHz für DL und 12,75...13,25 GHz/13,75...14,5 GHz für UL in Betracht gezogen. Zu den aktuellen Spektrumherausforderungen gehören:

- Kandidatenbänder, die in die Spektrumrücke zwischen FR1 und FR2 fallen
- Verwendung des Frequenzduplexverfahrens (FDD) bei NTN-Frequenzen aufgrund der langen Rundlaufzeit (Round-trip Time, RTT)

Ähnlich wie bei der terrestrischen Kommunikation ist die Koexistenz auch für NTN ein wichtiges Thema. Eine Satel-

litenzelle oder ein Satellitenstrahl deckt große Gebiete ab, die weit über Landes- und terrestrische Zellgrenzen hinausgehen können. Diskutiert werden verschiedene Frequenzbänder und eine ergänzende Satellitenabdeckung, bei der sich terrestrische und nicht-terrestrische Netze das Spektrum teilen.

Aspekte der NTN-Architektur

Die folgenden Architekturen sind für aktuelle und zukünftige NTN und Satellitenkonstellationen relevant:

- Satelliten in niedrigen Erdumlaufbahnen (LEO) mit einer Höhe zwischen 500 und 2000 km haben eine kürzere RTT – in der Regel weniger als 30 ms. Diese LEO-Satelliten werden voraussichtlich auch

klein sein. In der Regel werden sie einen Umfang von <1 m oder sogar nur einigen Zentimetern aufweisen (Nanosatelliten). Beim Gewicht ist von unter 500 kg auszugehen. Es wird damit gerechnet, dass in der NTN-Satellitenstation ein Beamforming-Mechanismus zum Einsatz kommt. Die typische Ausleuchtzone eines LEO-Satelliten liegt zwischen 100 und 1000 km.

- Satelliten in mittleren Erdumlaufbahnen (MEO) bewegen sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 13.800 km/h und haben eine Umlaufzeit von etwa 6 bis 12 h. Die Ausleuchtzone ist ähnlich wie bei LEO-Konstellationen.
- Satelliten in geostationären Erdumlaufbahnen (GEO)

Background auf den Punkt gebracht

Nicht-terrestrische 5G-Netze (5G NTN)

sollen es in Zukunft 5G-Endgeräten auf oder in der Nähe der Erdoberfläche ermöglichen, sich mit satellitengestützten nicht-terrestrischen Basisstationen zu verbinden. 5G NTN steht dabei für ein breites Spektrum unterschiedlicher Verbindungsszenarien, das von der satellitengestützten Kommunikation über fliegende Basisstationen bis hin zur Steuerung von unbemannten Luftfahrzeugen reicht. Ein allgemeines Merkmal von NTN-Verbindungen ist die Adressierbarkeit des Satelliten, da vom Elevationswinkel abhängt, ob ein Satellit erreichbar ist oder nicht.

Release 17

enthält die technischen Spezifikationen eines NTN, das alle Schichten innerhalb eines 5G-Systems betrifft, von der Bitübertragungsschicht über einen Protokollstapel bis hin zu Verbesserungen der Netzarchitektur.

Hauptmotivation für NTN-Kommunikation

ist die Ermöglichung einer flächendeckenden Netzversorgung in jedem Winkel der Erde. Denn Mobilfunk erreicht zwar inzwischen über 80 % der globalen Bevölkerung, deckt bisher aber noch weniger als 40 % der weltweiten Landfläche ab.

Die ersten 5G-NTN-Implementierungen

werden sich auf unterbrechungsfreie Konnektivität und lückenlose Abdeckung sowie

die Separierung der Technologie in zwei Facetten konzentrieren: NR-NTN und IoT-NTN. NR-NTN kann als der eMBB-Teil (Enhanced Mobile Broadband) von 5G angesehen werden – es ermöglicht satellitengestützte Konnektivität mit Schwerpunkt auf breiter Abdeckung und Anwendungen im Freien. IoT-NTN bezeichnet die Verwendung von Satellitenverbindungen als Erweiterung von IoT-Technologien wie NB-IoT, LTE-M oder 5G Reduced Capability (RedCap).

