



5G Campusnetze in Deutschland: Aktuelle Lage und Nutzungspotenziale

Inhaltsverzeichnis

- 03** 1 Einleitung
- 04** 2 Vorteile der fünften Generation
 des Mobilfunkstandards
- 06** 3 Recht und Regulierung
- 07** 4 Optionen zur Implementierung
 von 5G-Campusnetzen
- 09** 5 Deutschland
 im internationalen Vergleich
- 11** 6 Beispiele für Anwendungsfälle
 von 5G-Campusnetzen
- 13** 7 Literaturverzeichnis



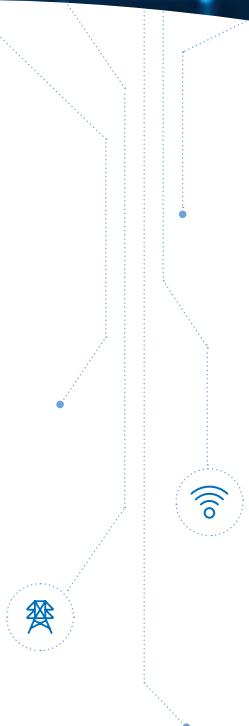
1 Einleitung

Die Entwicklung der fünften Generation des Mobilfunkstandards (5G) markierte einen Wendepunkt in der technologischen Entwicklung zahlreicher Branchen. Insbesondere für die vertikalen Industrien, wie die Fertigungsindustrie, Logistik oder das Gesundheitswesen, öffnen die niedrigeren Latenzen, höheren Datenraten und die erhöhte Verfügbarkeit ganz neue Anwendungsmöglichkeiten.

Eine zentrale Innovation in diesem Zusammenhang sind 5G-Campusnetze, die Unternehmen die Möglichkeit bieten, ein auf die eigenen Bedürfnisse maßgeschneidertes lokales 5G-Netz zu betreiben.

Dieses Whitepaper bietet eine umfassende Orientierungshilfe, um die Bedingungen und Möglichkeiten der 5G-Campusnetze optimal zu überblicken.

Behandelt werden regulatorische Aspekte, einschließlich der Frequenzvergabe für private, lokale Netze und der grundlegenden Beantragungsprozesse. Zudem wird die Entwicklung Deutschlands im internationalen Vergleich beleuchtet. Weiterhin bietet das Dokument einen Überblick über verschiedene Implementierungsoptionen. Abschließend werden konkrete Anwendungsfälle vorgestellt, die die Potenziale von 5G-Campusnetzen in der Praxis aufzeigen.





2 Vorteile der fünften Generation des Mobilfunkstandards

2015 veröffentlichte die International Telecommunication Union (ITU), eine Sonderorganisation der Vereinten Nationen, die Recommendation ITU-R M.2083-0, in der die für 5G-Systeme gewünschten Fähigkeiten definiert werden. Die definierten Fähigkeiten liefern dabei viele Verbesserungen im Vergleich zu 4G. So soll die mögliche Datenrate von 1 Gbit/s auf 20 Gbit/s ansteigen, die Latenz von 10 Millisekunden auf eine Millisekunde sinken und anstatt 100.000 bis zu 1.000.000 Geräte je Quadratkilometer verbunden werden können. Auch bei weiteren Faktoren wie der Energie- oder Spektrumseffizienz bietet 5G Verbesserungen im Vergleich zu 4G. Eine Übersicht über diese Verbesserungen lässt sich der Abbildung 1 entnehmen.

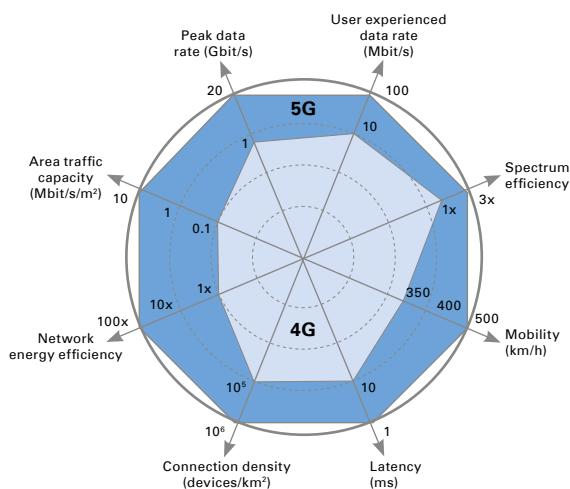


Abbildung 1:
Verbesserung von Schlüsselfähigkeiten von
4G (IMT-advanced) zu 5G (IMT-2020) [1, S. 14]

In der Recommendation werden dabei auch drei Nutzungs-szenarien definiert. Diese sind in ihrer maximalen Ausprä-gung in der Abbildung 2 dargestellt.

