

Sondierung der Frequenzlandschaft für 6G

In jeder neuen Generation des Mobilfunks waren neue Frequenzen der Schlüssel für neue Dienste, höhere Kapazitäten und schnellere Datenübertragungsraten. Welches neue Spektrum für 6G zur Verfügung stehen wird, ist noch unklar, aber drei Frequenzbereiche werden genauer untersucht.

Wo liegen die jeweiligen Vor- und Nachteile?



Bild 1 zeigt die Frequenzzuweisung nach Mobilfunk-Generationen einschließlich der drei potenziellen Bänder für 6G: das obere Mittelband (manchmal auch nur als Mittelband oder inoffiziell als FR3 bezeichnet) zwischen 7 und 24 GHz, die Sub-THz-Bänder zwischen etwa 90 und 300 GHz sowie die Ausschöpfung des Spektrums unterhalb von 7 GHz durch Re-Farming, neue Bandzuweisung und erhöhte spektrale Effizienz.

Das obere Mittelband (7...24 GHz)



Autorin:
Sarah LaSelva
Director of 6G Marketing
Keysight Technologies
www.keysight.de

Dieses ist das attraktivste für frühe 6G-Systeme. Bild 2 zeigt ein vereinfachtes Diagramm der für den mobilen und festen drahtlosen Zugang zugewiesenen Frequenzen zwischen 7 und 24 GHz. Der Bereich 7...15 GHz ist aufgrund seiner Ausbreitungseigenschaften attraktiv, die denen der Bänder unmittelbar unter 7 GHz entsprechen. Bei diesen Frequenzen haben die Signale weniger Ausbreitungsverluste als bei FR2 und eine

bessere Chance, Gebäude und andere Strukturen zu durchdringen, was eine Abdeckung von Innenräumen ermöglicht. Dadurch könnten die Betreiber die Netzkapazität erhöhen, ohne die Dichte der Funkzellen erheblich steigern zu müssen, wie es für die Erweiterung der mmWave-FR2-Abdeckung erforderlich wäre.

Bei der Nutzung dieses Frequenzspektrums für 6G ist die größte Herausforderung die Regulierung. Das Spektrum ist mit zivilen und staatlichen Betreibern besetzt und wird für andere Anwendungen als den drahtlosen Festnetz- und Mobilfunkzugang genutzt, z.B. Meteorologie, Radioastronomie und Seefunknavigation. Viele der etablierten Betreiber werden sich nur schwer oder gar nicht verlagern lassen, da viele von ihnen auf Regierungs- oder Satellitenkommunikation beruhen, die sich nur schwer oder gar nicht ändern lässt, wenn der Satellit erst einmal in der Umlaufbahn ist. Selbst wenn die Regulie-

rungsbehörden eine Einigung über die Verfügbarkeit von Frequenzen und die Lizenzvergabe erzielen können, besteht die größte technische Herausforderung bei diesem Spektrum darin, wie die Frequenzen gemeinsam genutzt werden können, ohne andere Nutzer zu stören.

Die Sub-THz-Bänder (90...300 GHz)

Sub-THz-Frequenzen bieten große, zusammenhängende Frequenzbereiche, die für 6G zugewiesen werden könnten. Mit Bandbreiten von bis zu 20 GHz müssen sie für 6G in Betracht gezogen werden, auch wenn sie tiefgreifende technische Herausforderungen mit sich bringen. Man kann sich unschwer Anwendungen vorstellen, die einen extrem hohen Datendurchsatz von mehr als 100 Gbit/s erfordern. Angesichts des aktuellen Stands der Technik bei der spektralen Effizienz werden dafür größere zusammenhängende Bandbreiten erforderlich sein als in den niedrigeren Frequenzbändern.

Trotz der damit verbundenen technischen Herausforderungen lohnt es sich, diese Bänder weiter zu erforschen, denn sie bieten die Möglichkeit, schwierige Probleme zu lösen, z.B. Verbindungen zwischen Weltraum und Erde, multidimensionale visuelle und akustische Kommunikation sowie fortgeschrittene Kommunikations- und Sensoranwendungen.

