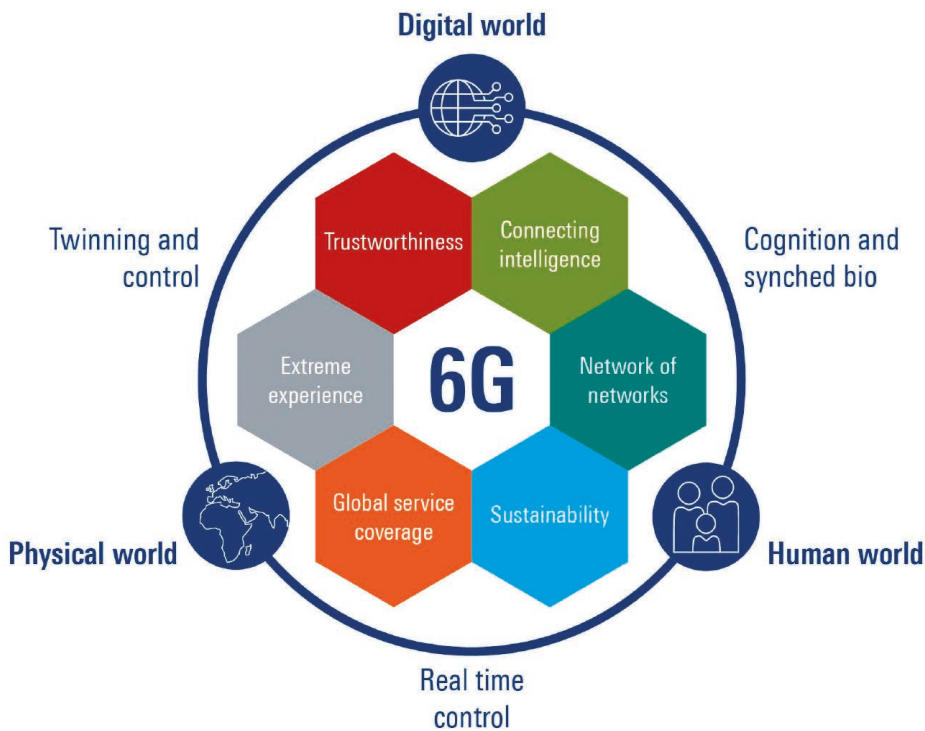


## 6G: Alles wird Netz

Obwohl sich der Ausbau der 5G-Netze noch über Jahre hinziehen wird, reichen die Visionen der Technologiestrategen schon weit darüber hinaus. Werden ihre 6G-Szenarien Realität, erwartet uns in den 2030er Jahren ein Wunderland der Kommunikation.



*Mithilfe von 6G sollen physische Welt (Umwelt, Maschinen), digitale Welt (Daten, virtuelle Räume) und die menschliche Perspektive eine gleitende Symbiose eingehen, hier in der Vision der europäischen Hexa-X-Initiative*

Seit der Einführung des LTE-Standards (4G) sind die Bedürfnisse der meisten Mobilfunknutzer erfüllt. Mit Download-Raten bis zu mehreren hundert Megabit pro Sekunde lassen sich hochauflösende Videos flüssig streamen und Downloads in Sekundenbruchteilen erledigen. 5G, in vielen Ländern schon flächendeckend verfügbar, vervielfacht diese Geschwindigkeit und bringt dem Privatanutzer kaum noch nennenswerte Vorteile. Trotzdem wird bereits an der nächsten Mobilfunkgeneration 6G geforscht, deren Einführung etwa um das Jahr 2030 erwartet wird.

Aber lässt das technisch anspruchsvolle 5G-System, das ja permanent weiterentwickelt wird, überhaupt noch Wünsche offen? Diese Frage stellte im

September 2018 ein Autoren-Duo in den Raum [1]. Was als Diskussion unter Fachexperten begann, hat mittlerweile eine bemerkenswerte Eigendynamik



**Erst die Datenraten und Latenzen von 6G werden alle Anforderungen an das autonome Fahren erfüllen. Autos können aus der Sicht von 6G selbst kleine, an das Gesamtnetz angedockte Funknetze sein, die die Drahtlosdienste von Fahrzeug und Insassen verwalten**

entwickelt. Mit dem Interesse von Industrie und Politik an 6G ist ein weltweites Technologie-Wettrennen gestartet, mit dem milliardenschweren Investitionen in Forschung und Entwicklung verbunden sind.