Die aktuelle Entwicklung von NTN

zielt hauptsächlich in zwei Richtungen: Erweiterung von 5G NR für nicht-terrestrische Kommunikation innerhalb des 5G-Systems und Aufbau eines weltweit flächendeckenden Internets der Dinge oder IoT-NTNs.

Der wichtigste Aspekt für die Kommunikation

ist das verfügbare Frequenzspektrum. Da es äußerst unwahrscheinlich ist, dass Satelliten nur ein bestimmtes Land oder eine bestimmte Region erreichen, wird dringend ein internationales Abkommen über die zulässigen Frequenzen bei der Satellitenkommunikation benötigt. Bei 3GPP sind momentan zwei FR1-Bänder für NTN im Gespräch. Das erste davon ist das Band n256: die S-Band-Frequenzen von 1980 bis 2010 MHz in der UL-Richtung und von 2170 bis 2200 MHz in der DL-Richtung.

Das zweite ist das Band n255: die L-Band-Frequenzen von 1525 bis 1559 MHz in der DL-Richtung und von 1626,5 bis 1660,5 MHz in der UL-Richtung.

Zwei Verfahren zur Strahlformung

von Satellitenantennen befinden sich in der Diskussion: Die Ausleuchtzone auf der Erde ist entweder statisch oder beweglich. So gibt es bewegliche Strahlen und relativ zur Erdoberfläche feststehende Strahlen.

HF-Aspekte von NTN

sind der große Abstand zwischen den terrestrischen Endgeräten und den Stationen im All. Dieser hat Auswirkungen auf die Leistungsübertragungsbilanz (Link-Budget) oder Streckendämpfung. Besonders problematisch ist die große Zeitverzögerung oder Rundlaufzeit, die von der Zeit und dem Elevationswinkel abhängt. Beim Durchlaufen der Ionosphäre erfahren die Funkwellen außerdem eine Drehung der Polarisationssebene, den sogenannten Faraday-Effekt.

Erklärtes Ziel von 5G NTN

sind minimale Folgen für die terrestrischen 5G-Netze. Die Anpassungen sollen auf das technisch Notwendige beschränkt bleiben.

nach Informationen von Reiner Stuhlfauth, Technologiemanager bei Rohde & Schwarz

beginnen bei etwa 200 km Ausleuchtzone im Fall schmaler Strahlen und erreichen bis zu 4000 km bei breiten Strahlen. Aufgrund der größeren Entfernung beträgt die RTT eines GEO-Satelliten etwa 544 ms.

- Die Begriffe High-Altitude Platform Station (HAPS) und High-Altitude IMT Base Station (HIBS) decken alle fliegenden Objekte wie Flugzeuge, Ballons, Hubschrauber und Drohnen (UAV) ab. Diese Stationen arbeiten flexibel in Höhen von mehreren hundert Metern bis zu etwa 15 km und bieten mittlere Ausleuchtzonen mit Durchmessern von wenigen Kilometern bis zu 100 km. Ein weiterer Vorteil ist die kurzfristige Einsatzfähigkeit, d.h., die Betreiber können HAPS/HIBS nutzen, um in einer bestimmten Region dynamisch zusätzliche Kapazitäten bereitzustellen. Als Nachteil ist demgegenüber natürlich die geringere Abdeckung zu nennen. Aufgrund der kürzeren Entfernung fällt die RTT in einen Bereich, der in etwa terrestrischen Netzen entspricht. Der Unterschied zwischen HAPS und HIBS liegt in der Frequenznutzung und den Anwendungsfällen, d.h., HAPS-Stationen adressieren aufgrund des Regulierungsumfelds derzeit nur den festen Funkdienst über Satelliten, während mit HIBS-Stationen auch mobile Dienste unterstützt werden können.

- Zwei unterschiedliche Verfahren zur Strahlformung von Satelliten befinden sich in der Diskussion: Die Ausleuchtzone auf der Erde ist entweder statisch oder beweglich. Wie in Bild 3 gezeigt, gibt es bewegliche Strahlen und relativ zur Erdoberfläche feststehende Strahlen. Ein allgemeines Merkmal von NTN-Verbindungen ist die Adressierbarkeit des Satelliten, da vom Elevationswinkel abhängt, ob ein Satellit erreichbar ist oder nicht.

