

## Nahtlose Konnektivität

# Wie nichtterrestrische Netzwerke 6G prägen

Ein Überblick über die kommenden Entwicklungen



Nichtterrestrische Netzwerke (NTNs) werden seit langem als Lösung für Lücken in der Netzabdeckung angepriesen, etwa in abgelegenen Gegenden, Katastrophengebieten und in Industriezweigen, die außerhalb der Reichweite terrestrischer Netze operieren. Heute, im 6G-Zeitalter, versprechen NTNs nicht nur Netzabdeckung, sondern auch Ausfallsicherheit und Barrierefreiheit. Die direkte Verbindung zum Endgerät wird vom Konzept zur Realität, da mehrere Anbieter Services auf den Markt bringen, die die Mobilfunkabdeckung über terrestrische Grenzen hinaus erweitern. Funklücken sind nicht mehr das Ende der Kommunikation. Smartphones können weiterhin Nachrichten versenden, Wetterdaten abrufen und Signale senden, um auch dann zu helfen, wenn Mobilfunkmasten ausfallen.



*Autorin:*  
6G Thought Leadership Director  
Keysight Technologies  
[www.keysight.com](http://www.keysight.com)

### Von der Umlaufbahn in alle Welt

Der Weg von einem einzigen Satelliten im Jahr 1957 zu den tausenden, die heute in der Umlaufbahn sind, hat die Voraussetzungen für den Aufstieg von NTN geschaffen. Aktuelle Prognosen gehen von zehntausenden aktiven Satelliten aus (Bild 1), von denen sich viele in der erdnahen Umlaufbahn (LEO) befinden und ein dichtes Netz für globale Konnektivität bilden. Die Dynamik der Branche nimmt zu: SpaceX hat Direct-to-Cell-Messaging-Dienste vorgestellt, AST SpaceMobile arbeitet mit AT&T und Verizon zusammen, um eine weltweite Abdeckung zu erreichen, und Apples Integration von Globalstar ermöglicht Notrufdienste auf iPhones.

Etwa 2025 begannen Netzbetreiber mit der Einführung konkreter Angebote.

Dazu gehören landesweite Kurz-Nachrichten-Dienste in Neuseeland, kanadaweite Testläufe, kuratierte Daten-Apps in Japan und die Expansion in den USA mit Mainstream-Apps wie WhatsApp und Google Maps, die in den SAT-Modus auf Betriebssystemebene integriert wurden.

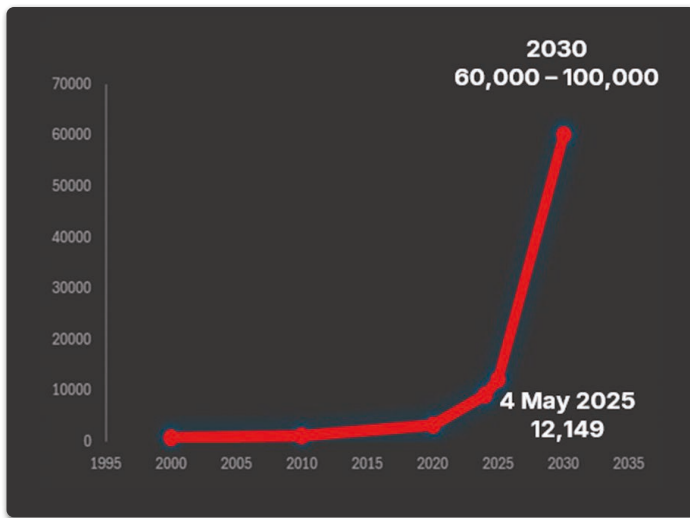
Zu diesem Wendepunkt hat politische Klarheit beigetragen, wie das SCS-Rahmenwerk (Supplemental Coverage from Space) der US-amerikanischen FCC (Federal Communications Commission) mit der von der ITU (International Telecommunication Union) vorangetriebenen internationalen Frequenzharmonisierung und der laufenden Standardisierung durch das 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Zusätzlich ermöglichen es technische Fortschritte, dass Satelliten als Roaming-Basisstationen für herkömmliche Mobiltelefone fungieren.

### 3D-Netzwerkarchitektur: Das Grundgerüst von 6G NTN

Im Gegensatz zu 5G, wo NTN nur eine Erweiterung war, ist NTN bei 6G von Anfang an als integraler Bestandteil einer einheitlichen 3D-Netzwerkarchitektur vorgesehen, die terrestrische, luftgestützte und weltraumgestützte Ebenen umfasst.