Welche Frequenzen im Sub-THz-Bereich verwendet werden, bleibt eine offene Frage. Im W-Band 90...110 GHz gibt es mehrere Segmente mit einer angemessenen zusammenhängenden Bandbreite, die für den Mobilfunk oder den stationären Funk zugewiesen sind, und im

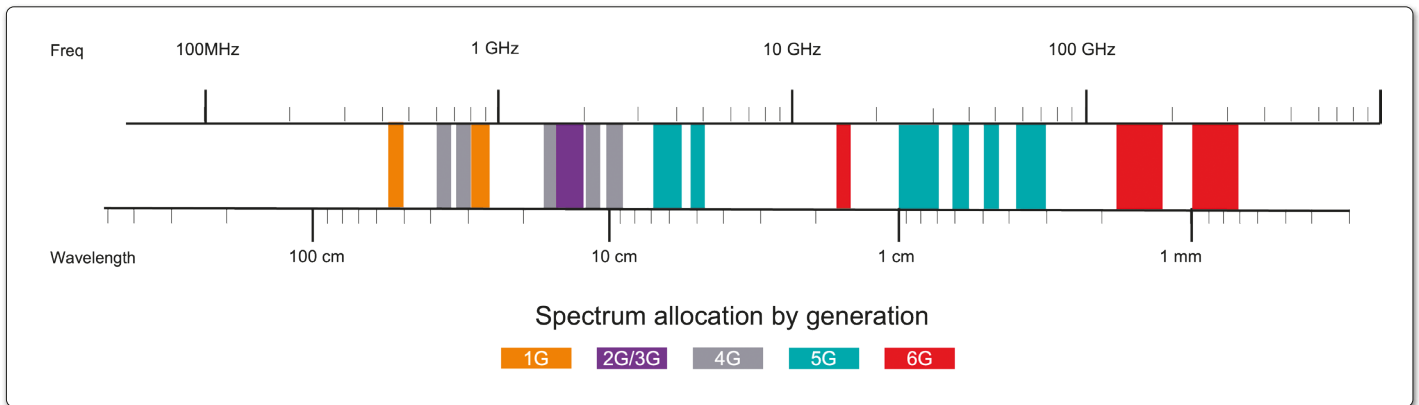


Bild 1: Frequenzzuweisung in jeder Mobilfunkgeneration

D-Band von 110 bis 170 GHz gibt es diese, s. Bild 3.

Im G- und H-Band sind weitere Bänder für Mobilfunk- und ortsfeste Dienste oberhalb von 200 GHz zugewiesen, wie in Bild 4 dargestellt, aber die Nutzung dieser Frequenzen für die kommerzielle Kommunikation wird noch weiter in der Zukunft liegen als bei W- oder D-Band. Dies sind die wahrscheinlichsten Sub-THz-Bänder für die erste Nutzung, da das Ökosystem bei diesen Frequenzen relativ ausgereift ist und die Ausbreitungseigenschaften günstiger sind.

Je höher die Frequenz, desto größer ist die Dämpfung im freien Raum. Verstärkt wird das durch die molekularen Absorptionsspitzen in unserer Atmosphäre, wie in Bild 5 dargestellt. Technologien wie Beam-Steering, rekonfigurierbare intelligente Oberflächen (Reconfigurable Intelligent Surfaces, RIS) und neuartige Antennen könnten eingesetzt werden, um den Pfadverlust im Sub-THz-Bereich zu überwinden. Doch auch damit ist der Ausbreitungsverlust so groß, dass es noch einige Zeit dauern wird, bis Sub-THz für herkömmliche mobile Anwendungen genutzt wird.

Die unteren Bänder (unter 7 GHz)

Die 600...900-MHz-Bänder bleiben auch in Zukunft die Hauptstützen der flächendeckenden Versorgung. Hiermit kann man die größten Entfernungen abdecken und Gebäude gut durch-

dringen. Diese Frequenzen werden auch in Zukunft für den Einsatz in ländlichen Gebieten wichtig sein und die besten Voraussetzungen für das Erreichen der Zellenränder bieten. Größere Bandbreiten sind aber nicht möglich, selbst wenn mehr benachbarte Frequenzen zugewiesen werden.