Die NTN-Architektur muss den Funkzugang vom terrestrischen

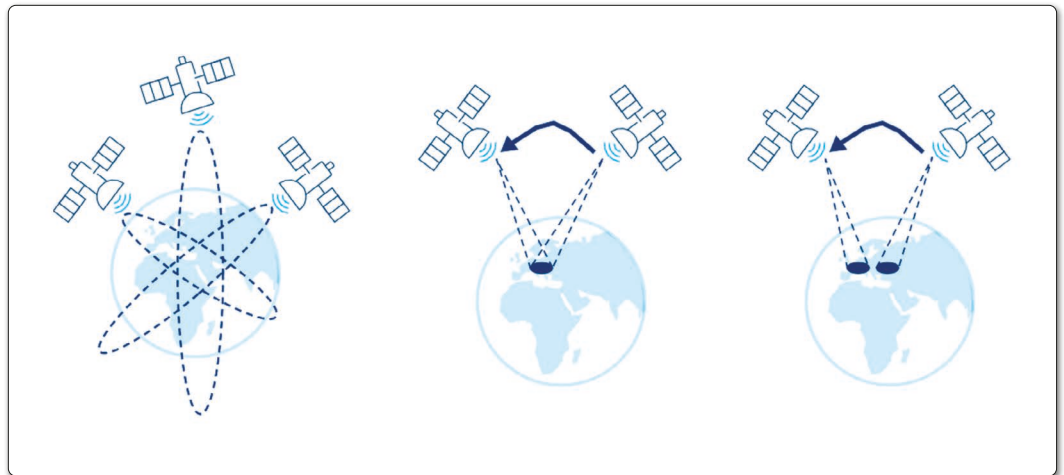


Bild 3: Zwei Verfahren für die Strahlformung von NTN-Satelliten befinden sich derzeit in der Diskussion: (1) mit beweglichen Strahlen (links) oder (2) mit relativ zur Erdoberfläche feststehenden Strahlen

Endgerät oder UE (User Equipment) zum Satelliten ermöglichen. Dies wird als Service Link oder Dienstverbindung bezeichnet. Der Satellit muss seinerseits mit einem terrestrischen Gateway verbunden sein – diese Verbindung wird als Feeder Link oder Speiseverbindung bezeichnet. Satellitenkonstellationen in niedriger oder geostationärer Umlaufbahn haben bekannte oder vorhersagbare Flugbahnen, die das Routing der Verbindung zur Bodenstation ermöglichen. Bei 3GPP werden zwei mögliche Architekturoptionen für die Implementierung eines NTN-fähigen Funkzugangnetzes (Radio Access Network, RAN) diskutiert: der transparente Modus und der regenerative Modus. Release 17 befasst sich hauptsächlich mit dem transparenten Modus.

Transparente NTN-NG-RAN-Architektur

Die transparente NTN-NG-RAN-Architektur arbeitet wie ein Repeater im Weltraum oder im übertragenen Sinne ein gebogenes Rohr, woraus sich der englische Begriff Bent Pipe ableitet. Der wesentliche Aspekt ist die Aufteilung der traditionellen Funktionen einer Basisstation auf die Komponenten Satellit, Ground Gateway und terrestrische gNB, wie in Bild 4 gezeigt. Die Satellitenfunktionen sind zuständig für HF-Filterung, Konvertierung, Verstärkung,

Senden und Empfangen in UL- und DL-Richtung. Ein wichtiges Merkmal ist die Wiederholung der Signalform zwischen Dienst- und Speiseverbindung durch eine unveränderte Nutzlast. Der Frequenzträger kann dabei geändert werden, um wechselseitige Störungen zwischen Dienst- und Speiseverbindung zu vermeiden.