Dieses mehrschichtige Design integriert:

- LEO, MEO und GEO-Satelliten
- Flugplattformen in großer Höhe (High Altitude Platforms, HAPs)
- unbemannte Flugsysteme (Unmanned Aerial Vehicles, UAVs)



**Bild 1: Aktive Satelliten in der Umlaufbahn von 2000 bis 2030**

Das Ergebnis wäre ein nahtloser Übergang zwischen den Schichten, was eine zuverlässige Netzabdeckung und fortschrittliche Anwendungsfälle wie autonome Mobilität, Kommunikation auf See und Notfallmaßnahmen ermöglicht. Diese Architektur unterstützt Multi-Konnektivität, dynamische Frequenznutzung und KI-gesteuerte Abstimmung über alle Bereiche hinweg.

### Transformative Anwendungen

#### • direkte Geräteverbindung

Es ist kaum vorstellbar, sein Smartphone mitten in der Wüste oder auf einem Schiff zu zücken und denselben Empfang zu haben, den man auch in der Innenstadt erwartet. Mit 6G wird genau das möglich. Die ersten Implementierungen unterstützen Messaging und wichtige Apps, während Sprachdienste und

umfangreichere Datenübertragung in Aussicht stehen, sobald die Frequenzkapazitäten und die Satellitendichte ausgebaut werden.

#### • autonome Mobilität und Drohnen

NTNs ermöglichen es Drohnen, Pipelines in abgelegenen Gebieten zu inspizieren, und Fahrzeugen, sich in Gebieten ohne Mobilfunkmasten sicher fortzubewegen. Die Zuverlässigkeit der NTN-Verbindungen wird die Präzisionslandwirtschaft und die urbane Luftmobilität unterstützen, wo Maschinen auf kontinuierliche Datenströme angewiesen sind.

#### • Katastrophenhilfe und öffentliche Sicherheit

Wenn terrestrische Netzwerke bei Stürmen oder Waldbränden ausfallen, können NTNs sofort aktiviert werden und den Rettungskräften lebensrettende

Kommunikationsverbindungen bereitstellen. Aufgrund dieser Ausfallsicherheit integrieren Netzbetreiber den Satellitenzugang als Roaming-Funktion, um die Kontinuität ohne Eingreifen der Anwender zu gewährleisten.

### Der Enabling Stack für NTN-basiertes 6G

Für eine nahtlose NTN-TN-Integration ist ein ganzes Portfolio an Technologien erforderlich:

#### • FR3 (Frequenzbereich 3)

Das ist der ideale Bereich für 6G, der Abdeckung und Kapazität besser in Einklang bringt als Millimeterwellenfrequenzen (mmWave) und gleichzeitig mehr Bandbreite bietet als der Sub-6-GHz-Bereich.

#### • xMIMO (Extreme MIMO)

Tausende Antennen erzeugen extrem schmale Strahlen, um die Spektraleffizienz zu maximieren und Interferenzen zu reduzieren.

#### • RIS (Reconfigurable Intelligent Surfaces)

Intelligente Reflektoren, die Signale um Hindernisse herumleiten und an Gebäuden oder sogar Satelliten angebracht sind.

#### • ISAC (Integrated Sensing and Communication)

Netzwerke, die gleichzeitig Daten erfassen und kommunizieren und so eine kooperative Navigation sowie Umgebungswahrnehmung ermöglichen

#### • KI-natives RAN

Netzwerke, die lernen und sich anpassen, das Frequenz-

spektrum optimieren, Handover vorhersagen und den Energieverbrauch in Echtzeit optimieren.

Zusammen bilden diese Technologien das Rückgrat eines intelligenten, anpassungsfähigen und NTN-fähigen 6G-Ökosystems, doch jede Technologie bringt eigene Vorteile und Herausforderungen mit sich, wie in Tabelle 1 dargestellt.

Branchenexperten weisen darauf hin, dass diese Technologien einer gründlichen Validierung unter realen Bedingungen bedürfen, einschließlich Dopplereffekten, Latenzzeiten und Synchronisationsproblemen, die für NTN charakteristisch sind.

### Industriebeschleunigung: Die wichtigsten Akteure

SpaceX, AST SpaceMobile und Apple veranschaulichen unterschiedliche Strategien, die die Zukunft des NTN prägen.

• **SpaceX** konzentriert sich auf den Erwerb von Frequenzen für MSS (Mobile Satellite Services) und auf die Dichte der Satellitenkonstellation, um eine weltweite Skalierbarkeit zu gewährleisten.

• **AST SpaceMobile** nutzt Partnerschaften mit großen Netzbetreibern und strebt direkte Verbindungen zu Geräten mit hoher Kapazität an.

