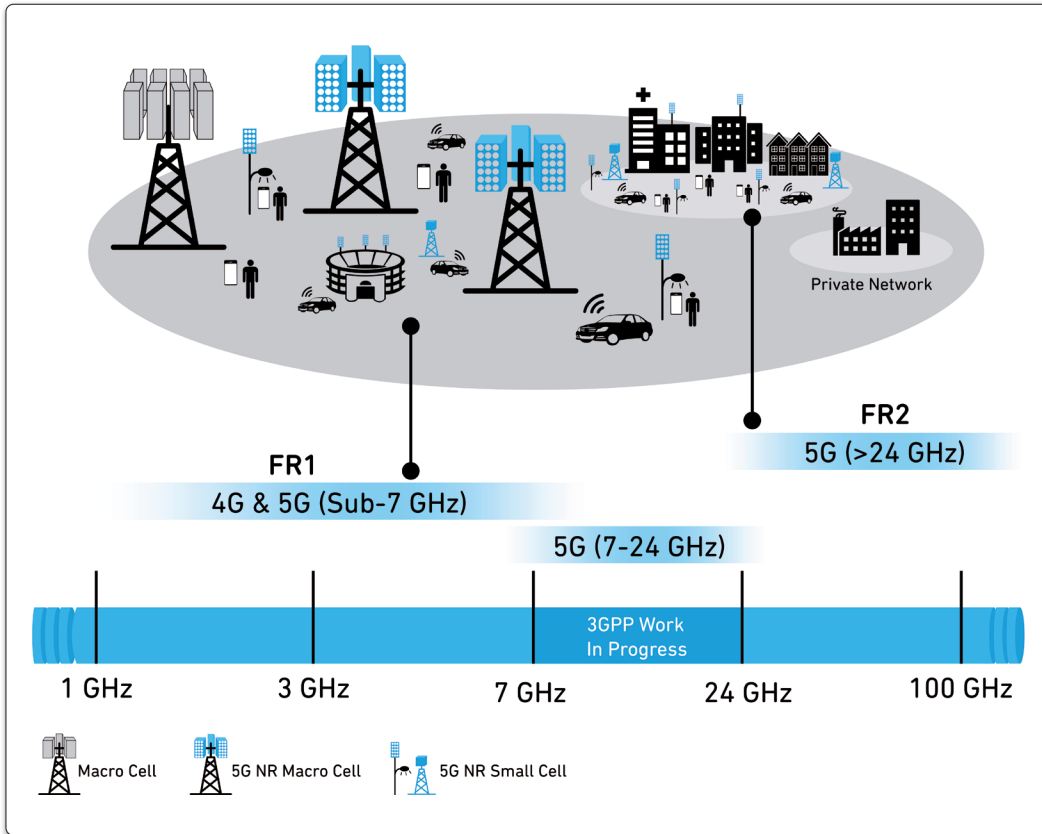


Das 5G-Frequenzspektrum und seine Nutzung

Unabhängig von der NSA- oder SA-Implementierung entwickelt sich die Nutzung des Frequenzspektrums für den 5G-Betrieb weiter.



Bildquelle: 5G RF For Dummies, 2. Qorvo Sonderausgabe, John Wiley & Sons, Inc.

Denn 5G hat insgesamt Fahrt aufgenommen. Und Westeuropa holt gegenüber Nordamerika und China mit großem Tempo auf, wie aus dem Ericsson Mobility Report hervorgeht: Bis Ende 2023 gehen die Experten von fast 150 Mio. 5G-Kunden in diesem Teil der Welt aus. Bislang liegt die Region Nordamerika vorn. Dort verfügt bereits mehr als ein Drittel aller Mobilfunkkunden über einen 5G-tauglichen Mobilfunkvertrag. Es folgen Nordostasien (34%) und die Region des Golfkooperationsrates (20%). Westeuropa kommt auf 11%. Bis Ende 2028 soll die Zahl der weltweiten 5G-Verträge auf 5 Mrd. steigen.