Diese Architektur ist unabhängig von der Signalform, sodass Modifikationen in dieser Hinsicht keine Änderungen an der Technik des Satelliten erfordern. Ein Nachteil dieser Architektur ist in der Rauschverstärkung zu sehen, da der Satellit keine Kanalverzerrung oder Rauschkorrektur durchführen kann. Weitere Nachteile sind Anfälligkeit für gezielte Störungen (Jamming), insgesamt längere Rundlaufzeiten (da zwei Verbindungen zwischen Satellit und Erde beteiligt sind) und das Fehlen von intersatellitaren Verbindungen (Inter-Satellite Link, ISL) zur Datenverkehrssteuerung.

Die Verbindung zwischen dem Endgerät und der terrestrischen gNB läuft über die Dienstverbindung und Speiseverbindung. Darüber hinaus sind mit künftigen Erweiterungen mehrere ISL-Verbindungen dazwischen möglich. Gemäß [TR 38.821] sind für erste ISL-Implementierungen regenerative Nutzlasten erforderlich.

Künftige NTN-Implementierungen (Release 19) sollen Architekturen für den regenerativen Modus umfassen. Anders als bei Architekturen mit transparenten Nutzlasten werden hierbei die gNB-Funktionen in den Satelliten selbst integriert, um eine schnellere Datenübertragungsplanung und kürzere Rundlaufzeiten zu ermöglichen. Das regenerative Architekturmodell erfordert komplexere Hardware und mehr Rechenleistung im Satelliten. Dieses Modell kann auch Multi-Access-Edge-Computing-Funktionalitäten umfassen, um die Rundlaufzeit zu verringern.

HF-Aspekte von NTN

Der große Abstand zwischen den terrestrischen Endgeräten und den Stationen im All hat Auswirkungen auf die Leistungsübertragungsbilanz (Link-Budget) oder Streckendämpfung. Simulationsergebnisse zeigen aber, dass das zu erwartende SNR für die Kommunikation ausreichend ist. Eher problematisch ist die große Zeitverzögerung oder Rundlaufzeit, die ebenfalls von der Zeit und dem Elevationswinkels abhängt. Bei terrestrischen Netzen weist schon der Begriff „Basisstation“ auf ihren stationären Charakter hin. Im Gegensatz dazu bewegen sich die Satelliten mit einer bestimmten Geschwindigkeit, was zu einer Verschiebung der Trägerfrequenz (Dopplerver-