### Welchen Bedarf kann 6G noch decken?

„6G kommt, um die Erwartungen zu erfüllen, die 5G geweckt hat.“ Auf diese griffige Formel brachte es Dr. Dr. Ivan Ndip vom Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM) in einem Interview aus dem Frühling 2021. Obwohl der 5G-Mobilfunk sein volles Potenzial noch gar nicht richtig entfaltet hat, zeichnen sich bereits Anwendungsfälle ab, die erst mit 6G in großem Stil umsetzbar werden. Ein Beispiel dafür ist das autonome Fahren.

Selbst auf der noch weit entfernten Stufe 5 wird es gar nicht so autonom sein, wie der Begriff suggeriert. Schließlich teilen sich die Fahrzeuge Straßen, Ampeln und andere Infrastruktureinrichtungen mit zahllosen Verkehrsteilnehmern. Um dieses Mit-

KPI	5G	6G
Spitzendatenrate	20 Gbit/s	1 TBit/s
Durchschnittlich verfügbare Datenrate	100 Mbit/s	1 Gbit/s
Signallatenz	1 ms	0,1 ms
max. Kanalbandbreite	100 MHz	1 GHz
Zuverlässigkeit (fehlerfreie Datenblöcke)	99,999 %	99,99999 %
max. Teilnehmerdichte	106/km <sup>2</sup>	107/km <sup>2</sup>
max. Teilnehmergeschwindigkeit	500 km/h	1000 km/h
Positionsgenauigkeit	20 cm bis mehrere m in 2D	1 cm in 3D

**Tabelle 1: Vergleich der Leistungsdaten von 5G mit den für 6G diskutierten Werten**

einander zu orchestrieren, müssen die Fahrzeuge auf drei Arten vernetzt sein: untereinander, mit Einrichtungen entlang der Strecke und mit einer Verkehrszentrale. Da viele Situationen sicherheitskritischen Charakter haben, etwa eine Notbremsung, sind eine hohe Übertragungsgeschwindigkeit und Zuverlässigkeit der Signalübermittlung oberstes Gebot. Sollen Fahrzeuge untereinander auch noch Sensordaten austauschen und detaillierte Verkehrspläne herunterladen, muss dafür die nötige Datenrate bereitgestellt werden.

5G ist hier ein großer Schritt nach vorne, aber seine 20 Gbit/s Spitzendatenrate und eine Millisekunde Signallatenz reichen für die ganz große Vision vom autonomen Fahren vermutlich nicht aus. Sie wird erst mit dem 6G-Standard erreichbar, mit dem die Signallatenz um den Faktor 10 gedrückt und der Datendurchsatz verfunfzigfach werden soll (Tabelle).

Ähnliches gilt für die Tele-Medizin und speziell die Tele-Chirurgie. Mit einer 5G-Datenverbindung können Chirurgen bereits manche Operationen aus der Ferne durchführen. Im Extremfall befinden sich Patient und Operateur dabei in unterschiedlichen Kontinenten. Damit solche Leistungen möglich sind, müssen neben den Steuerbefehlen für den Operationsroboter auch visuelle Daten erzeugt und verzögerungsfrei übertragen werden. Sie zeigen dem Chirurgen oder der Chirurgin

auf einem ultrahochoflösenden Display, was gerade im operierten Bereich geschieht. Kompliziertere Operationen bringen ein 5G-Mobilfunknetz an seine Grenzen. Auch dann, wenn die weiteren technischen Entwicklungsstufen umgesetzt werden, die im Jahr 2024 mit 5G-Advanced kommen sollen.

Szenarien wie diese motivieren bereits heute die Forschung an der nächsten Mobilfunkgeneration.

### Fokusverschiebung zur Maschine

Im 6G-Standard werden Funktionen und Dienste für eine effiziente Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (M2M) eine wichtige Rolle spielen. Bereits bei 5G fallen mit mMTC und URLLC zwei der drei großen Entwicklungsschwerpunkte in diesen Bereich. Adressiert werden damit – neben dem autonomen Fahren – Anwendungsfelder wie Industrie 4.0, Smart City oder Smart Home.

Gefragt ist hier nicht nur eine einzige Art von M2M-Kommunikation, sondern stark unterschiedliche Varianten davon: Wo die vernetzte Fabrik hochzuverlässige Funkverbindungen mit Ende-zu-Ende-Signallaufzeiten im unteren Millisekundenbereich benötigt, sind diese Anforderungen in der Smart City oder dem Smart Home deutlich überdimensioniert. Hier geht es darum, Dinge wie Verbrauchszähler und Alltagsgegenstände wie Mülltonnen mit Sensoren

oder Stellgliedern auszustatten, um sie aus der Ferne entweder auszulesen oder Abläufe zu automatisieren. Dafür reicht eine Funkkommunikation, die nur sporadisch erfolgt und wenige Daten überträgt.