Zwei große Frequenzbereiche

In 5G 3GPP Release 15 sind die Betriebsfrequenzbänder in

zwei Bereiche unterteilt: Frequenzbereich 1 (Frequency Range 1, FR1) und Frequenzbereich 2 (FR2). FR1 wird als Sub-7-GHz-Bereich bezeichnet (Nutzung aktuell bis maximal 6 GHz) und FR2 ist der 5G-Millimeterwellenbereich. Unser Aufmacher informiert etwas näher. Hier lässt sich schon die schrittweise Einführung parallel zu 4G/LTE erkennen.

5G New Radio (NR) ist ein OFDM-basierter globaler Mobilfunkstandard. Diese Mobilfunktechnologie tritt die Nachfolge von 4G/LTE an und bietet deutlich höhere Datenraten und bessere Konnektivität. Während die Entwürfe für die Schichten im Schichtenmodell frequenzunabhängig sind, unterscheiden sich FR1 und FR2 bei den Testmethoden, bei der Trägeraggregation, bei

MIMO sowie beim Unterträger-Spacing.

FR1 besteht praktisch aus Frequenzbändern unter 6 GHz, die für 5G zugewiesen wurden. Diese Netze bieten zwar nicht die absolut beste 5G-Performance, aber ein gutes Gleichgewicht zwischen Reichweite und Leistung. FR2 bietet Betriebsfrequenzen, die für 5G im mmWave-Bereich (über 24 GHz) zugewiesen wurden. Diese Netze können Datenraten im Gigabit-Bereich oder sogar darüber bei extrem niedrigen Latenzzeiten erreichen.

Wie man in Tabelle 1 sieht, findet sich im Benennungsschema für 5G-Bänder ein n für New Radio gegenüber der 4G/LTE-Bezeichnung B für Band. Die für 5G NR verwendeten LTE-Bänder verwenden die gleiche

Bandnummer mit der Kennung n. Übrigens: Werden Frequenzbänder einer früheren Technologie durch eine folgende genutzt, spricht man von Re-Farming.

Die Bilder 1 und 2 machen deutlich, dass die beiden großen Frequenzbereiche in den verschiedenen Weltregionen recht unterschiedlich genutzt werden. Auch hier wird deutlich: 5G baut im Wesentlichen auf dem heutigen Spektrum auf. Da Funktechnologien je nach Frequenzband unterschiedlich funktionieren, eignen sich einige Bänder besser für bestimmte Anwendungsfälle als andere.

Beispielsweise ist es oberhalb von 7 GHz einfacher, 100 MHz oder mehr an zusammenhängender Bandbreite zu finden (aktuell um 24, 28 oder 39 GHz herum). Das ist wichtig für 5G, denn es ermöglicht Kanalbandbreiten von bis zu 400 MHz. Der Nachteil der Millimeterwellen oberhalb von 6 GHz liegt jedoch darin, dass die Ausbreitungsbedingungen bei diesen Frequenzen komplexer sind und dass oft freie Sicht zwischen Basisstation und Gerät bestehen muss. Diese Wellen erfordern einen hochgradig gerichteten Strahl und Massive-MIMO-Antennen, um Nutzer in Echtzeit zu verfolgen.

NSA (Non-Standalone) und SA (Standalone)

5G-Netze im Bereich 2 (FR2) sind relativ komplex und im Gesamtentwurf herausfordernd. Um den Betreibern die Anfangsphase der 5G-Einführung zu erleichtern, gibt es zwei Arten der 5G-Einführung, die weltweit umgesetzt werden:

- Non-Standalone (NSA)

Dies ist das Bereitstellungsmodell, bei dem 5G-Dienste ohne ein durchgängiges 5G-Netz bereitgestellt werden. Das

bedeutet, dass das Netz auf einer Infrastruktur der vorherigen Generation (4G LTE) aufbaut.

• Standalone (SA)

Dies ist das Modell, bei dem 5G-Dienste über ein durchgängiges 5G-Netz bereitgestellt werden. Es bietet Hochgeschwindigkeitsdaten, extrem niedrige Latenzzeiten und eine Vielzahl von Verbesserungen, die 5G zu einer revolutionären Technologie machen.