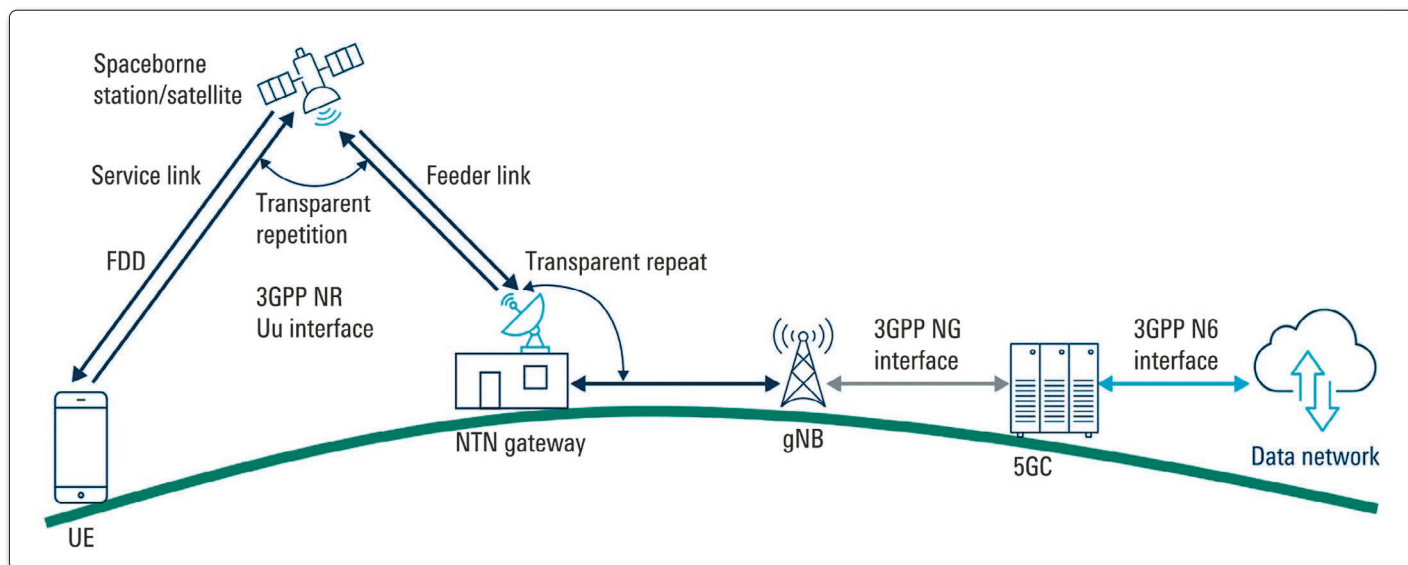


Bild 4: Transparente NTN-NG-RAN-Architektur

schiebung) führt. Beim Durchlaufen der Ionosphäre erfahren die Funkwellen außerdem eine Drehung der Polarisationssebene, den sogenannten Faraday-Effekt.

Streckendämpfung

Die große Entfernung zwischen Endgerät und Satelliten resultiert in einer starken Streckendämpfung. 3GPP hat mehrere Link-Budgets untersucht und Studien mit unterschiedlichen Parametern und Simulationsergebnissen durchgeführt, z.B. [TR 36.763] oder [TR 38.811].

In Zukunft soll die Streckendämpfung durch neue Antennentechnik mit starker Richtwirkung und hohem Gewinn beherrschbar werden. Die Gesamtstreckendämpfung setzt sich aus den folgenden Komponenten zusammen: allgemeine Streckendämpfung (hauptsächlich Freiraumdämpfung oder FSPL [Free-Space Path Loss]), Dämpfung aufgrund atmosphärischer Gase, Dämpfung durch Luftflimmern und Dämpfung beim Gebäudeeintritt. Üblicherweise werden FSPL-Werte von 160 dB (LEO) oder 190 dB (GEO) angenommen. Es ist davon auszugehen, dass die RX-Empfindlichkeit der Endgeräte gegenüber terrestrischen Netzen geringer ausfallen wird.

Rundlaufzeit und Verzögerungsdifferenz

Eine Herausforderung im Zusammenhang mit der Einführung latenzarmer Kommunikation in NR-NTN ist die Rundlaufzeit (RTT), also die hohe Latenz aufgrund der großen Distanz zwischen dem terrestrischen Endgerät und dem Satelliten. Typische Werte für die Latenz in einer Richtung liegen im Bereich 30...40 ms bei LEO-Konstellationen und können bei GEO-Konstellationen bis zu 544 ms erreichen.

Eine genauere Analyse der RTT- und Latenz-Aspekte lässt zwei Herausforderungen deutlich werden:

1. Verzögerungsdifferenz zwischen den NTN gNB und sämtlichen Endgeräten in einer Strahlausleuchtzone. Diese ergibt sich aus deren Ellipsenform sowie dem Einfluss des Elevationswinkels.
2. Zeitvariante Latenz und schwankende Rundlaufzeiten über den Verbindungszeitraum. Ursache sind elliptische Umlaufbahnen und schwankende Entfernungen zwischen Endgerät und Satellit.

Der erste Aspekt betrifft die elliptische Ausleuchtzone eines Strahls, deren Größe vom Elevationswinkel abhängt. Der Satellit erfährt deswegen unterschied-

liche Laufzeiten der Signale verschiedener Endgeräte innerhalb seiner Ausleuchtzone.

Der zweite Aspekt betrifft zeitvariante Rundlaufzeiten aus Sicht des Endgeräts aufgrund der Form der Satellitenumlaufbahn. Wenn der Satellit am Horizont aufsteigt und den minimalen Elevationswinkel überschreitet, ist der Abstand zwischen der gNB des Endgeräts und dem Satelliten maximal. Zu diesem Zeitpunkt ist die Rundlaufzeit dementsprechend am längsten. Dies erschwert die Pufferverwaltung der MAC-Schicht (Medium Access Control) und den HARQ-Betrieb (Hybrid Automatic Repeat Request).