• **Apple** integriert NTN für die Notfallkommunikation und legt dabei mehr Wert auf die Nutzererfahrung als auf hohe Datenübertragungsraten.

Technologie	Vorteile	Herausforderungen
FR3	sorgt für Ausgewogenheit zwischen Abdeckung und Kapazität, ermöglicht Ultra-Massive-MIMO	erfordert ausgefeilte Kanalmodelle, ausgereifte Hardware
xMIMO	hoher Durchsatz und räumliches Multiplexing	Hardware-Komplexität und Energieverbrauch
RIS	leitet Signale um, verbessert die Abdeckung	dynamische Geometrie und Steuerungsaufwand in NTN
ISAC	kombiniert Sensorik und Datenübertragung	Ausgleich zwischen Kommunikations- und Sensoranforderungen
AI-Native RAN	prognostizierte Handover, Energieoptimierung	begrenzte Trainingsdaten, herstellerübergreifende Interoperabilität

**Tabelle 1: Technologien für 6G-NTN: Vorteile und Herausforderungen**

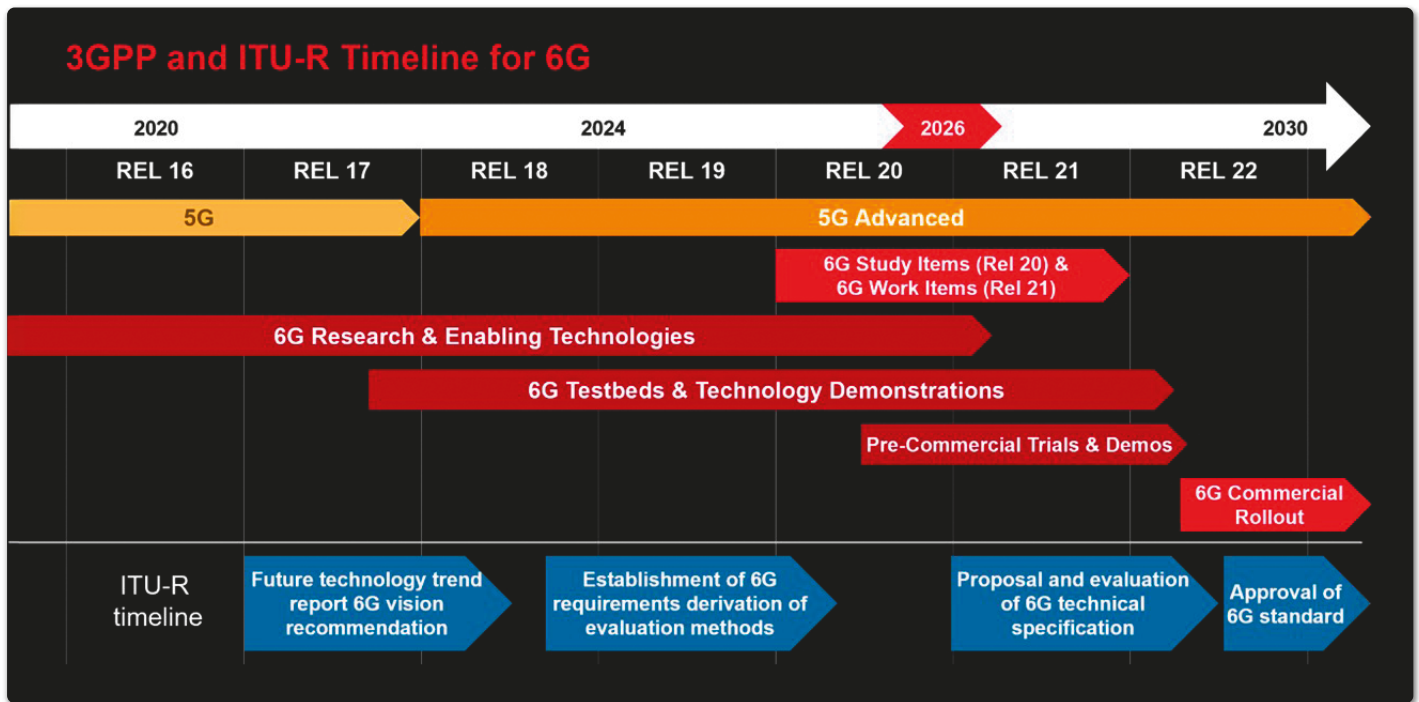


Bild 2: Zeitplan für die 6G-Standards

Die Anpassung mit den 3GPP-Standards, die mit Release 17 für die NTN-Grundlagen begann und in Release 18/19 für Mobilität und regenerative Nutzdaten weiterentwickelt wurde, gewährleistet Interoperabilität und ermöglicht es Satelliten, als integraler Bestandteil des Funkzugangszugnetzes (RAN) zu fungieren und nicht nur als Anbaukomponente.