In einem Smart-City-Funknetz müssen aber auch hunderte oder tausende gleichartige, oft batteriebetriebene Teilnehmergeräte verbunden werden. Solche Anwendungen, die bei der ursprünglichen Entwicklung des Mobilfunks nicht absehbar waren, haben die Konzeption von 5G bestimmt. Nicht

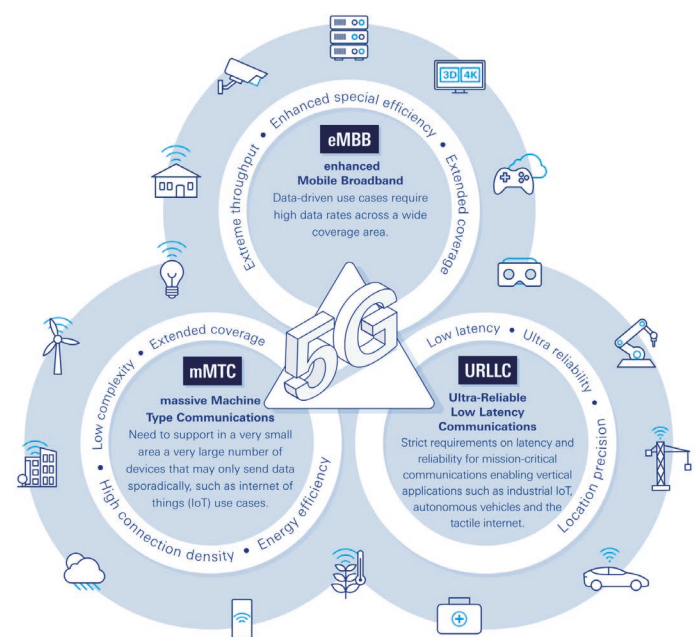
der Mensch steht weiterhin im Mittelpunkt, sondern Geräte und Maschinen, sprich das Internet der Dinge (IoT).

### Die Vision von 6G

Entsprechend richtet sich die weitere technische Entwicklung verstärkt an den Bedürfnissen verschiedener Industrien aus. Von hier tauchen auch die unterschiedlichsten Zukunftsbilder für 6G auf, die sich zu einem faszinierenden Gesamtpanorama verdichten. Damit sie umgesetzt werden können, sind Technologien nötig, die größtenteils noch gar nicht verfügbar sind. Mittelfristig sieht man sie aber in Reichweite. Ihr Zusammenwirken wird man als sechste Mobilfunkgeneration bezeichnen, obwohl dieser nüchterne Terminus die Zielvision nur unzureichend beschreibt.

### Zwillinge auf dem Holodeck

Mit der Ankündigung des Metaverse durch Facebook-Gründer Mark Zuckerberg im Herbst 2021 bekamen die oft als Spielerei wahrgenommenen VR-Brillen eine neue Marktrelevanz. Sie sind das zentrale Werkzeug,



**Im 6G-Standard werden Funktionen und Dienste für eine effiziente Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (M2M) eine wichtige Rolle spielen**



**Augmented-Reality-Brillen bringen heute schon gegenständliche und virtuelle Realität zusammen. In der 6G-Vision sollen alle Sinne miteinander verbunden werden, sodass man von völliger Immersion sprechen kann**

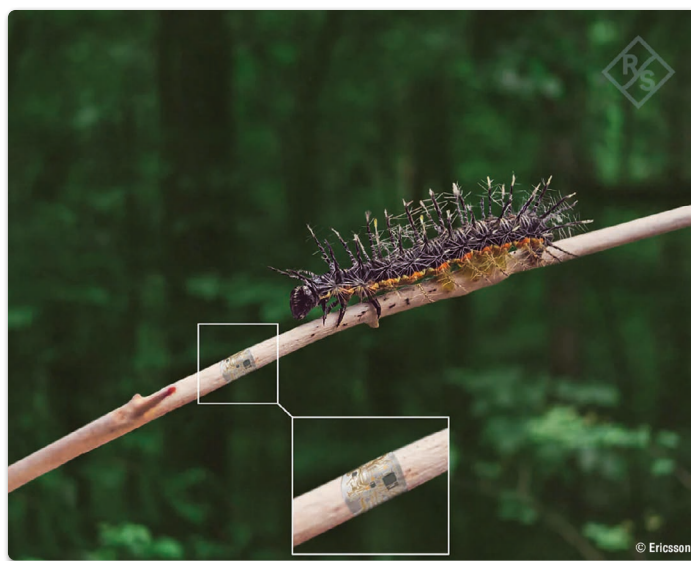
um Zuckerbergs Vision von einem Extended-Reality-Erlebnisraum umzusetzen. Die Mittel dazu stehen dem Konzern zur Verfügung, schließlich gehört der VR-Brillen-Hersteller Oculus zum Meta-Imperium.