Dopplerverschiebung

Eine der größten Herausforderungen bei der Realisierung von NTN-Verbindungen, die dem Endbenutzer eine gute Erlebnisqualität (QoE) bieten, ist die Trägerfrequenzabweichung (Dopplerverschiebung). Der Paradigmenwechsel hin zu beweglichen Basisstationen oder Satelliten bedingt in Verbindung mit sich ebenfalls potentiell in Bewegung befindlichen Endgeräten eine zeitvariante Dopplerverschiebung während einer bestehenden Verbindung. Die Dopplerverschiebung hängt von der relativen Geschwindigkeit zwischen Endgerät und Satellit, der Trägerfrequenz

und dem Winkel zwischen dem Geschwindigkeitsvektor und der Signalausbreitungsrichtung ab.

Faraday-Effekt in NTN und Polarisationsaspekte

Der Faraday-Effekt tritt als Folge der Beschaffenheit der Atmosphäre auf und steht mit der Gesamtzahl der freien Elektronen in Zusammenhang. Dieser Effekt bewirkt eine Drehung der Polarisationssebene durch die Wechselwirkung der elektromagnetischen Wellen mit dem ionisierten Medium im Erdmagnetfeld während der Signalausbreitung [TR 38.811]. Eine mögliche Gegenmaßnahme ist die Verwendung zirkularer Polarisationsverfahren. Der Nachteil dabei ist, dass das Endgerät die gleiche zirkuläre Polarisierung verwenden müsste, um eine perfekte Übereinstimmung zu erreichen, oder andernfalls zusätzlich zur Freiraumdämpfung einen Polarisationsverlust von 3 dB tolerieren und akzeptieren müsste.

Zusammenfassung

Erklärtes Ziel von 3GPP ist es, durch 5G NTN satellitenbasierte Kommunikation mit minimalen Folgen für die terrestrischen 5G-Netze zu ermöglichen. Die Anpassungen sollen auf das technisch Notwendige beschränkt bleiben. Längerfristig, im Zuge der Einführung von 6G, wer-

den die Netze ihren zellularen Charakter verlieren [4]. 6G wird auf zahlreichen dynamischen, intelligenten Knoten basieren, die jeweils über integrierte Rechenleistung und Multi-Access-Edge-Computing-Funktionalitäten verfügen. Diese Knoten werden miteinander verbunden sein und sich relativ zueinander bewegen.

Interworking, Integration und Unification – Zusammenarbeit, Integration und Vereinheitlichung – sind die drei Leitbegriffe für die Weiterentwicklung der

bestehenden Technologien über 5G NTN bis hin zu 6G.

Die künftige Forschung wird sich mit organischen Netzen befassen, die Zellen besitzen, die „geboren werden“ und „sterben“ können, sowie „vagabundierende“ Netzkomponenten und intelligentes Verkehrs-Management. Mit der Integration von NTN in das 5G-System mit Release 17 wird ein neues Kapitel der Technologiegeschichte aufgeschlagen und die Grundlage für allgegenwärtigen Mobilfunk gelegt. Rohde & Schwarz

begleitet diese Technologieevolution mit seinem Know-how in der Messtechnik und speziell der Satellitentechnik.

Wer schreibt:

Reiner Stuhlfauth ist Technologie-Manager bei Rohde & Schwarz und innerhalb des Geschäftsbereichs „Messtechnik“ für die Mobilfunkindustrie zuständig. Er verfügt über mehr als 20 Jahre Erfahrung in der Schulung in und Förderung von Mobilfunk- und anderen drahtlosen Kommunikationstech-

nologien. Er ist an zahlreichen Projekten im Zusammenhang mit 5G, 5G Advanced und der 6G-Forschung beteiligt. Stuhlfauth ist Autor vieler technischer Dokumente und Webinare zur Wireless-Kommunikation und Mitautor des R&S-Buchs „5G New Radio – Fundamentals, Procedures, Testing Aspects“. Er hat seinen Abschluss als Diplomingenieur der Elektrotechnik mit Schwerpunkt Telekommunikation an der Technischen Universität Kaiserslautern erworben. ◀

Rohde & Schwarz und MediaTek demonstrieren eine NTN-NR-Rel.17-Verbindung



Rohde & Schwarz und MediaTek haben sich zusammengetan, um eine 5G Non-Terrestrial Network (NTN) New Radio (NR) Verbindung auf Basis der neuesten Spezifikationen von 3GPP Release 17 zu demonstrieren.