Weitere Unterteilung des Frequenzspektrums

Man kann das 5G-Spektrum aus zwei Blickwinkeln betrachten: die zugewiesenen Frequenzbänder und die Art der Lizenzierung der einzelnen Bänder (unlizenziert/lizenzfrei, lizenziert oder beides möglich).

Die 5G-Frequenzbänder lassen sich weiter in folgende drei Bereiche einteilen:

• Low-Band: 410 MHz bis 1 GHz

Das niedrigste Band ist gekennzeichnet durch begrenzte Kapazität, aber auch durch die Möglichkeit einer großen Flächenabdeckung und guter Innenraumdurchdringung. Die maximale Datenrate liegt bei 200 Mbit/s.

• Mid-Band: 1 bis 7 GHz

Das mittlere Band ist gut geeignet für den Einsatz in Städten und punktet mit erhöhter Kapazität. Die höchstmögliche Datenrate beträgt etwa 2 Gbit/s. Ein zusätzlicher Vorteil von Mid-Band-Implementierungen ist, dass Betreiber bestehenden 4G-Zellstandorten hinzufügen können, was Kosten spart.

• High-Band: 24 bis 100 GHz (mmWave)

Dieser Bereich erlaubt zwar nur eine begrenzte Abdeckung, hat aber das Potenzial für sehr hohe Kapazität. Die höchste Datenrate liegt bei 10 Gbit/s. Millimeterwellen sind optimal für kurze Reichweiten, niedrige Latenzzeiten und sehr hohe Übertragungskapazitäten, sprich Enhan-

Parameter	Frequency Range 1 (FR1)	Frequency Range 2 (FR2)
Also Known As	5G Sub-7 GHz	5G mmWave
Frequency Range	410-7,125 MHz (*includes n77, n78, n79) (reference: 3GPP: 38.101 v16.1.0)	24.25-52.6 GHz (**includes n257, n258, n259, n260, n261) (reference: 3GPP: 38.101 v16.1.0)
Transmission Bandwidths (CC)	5-100 MHz	50-400 MHz
Sub Carrier Spacing	15 kHz, 30 kHz, 60 kHz	60 kHz, 120 kHz, 240 kHz
Carrier Aggregation	Up to 16 carriers	Up to 16 carriers
Waveform & Modulation	CP-OFDM (UL/DL), DFT-s-OFDM (UL): QPSK, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM)	CP-OFDM (UL/DL), DFT-s-OFDM (UL): $\pi/2$ -BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM
MIMO	Up to 8 layers in DL, up to 4 layers in UL	Up to 8 layers in DL, up to 4 layers in UL
Deployment Applications	Macro cells/many mobile users/ long-range	Small cells/less users/Increased content/short-range
Challenges	Spatial multiplexing - delivers multiple parallel streams of data in same resource block	Beam steering for each mobile user
Spectral Efficiency	High, because of spatial multiplexing	Low spectral efficiency - less users and higher pathloss
Channel Characterization	Rich multi-path propagation	Few propagation pathways
Number of Simultaneous Users	Tens of users, large coverage area	Few users, small coverage area

***FR1**

Band	Downlink/Uplink (GHz)
n77	3.30-4.20
n78	3.30-3.80
n79	4.40-5.00

****FR2**

Band	Downlink/Uplink (GHz)
n257	26.50-29.50
n258	24.25-27.50
n259	39.50-43.50
n260	37.00-40.00
n261	27.50-28.35

Tabelle 1: Die Frequenzbereiche FR1 and FR2 näher spezifiziert

ced Mobile Broadband (eMBB). Die mmWave-Mobilfunknetze sind wie 4G-Kleinzellen konzipiert, da sie eine ähnliche Reichweite und Abdeckung bieten.