Damit wird der Ursprungsgedanke der VR-Brille ambitioniert und visionär weitergedacht. Bereits heute bekommen Techniker über die Brille beispielsweise das 3D-Modell eines zu montierenden Teils ins Realbild eingebunden, zusammen mit Hinweisen, wie damit umzugehen ist. Der Lens-Träger kann mit der holografischen Projektion sogar manuell interagieren, als wäre sie real, kann sie anfassen und manipulieren. Ein solches System, millionenfach verbreitet und für jeden erschwinglich, ist sowohl Zuckerbergs Vision wie auch eines der 6G-Leitszenarien.

Wird das Konzept von Extended Reality konsequent zu Ende gedacht, umschließt es eine Reihe anderer gehaltvoller Visionen. Das Fernziel ist das völlige Eintauchen in die neue Welt, die als echt erlebt wird. Immersion total. Dazu gehört eine dreidimensionale optische Auflösung, die das menschliche Sehvermögen ausreizt, eine entsprechende akustische Umwelt mit verzögerungsfreier Reaktion aller synthetischen Objekte (taktiles

Internet) und nicht zuletzt deren glaubwürdige visuelle Darstellung. Entscheidend ist aber, dass einige dieser Objekte mit realen Pendanten aus der Wirklichkeit korrespondieren. Es sind dies sogenannte digitale Zwillinge, interaktive virtuelle Repräsentanten echter Gegenstände und Maschinen, die man aus der Meta-Welt heraus manipulieren kann. Die Bedienung lässt sich so in beliebiger Entfernung von der Maschine vornehmen, mit möglicherweise weitreichenden Konsequenzen für die Organisation von Arbeit. Eine gesellschaftliche Folgewirkung könnte die Wiederbelebung des ländlichen Raums sein, wenn die Notwendigkeit zur Präsenz in den Ballungsgebieten abnimmt.

Wer über solche Szenarien nachdenkt, kommt an 6G nicht vorbei. Die Rechenleistung für eine immersive Kunstwelt wie das Metaverse übersteigt das Vermögen einer VR-Brille. Soll sie außerdem zierlich und unauffällig wie eine normale Brille aussehen, ist externe Rechenleistung nötig. Soll sie aus der Cloud bezogen werden, kommt 6G ins Spiel. Die Übertragung der extremen Datenmengen zur Brille mit Videoauflösungen von mindestens 8k in Stereo erfordert Transportkapazitäten in der Größenordnung von mehreren



**Design-Studie des Netzerkäufers Ericsson: Zero Energy Devices sind nicht nur in der Zivilisation von Nutzen. Ein 6G-IoT-Funksensor könnte zum Beispiel Ökosystemdaten ermitteln und an eine Zentrale melden**

hundert Gigabit pro Sekunde und Signallaufzeiten von einer Zehntel Millisekunde, um ein natürliches Agieren in Echtzeit zu ermöglichen. Eine solche Performance ist in 5G nicht vorgesehen. Auch die intelligente Bereitstellung von Rechenleistung für die diversen 6G-Services wird zu den Aufgaben des Netzes gehören, das sich dazu künstlicher Intelligenz bedient. Die wird in einem 6G-Netz allgegenwärtig sein.

## Das wahre Internet der Dinge

Obwohl das Internet der Dinge langsam Gestalt annimmt und durch 5G besonders in Industrie und Verkehrswesen einen Schub erfahren wird, kommt die allumfassende Vernetzung erst mit dem 6G-Mobilfunk. Er soll sowohl von seinem technischen Zuschnitt wie auch von seiner Kapazität her in der Lage sein, eine beliebige Anzahl von Objekten einzubinden, egal ob aus dem Heimbereich, der Industrie, dem Straßenverkehr oder der Infrastruktur. Damit werden plötzlich Dinge zu potenziellen Vernetzungskandidaten, an die man früher nie gedacht hätte. Eingebettete Funksensoren können zum Beispiel den Zustand von Brücken und Autobahnen kontinuierlich überwachen und den Instandhaltungs-

bedarf schnell sichtbar machen. Ein weiteres Beispiel findet sich in Handel und Logistik. Hier könnten die üblichen, nur auf Schrittdistanz auslesbaren RFID-Etiketten mit Messsensoren und größerer Reichweite ausgestattet werden, um die Qualität von Lebensmitteln zu überwachen.