In den nächsten fünf bis zehn Jahren werden neue Frequenzen zwischen 1 und 7 GHz für den Mobilfunk und stationäre Netze zur Verfügung stehen, um die Durchsatzanforderungen von 5G zu erfüllen. Sie alle werden auch von 6G genutzt werden.

Auf der WRC-23 wurden neue Bänder in Betracht gezogen: 3,3...3,4, 3,6...3,8, 6,425...7,025 und 7,025...7,125 GHz, wobei dieses allein für die weltweite Nutzung vorgesehen ist [3]. Die Überprüfung der Nutzungsmöglichkeit des Spektrums und seine Aufbereitung für neue Generationen, wie sie für das C-Band in 5G erfolgt, gibt ein Beispiel, wie größere Bandbreiten unter 7 GHz erzielt werden können. Das Spektrum in diesem Frequenzbereich ist eine endliche und knappe Ressource, die auf möglichst intelligente und effiziente Weise genutzt werden muss.

Zeitleiste des Spektrums

Die genauen Frequenzen, die 6G nutzen wird, sind noch unbekannt. Die ITU weist Frequenzen für die internationale mobile Telekommunikation (IMT) auf Weltfunkkonferenzen (WRC) zu, die alle vier Jahre stattfinden. Während der WRC arbeiten die Teilnehmer an der Identifizierung von Frequenzbändern, die international für IMT genutzt werden könnten, um eine globale Harmonisierung des Spektrums zu erreichen und gleichzeitig die Notwendigkeit des Schutzes etablierter Unternehmen in interessanten Frequenzbändern

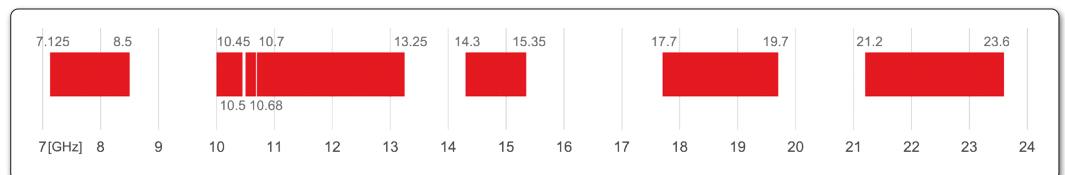


Bild 2: Vereinfachte globale Mobil-/Festfrequenzzuweisung 7...24 GHz [1]

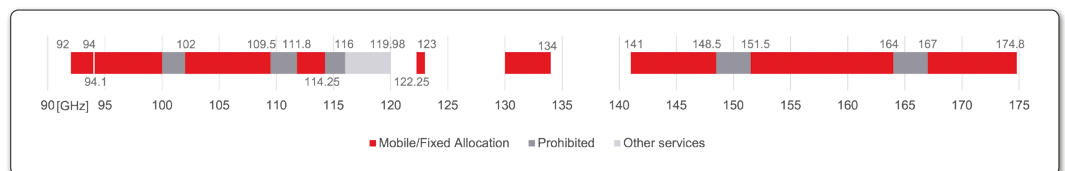


Bild 3: Vereinfachte globale Mobil-/Festfrequenzzuweisung 92...175 GHz [1]

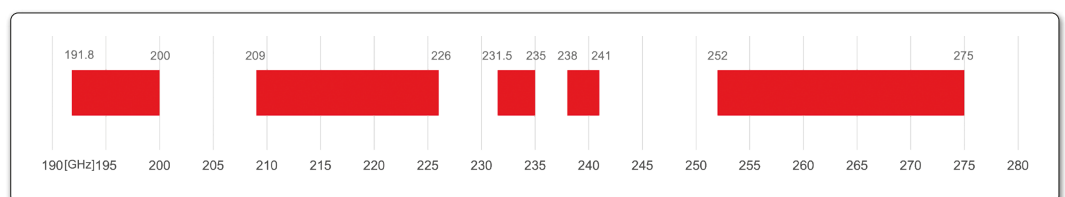


Bild 4: Vereinfachte globale Mobil-/Festfrequenzzuweisung 190...280 GHz [1]