Dieser technologische Fortschritt wurde den Messebesuchern des diesjährigen Mobile World Congress in Barcelona präsentiert. Zum Einsatz kamen dabei der R&S CMX500 One-Box-Signalisierungstester (OBT) von Rohde & Schwarz und ein NTN-NR-Gerät von MediaTek als Testobjekt.

5G NTN-NR

stellt die nächste Phase in der Evolution der NTN-Technologie dar und erlaubt die direkte Anbindung von Smartphones und anderen 5G-Geräten an satellitengestützte Dienste.

Die Demonstration umfasste eine 5G-NTN-NR-Live-Verbindung, für die ein Satellitenzugangsknoten in der niedrigen Erdumlaufbahn (LEO) emuliert wurde.

Durch die Simulation realer Szenarien sollte der Aufbau veranschaulicht, wie mittels 5G-Technologie die Konnektivität auch in Regionen ohne terrestrische Abdeckung sichergestellt werden kann.

NTN-NR-Netze

werden in Zukunft dafür sorgen, dass grundlegende Dienste, wie Sprachtelefonie, Nachrichtenübermittlung und niederrangige Datendienste, weltweit verfügbar sind, insbesondere dort, wo die terrestrische Versorgung unmöglich oder unpraktikabel ist, beispielsweise auf hoher See, in Flugzeugen oder in ländlichen Gebieten.

R&S CMX500 OBT Radio Communication Tester und R&S SMBV100B Vektorsignalgenerator

bildeten die Satelliten-Basisstation nach. Der Vektorsignalgenerator simuliert dabei mithilfe seiner integrierten GNSS-Option die verschiedenen Satellitenkonstellationen. Der R&S CMX500 arbeitet im interaktiven Callbox-Modus, sodass sich neben

HF-bezogenen Messungen auch Sprachanrufe auslösen lassen.

Der Testmodus

bietet eine intuitive Benutzeroberfläche und verdeutlicht eindrucksvoll die Vielseitigkeit des Testers bei der Bewertung der Performance und Zuverlässigkeit von 5G-Verbindungen unter verschiedenen Bedingungen. So wird sichergestellt, dass zukünftige NTN-NR-Geräte, die von MediaTek mithilfe der NTN-Testplattform entwickelt wurden, weltweit einwandfrei funktionieren.

Statements:

Christoph Pointner, Senior Vice President Mobile Radio Testers bei Rohde & Schwarz, erklärt: „Dass wir gemeinsam mit MediaTek diese revolutionäre Technologie auf dem MWC Barcelona zeigen konnten, unterstreicht unsere Innovationskraft im Bereich 5G NTN. Die Demonstration einer 5G NTN-NR-Verbindung über unseren R&S CMX500 OBT verdeutlicht nicht nur das Potenzial nicht-terrestrischer Netze zur Verbesserung der globalen Konnektivität, sondern eröffnet auch einen völlig neuen Markt für allgegenwärtige Konnektivität.“

Ho-Chi Hwang, General Manager of Wireless Communication System and Partnerships bei MediaTek, kommentiert: „Unsere langjährige Partnerschaft mit Rohde & Schwarz ist Ausdruck unseres Engagements für eine neue Ära der Konnektivität. Da die Nachfrage nach Satellitentechnologie in einer Vielzahl von Produktkategorien weiter wächst, ist es für uns besonders wichtig, unser Ökosystem vernetzter Geräte weiter auszubauen, um eine weltweit lückenlose Versorgung zu ermöglichen.“ ◀