Der IoT-Schub wird auch die Energieversorgung von Funksensoren verändern. Hier liegt eine große Herausforderung für die massive Ausbringung von vernetzten Funksensoren. Sowohl die schiere Anzahl als auch die Miniaturisierung machen einen Tausch der Energiezelle unmöglich. Der nötige Wartungsaufwand wäre unwirtschaftlich und praktisch kaum zu leisten. Da viele IoT-Anwendungen langfristig, unter Umständen auf Jahre hin, angelegt sind, müssen die Sensoren energetische Selbstversorger sein. Die zugehörigen Stichwörter lauten Zero Energy Device und Energy Harvesting. Heutige RFID-Sensoren arbeiten bereits so, werden aber direkt vom Lesegerät in unmittelbarer Nähe mit elektromagnetischer Energie versorgt. 6G-Sensoren müssen diesen Komfort entbehren und ihre Energie aus geeigneten Quellen vor Ort beziehen, sei es Wärme, Licht, Bewegung oder etwas anderes. Auf diesem

Gebiet steckt die Forschung, wie bei vielen 6G-Themen, noch in den Anfängen.

### Ein Netz aus Funknetzen

6G wird dem Internet der Dinge nicht nur eine unerschöpfliche Grundlage bieten, sondern selbst eine Art Internet sein. So wie man das etablierte Internet gern das Netz der (Computer-)Netze nennt, wird man 6G als Netz der Funknetze bezeichnen können. Die monolithische Struktur heutiger Mobilfunknetze wird einer heterogenen, sich ständig umgestaltenden Netzlandschaft weichen (organisches Netz), die kommerzielle, private und öffentliche Teilnetze jedweder Größe miteinander verbindet, von der Quadratmeter versorgenden Makrozelle heutiger Prägung bis hinab zu Atto- und Zepto-Zellen für die Versorgung eines Zimmers oder Autos. Damit das Andocken eines

Netzes an die Gesamtstruktur automatisiert werden kann, will man so viele Netzfunktionen wie möglich virtualisieren, das heißt, rein logisch beschreiben. Die Funktionsblöcke im Netz müssen diese Sprache herstellerübergreifend verstehen und standardkonform interpretieren. Die O-RAN-Initiative, in der sich auch Rohde & Schwarz engagiert, legt heute bereits den Grundstein dafür.

### Der Wettlauf hat begonnen

Seit den ersten Überlegungen zu 6G vor erst wenigen Jahren ist in Industrie, Forschungseinrichtungen und Politik schon einiges in Bewegung geraten.

Weltweit wurden Forschungsinitiativen gegründet, Fördergelder ausgelobt und Allianzen geschmiedet. Die Politik hat verstanden, dass die Konkurrenzfähigkeit und wirtschaftliche Prosperität ganzer Länder von der

gleichberechtigten Teilhabe am 6G-System abhängen kann und es Abhängigkeiten zu vermeiden gilt. So kamen Japan und die USA im Frühling 2021 auf höchster Ebene überein, gemeinsam 4,5 Milliarden Dollar für die 6G-Forschung aufzubringen. Europa hat das 6G-Flaggschiff-Projekt Hexa-X ins Leben gerufen, an dem sich Organisationen aus neun Ländern beteiligen. Unabhängig davon stellt das deutsche Bundesministerium für Bildung und Forschung bis 2025 700 Millionen Euro zur Verfügung. 250 Millionen davon fließen kurzfristig vier nationalen Forschungs-Hubs zu, in denen sich auch Rohde & Schwarz als Partner engagiert. Südkorea verfolgt den ambitionierten Plan, schon 2026 mit ersten Feldversuchen zu beginnen und will bis dahin rund 195 Millionen Dollar investieren. Und China? Denkt nicht daran, seine bei 5G errungene starke Position mit

der nächsten Generation wieder abzugeben. Sein Ministerium für Wissenschaft und Technologie koordiniert zusammen mit anderen Ministerien und staatlichen Stellen die nationalen Ressourcen, um 6G so schnell wie möglich einsatzreif zu machen.