### Roadmap für Standards: Ausblick auf die Releases 20 und 21

Während die Releases 17 und 18 die Grundlagen geschaffen haben, werden die 3GPP-Releases 20 und 21 die NTN-Integration weiter vorantreiben:

- **Release 20 (2025–2026)**  
Studienphase für Multi-Orbit-Architekturen, KI-native Luftschnittstellen und fortschrittliche Frequenznutzung
- **Release 21 (2027–2028)**  
normative Spezifikationen für regenerative Nutzlasten, nahtlose Konvergenz von NTN und TN sowie Konformität mit IMT-2030

Diese Releases stehen im Einklang mit dem IMT-2030-Zeitplan der ITU, der eine kommerzielle Einführung von 6G bis 2030 vorsieht, wie in Bild 2 dargestellt.

### Anstehende Herausforderungen

Trotz Fortschritten steht NTN vor einigen Hürden:

- **Frequenzharmonisierung**  
Die Koordinierung von Satelliten- und terrestrischen Betreibern in den FR3-Bändern ist komplex und lässt sich mit der Flugsicherung an Dutzenden Flughäfen vergleichen.
- **Standardisierung**  
Die Interoperabilität zwischen verschiedenen Anbietern ist von entscheidender Bedeutung; ohne gemeinsame Schnittstellen droht bei NTN eine Fragmentierung.
- **Hardware-Einschränkungen**  
Satelliten arbeiten unter strengen Energie- und Wärmebudgets, weshalb Effizienz von entscheidender Bedeutung ist.
- **Geschäftsmodelle**  
Konstellationen kosten Milliarden. Der Erfolg hängt davon ab, dass ihr Wert für Konsumenten, Unternehmen und den Bereich der öffentlichen Sicherheit nachgewiesen werden kann.

### Design und Modellierung für den Erfolg

Lehren aus 5G untermauern, wie wichtig Praxistauglichkeit ist.

Für NTN bedeutet das im Hinblick auf 6G:

- **Energieeffizienz**  
Netzwerke, die bei geringem Datenverkehr in den Ruhemodus wechseln, und Satelliten, die ihre Ausstrahlung dynamisch anpassen.
- **Zero-Trust-Sicherheit**  
Kontinuierliche Authentifizierung und Verschlüsselung über Grenzen und Branchen hinweg.
- **Digitale Zwillinge**  
Hochpräzise virtuelle Modelle, mit denen reale Bedingungen vor kostspieligen Markteinführungen getestet werden können, indem Störungen, Wetterbedingungen und Cyberangriffe simuliert werden.

Die Validierung der NTN-Leistung für 6G erfordert mehr als nur herkömmliche Verbindungstests. Fortschrittliche Modulationsverfahren in Kombination mit hochauflösenden digitalen Zwillingen ermöglichen es Entwicklern, komplexe Orbitaldynamiken, Dopplerverschiebungen und mehrschichtige Interferenzen vor dem Hardware-Einsatz zu simulieren.

Diese virtuellen Umgebungen bilden reale Bedingungen nach und ermöglichen so die Optimierung des Signal-Designs, der Energieeffizienz und der

Latenz. Durch die Integration von KI-Technologie in diese Simulationen können Entwickler Leistungseinschränkungen vorhersagen, Innovationen beschleunigen und gleichzeitig kostspielige Fehlversuche im Orbit reduzieren.

### Von der Umlaufbahn zur Chance

Bei den NTN geht es nicht nur um Satelliten, sondern auch um:

- **Chancengleichheit**  
Ausweitung digitaler Dienste auf unterversorgte Gebiete
- **Branchen**  
Effizienzsteigerungen in Landwirtschaft, Logistik und Fertigung
- **Widerstandsfähigkeit**  
Gesellschaften in Katastrophenfällen miteinander verbinden

Da zahlreiche Akteure Innovationen vorantreiben und globale Standards die Interoperabilität gestalten, sind NTN auf dem besten Weg, im 6G-Zeitalter als grundlegende Erwartung an die Konnektivität zu gelten.

Für Entwickler ist die Vorgabe klar: Sie müssen Systeme entwickeln, die visionär und zugleich praxisnah sind – also von Anfang an effizient, sicher und interoperabel. ◀