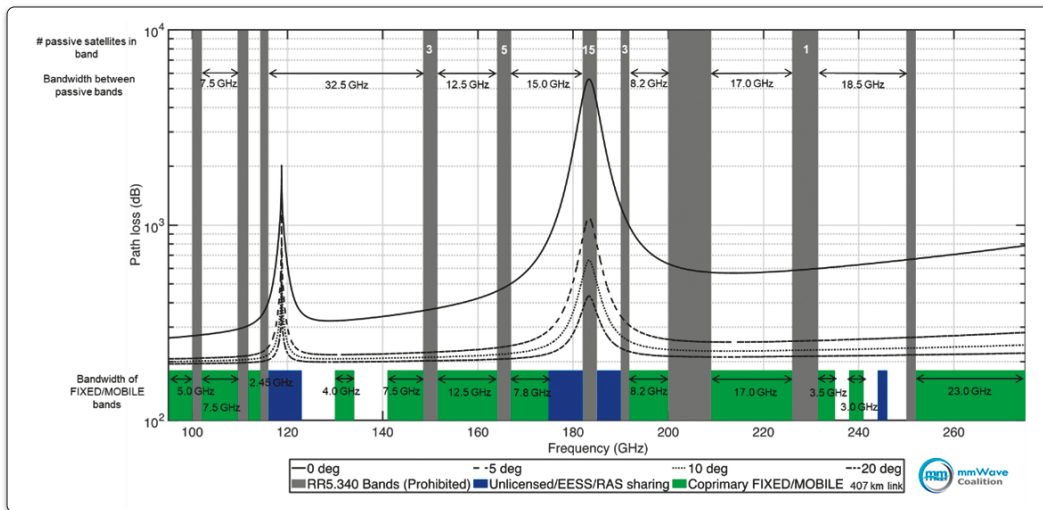


Bild 5: Atmosphärische Dämpfung in Abhängigkeit von der Frequenz [2]. (Bild: mmWave Coalition)

zu berücksichtigen. Eine globale Frequenzharmonisierung ist wünschenswert, da sie Größenvorteile bei den Komponenten ermöglicht und die Anzahl der Bänder, die von den Nutzergeräten unterstützt werden müssen, begrenzt [4].

Nachdem die IMT-Bänder festgelegt sind, müssen die nationalen Regulierungsbehörden die Bänder für den Mobilfunk in ihrer Region zuweisen. Das kann bedeuten, dass bestimmte Bänder reserviert oder neu zugewiesen werden müssen. Die Zuweisung von Bändern erfolgt über eine Reihe von Mechanismen, wie z.B. Auktionen, Ausschreibungen und Direktlizenzen, ohne darauf beschränkt zu sein.

Am Ende jeder WRC wird die Tagesordnung für die nächste WRC festgelegt, einschließlich

der Liste der Frequenzen, die für eine mögliche Zuweisung infrage kommen. Nach der Festlegung der Tagesordnung für die WRC-27 wird mehr Klarheit herrschen, aber es gibt keine Garantie dafür, dass die dort vorgeschlagenen Bänder auch bei der Einführung von 6G zum Einsatz kommen werden. Bild 6 zeigt, wann diese Sitzungen in Bezug auf den 3GPP-Freigabezyklus und die Einführung von 6G stattfinden werden.

Fazit

Ausgehend von den aktuellen Branchentrends wird 6G ein breites Spektrum an Bändern nutzen. Das 7...15-GHz-Band ist der wahrscheinlichste Kandidat für die ersten 6G-Implementierungen, aber 6G muss auch das bereits zugewiesene

Spektrum unter 7 GHz nutzen. Verbesserungen bei der dynamischen gemeinsamen Nutzung des Spektrums sind notwendig, um alle Bänder mit der höchsten Effizienz zu nutzen.