Während man die mmWave-Technologie noch weiterent-

wickeln muss, wird der Sub-7-GHz-Bereich in naher Zukunft die führende 5G-Netzwerktechnologie sein. Sub-7-GHz-Frequenzen sind sowohl für ländliche als auch für städtische Gebiete geeignet, da die Technologie über große Entfernungen

für viele Zwecke ausreichend große Datenraten liefern kann. Etwa die Bänder unter 2 GHz bieten eine hervorragende Abdeckung und Mobilität. Durch Trägeraggregation kann den Nutzern hier eine größere Bandbreite zur Verfügung gestellt werden. Diese

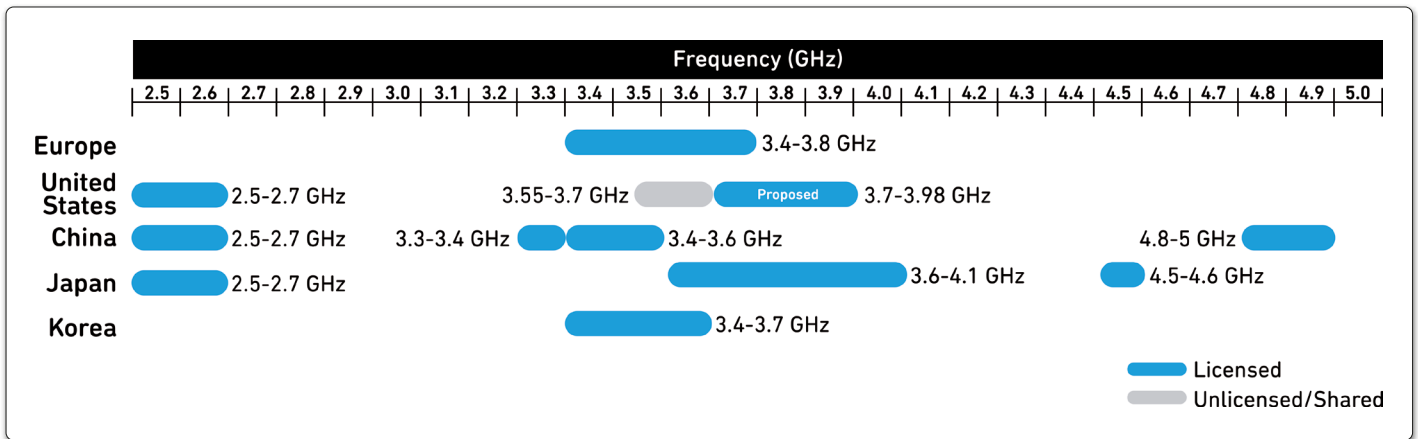


Bild 1: Globale 5G-Sub-7-GHz-Bandnutzung

Bänder eignen sich hervorragend für interaktive Kommunikation und Massive Machine Type Communications (mMTC). Dieses Spektrum eignet sich auch gut für die Verbreitung in Gebäuden.

Hauptanwendungsbereiche

Derzeit werden von den Telekommunikationsbetreibern verschiedene 5G-Frequenzbänder genutzt, die von unter 1 GHz bis zu 43 GHz reichen, wobei das 3GPP die Möglichkeit der Nutzung noch höherer Frequenzen prüft. Verschiedene Länder haben verschiedene 5G-Frequenzbänder versteigert, wobei der Mid-Band-Frequenzbereich n77 (3,3...4,2 GHz) weltweit am meisten für 5G genutzt wird.

Die mmWave-Bänder n257 (26,5...29,5 GHz), n258 (24,25...27,5 GHz) und n261 (27,5...28,35 GHz) werden innerhalb FR2 am häufigsten für 5G genutzt. Es zeigt sich immer

deutlicher, dass die mmWave-Frequenzbänder verstärkt genutzt werden, da immer mehr Telekommunikationsbetreiber das Standalone-5G-Modell (SA, im Gegensatz zu Non-Standalone, NSA) einführen werden.

Einige Länder haben auch Low-Band-Frequenzen (1...2 GHz) für die 5G-Einführung zugewiesen.

5G-Frequenzbänder rund um die Welt

Verschiedene asiatische Länder führen das 5G-Rennen mit einer weitverbreiteten Bereitstellung in den Mid-Band- und mmWave-Frequenzbändern an. Im Mid-Band-Bereich ist n78 (3,3...3,8 GHz) eines der meistgenutzten Frequenzbänder, während n257 (26,5...29,5 GHz) im mmWave-Bereich am weitesten verbreitet ist. In Ländern wie China, Japan, Südkorea und Taiwan gibt es bereits eine beträchtliche Anzahl von 5G-Abonnenten. Die dortigen Telekommunikationsbe-

treiber sind führende Technologietreiber.