Rohde & Schwarz, seit dem Beginn der digitalen Mobilfunk-Ära ein enger Partner und führender Messtechnik-Lieferant der Industrie, bringt bereits heute seine Produkte und Expertise in mehrere 6G-Forschungsprojekte ein und wird Zug um Zug die für 6G erforderlichen Messmittel bereitstellen. ◀

### Quelle:

[1] David, K., Berndt, H.: 6G vision and requirements: Is there any need for beyond 5G? IEEE Vehicular Technology Magazine, Vol. 13, Issue 3, Sept. 2018

## 6G-Forschungsschwerpunkte

Unter anderem auf den folgenden Gebieten besteht noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

### • Frequenzen

5G nutzt erstmals den Millimeterwellenbereich (>20 GHz) für die Individualkommunikation. 6G wird noch weit darüber hinausgehen und in den noch unzureichend verstandenen Terahertz-Bereich vorstoßen (300 GHz bis

3 THz), bedarfsweise auch sichtbares Licht und Infrarot einbeziehen. Nur bei diesen hohen Frequenzen lassen sich die angestrebten extremen Übertragungsraten realisieren.

### • Antennen

Durch die hohen Frequenzen, gleichbedeutend mit kurzen Wellenlängen, schrumpfen die Antennen auf Millimetergröße. Man wird in den Basisstationen bis zu je 60.000 davon zu Gruppenantennen kombinieren, die hunderte von Endgeräten über individuelle Richtstrahlen gleichzeitig bedienen können. Zur punktgenauen Anstrahlung des Teilnehmers wird außerdem über intelligente reflek-

tierende Oberflächen, etwa an Hauswänden, nachgedacht, mit denen man gezielt um die Ecke funken kann.

### • Künstliche Intelligenz

KI wird ein wesentliches Kennzeichen von 6G sein. Branchenkenner gehen davon aus, dass ein 6G-Netz ohne KI weder bezahlbar noch überhaupt funktionsfähig wäre. Seine Komplexität ist zu groß für konventionelle Design- und Management-Methoden. KI wird sowohl in den technischen Komponenten wie auch bei der Netzwerkplanung und -überwachung zum Einsatz kommen. Ziel ist die Zero-Touch- bzw. Selbstoptimierung des Netzes in Bezug auf seine Kosten-, Energie-, spektrale und operationale Effizienz.

### • Virtualisierung

Alle wesentlichen Netzwerkkomponenten sollen über standardisierte abstrakte Funktionen definiert und ansprechbar

sein. Das erlaubt die Mischung von Produkten verschiedener Hersteller und schafft Spielräume für die konkrete technische Ausgestaltung.

### • batterielose Sensoren

Myriaden von Miniatursensoren werden den stückzahlmäßig größten Anteil am Internet der Dinge stellen. Sie müssen über lange Zeit wartungsfrei arbeiten und ihre Betriebsenergie durch Energy Harvesting selbst gewinnen.

### • Integriertes Funk-, Sensorik- und Rechnernetz

6G wird viel mehr als ein Funknetz sein. Über integrierte Ortungsfunktionen wird man die Position eines Funkteilnehmers auf Zentimeter genau bestimmen können. Das Netz wird außerdem über eine gewaltige verteilte Rechenleistung verfügen, die je nach Bedarf in der Nähe des Funkteilnehmers oder in entfernten Rechenzentren zur Erfüllung eines 6G-Services herangezogen werden kann (Edge-, Fog-, Cloud-Computing).

gen werden kann (Edge-, Fog-, Cloud-Computing).

### • Datenintegrität

Mehr noch als 5G wird 6G das Rückgrat von Wirtschaft und Industrie sein. Unzählige Geschäftsabläufe und Services werden darauf basieren. Der Datenschutz ist daher von überragender Bedeutung. Auf die korrekte Authentifizierung eines Teilnehmers muss unbedingt Verlass sein. Verschlüsselung ist Pflicht bei jeder Verbindung. Zur Sicherstellung der Datenintegrität zieht man die Block-Chain-Technologie in Betracht, um von Zentralinstanzen unabhängig zu sein.

### • Energieeffizienz

Das exponentielle Wachstum der Datenkommunikation geht mit einem steigenden Energiebedarf einher. Um ihn zu begrenzen, muss die Energieeffizienz des Netzes, also der Energieaufwand pro übertragenem Bit, sinken.