Die Sub-THz-Bänder sind zwar nicht das Ziel für die Einführung im Jahr 2030, aber dennoch vielversprechend. Diese Bänder werden als Ziel für eine spätere Phase von 6G angesehen, die eher zwischen 2035 und 2040 eingeführt werden soll. Ihre großen Bandbreiten werden benötigt, um einige der neuen Anwendungen und Anwendungsfälle zu ermöglichen, die für 6G vorgesehen sind. Durch die Nutzung unterschiedlicher Frequenzen, wie z.B. durch den Einsatz verschiedener Werkzeuge zur Bereitstellung unterschiedlicher Leistungsmerk-

male, wird 6G in der Lage sein, die ständig wachsenden Anforderungen und Erwartungen an die Mobilfunkkommunikation zu erfüllen.

Wer schreibt:

Sarah LaSelva leitet die Marketingaktivitäten für Keysight im Bereich 6G. Sie verfügt über mehr als ein Jahrzehnt Erfahrung in der Messtechnik mit Schwerpunkt auf kabelloser Kommunikation und hat die neuesten kabellosen Technologien sowohl erforscht als auch beworben. Im Laufe ihrer Karriere war sie im Marketing, in der Test- und in der Applikationsentwicklung tätig. Zuvor arbeitete LaSelva bei NI (National Instruments) als Produktmarketing-Managerin für das SDR-Team, wo sie ein umfassendes Wissen über SDR-Hardware, Software und kabellose Kommunikation erwarb. Sarah LaSelvas Hintergrund liegt in der Mikrowellen- und Millimeterwellen-Technologie. Sie hat einen Bachelor-Abschluss in Elektrotechnik von der Texas Tech University.

Quellen

- [1] <http://handle.itu.int/11.1002/pub/814b0c44-en>
- [2] <https://mmwavecoalition.org/>
- [3] www.itu.int/md/S20-CL-C-0069/en
- [4] www.itu.int/wrs-22/wp-content/uploads/sites/25/2022/10/IMT_general_aspects_WRS-22-2.pdf ◀

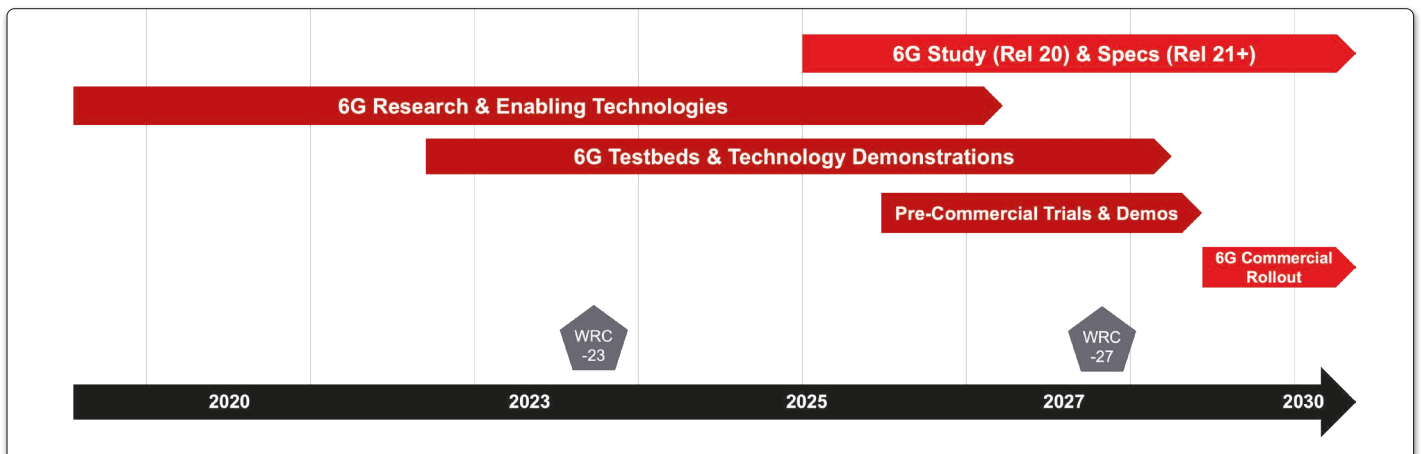


Bild 6: Zeitplan für die Einführung von 6G