Die Vereinigten Staaten arbeiten mit Hochdruck an der Einführung von 5G-Diensten in allen drei Main-Frequenzbändern. Hier wurden bereits Frequenzen zwischen 24 und 47 GHz versteigert, und weitere Versteigerungen sind in Vorbereitung. Die FCC plant außerdem, in Zukunft wesentlich höhere Frequenzen (im Bereich von 90 GHz) für die Bereitstellung von 5G-Diensten zu nutzen.

Das kanadische Ministerium für Innovation, Wissenschaft und wirtschaftliche Entwicklung ISED hat das 600-MHz-Band für die 5G-Einführung schon im Jahr 2019 und aktuell die Bänder 3,5, 26, 28 und 38 GHz.

Auch mehrere europäische Länder sind Vorreiter bei der Einführung von 5G. In Europa werden 5G-Dienste über Mittelbandfrequenzen eingeführt, insbeson-

dere über n78 (3,3...3,8 GHz). Einige Länder, wie Finnland, Italien und Norwegen, haben die höheren mmWave-Frequenzbänder schon versteigert, und andere Länder planen solche Auktionen.

Australien hatte bereits 2018 die Frequenzen im n78-Band 3575...3700 MHz versteigert. Die australische Kommunikations- und Medienbehörde ACMA hat für das 26-GHz-Band drei verschiedene Ansätze für die Zuweisung von Frequenzen für die 5G-Einführung vorgeschlagen.

In Südamerika steht die flächendeckende Einführung von 5G noch aus. Uruguay hat Frequenzen im 2,5-GHz- und im n261-Band (27,5...28,35 GHz) versteigert, während andere Länder davor stehen, Low-Band-, Mid-Band- und mmWave-Spektrum zu versteigern, um die 5G-Einführung in Ganz zu bringen.

FS

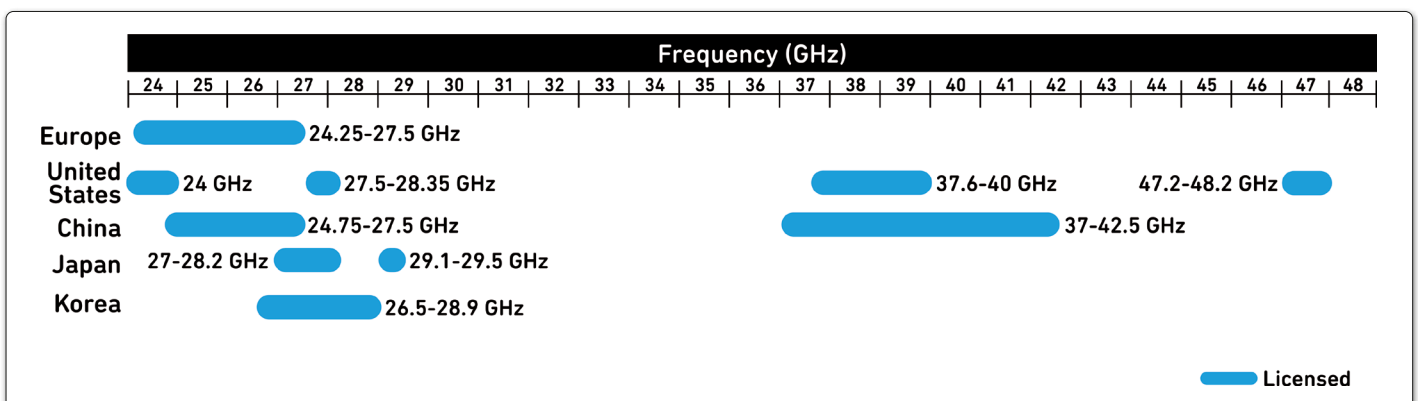


Bild 2: Globale 5G-mmWave-Bandnutzung