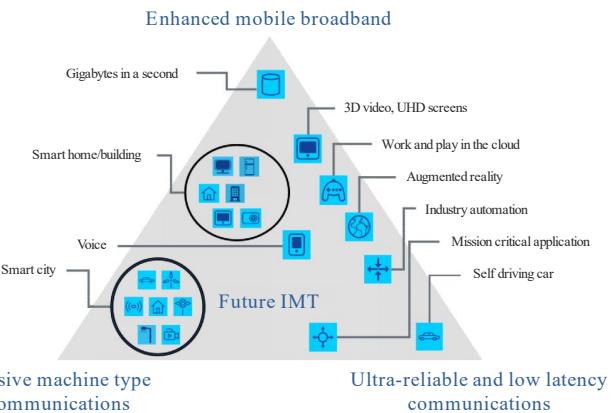


Abbildung 2:
Anwendungsszenarien 5G nach [1, S. 12]

Unter Enhanced Mobile Broadband (eMMB) fallen Anwen-dungen, die eine hohe Datenrate erfordern. Bei Ultra-re-liable and low latency communication (uRLLC) werden Fähigkeiten wie ein hoher Durchsatz, eine geringe Latenz und eine hohe Verfügbarkeit adressiert, während es bei Massive machine type communication (mMTC), um die Verbindung einer großen Anzahl an Geräten geht, die typischerweise wenig Daten, die nicht zeitkritisch sind, senden.



Wie auch schon bei den vorherigen Mobilfunkgenerationen, wurde auf Basis des ITU-Standards vom 3rd Generation Partnership Project (3GPP), einer Kooperation von Standardisierungsgremien in der Mobilfunkbranche, ein technischer Standard entwickelt. Dieser erfüllt die Anforderungen von IMT-2020 und wird von der ITU als 5G anerkannt.

Dieser technische Standard bietet neben den Vorteilen gegenüber 4G, auch im Vergleich zu weiteren Übertragungstechnologien wie WLAN oder LoRaWAN einige Vorteile. So sind mit 5G höhere Übertragungsraten und geringere Latenzen als mit WLAN oder LoRaWAN möglich. So können mit dem WLAN-Standard WiFi 6 nur Latenzen zwischen 1 und 5 Millisekunden und mit LoRaWAN nur zwischen 1 und 10 Sekunden erreicht werden [2].

Ebenfalls bietet 5G Vorteile bei der Übertragungssicherheit. So liegt die Verfügbarkeit von 5G-Campusnetzen bei strin- ger Auslegung bei 99,999999 % und selbst bei mode- rater Auslegung noch bei 99,9 % [3, S. 10]. Bei LoRaWAN und WLAN werden hingegen freie, ungeschützte Frequenz- bereiche genutzt, so dass externe Störquellen möglich sind und die Verfügbarkeit nicht garantiert werden kann.

Ein weiterer Vorteil von 5G gegenüber LoRaWAN und WLAN ist der Handover zwischen zwei Zellen. Für diesen gibt es sowohl in 4G als auch 5G Funktionen, die den reibungslosen Übergang zwischen zwei Zellen ermöglichen, während dieser Übergang bei LoRaWAN und WLAN länger dauern kann. So wären Fahrzeuge oder Roboter im WLAN oder LoRaWAN beim Zellwechsel für einen Moment nicht remote kontrollierbar oder würden sogar stehen bleiben [4]. Zusätzlich sind mit 5G größere Distanzen als mit WLAN überbrückbar, da 5G eine größere Sendeleistung nutzt [5, S. 26]. So sind mit 5G weniger Handover notwendig als bei WLAN, und es wird weniger Infrastruktur benötigt.

Ein Vorteil, den sich 5G mit den anderen erwähnten Kom- munikationstechnologien gegenüber kabelgebundenen Kommunikationsoptionen teilt, ist eben der Verzicht auf Ka- bel. Dadurch können Netze deutlich schneller und flexibler angepasst und erweitert werden.





3 Recht und Regulierung

Allgemein erfolgt die Frequenzzuweisung für verschiedene Funkübertragungen auf Basis internationaler Rahmenbedingungen und Empfehlungen. Diese werden durch die ITU, im Rahmen der alle vier Jahre stattfindenden World Radio-communication Conference (WRC) festgelegt. So wurden auf den WRC 2015 sowie 2019 auch neue Frequenzbereiche für den Mobilfunk und 5G bestimmt.

Diese Rahmenbedingungen werden anschließend durch die nationalen Regulierungsbehörden umgesetzt. In Deutschland ist dies die Bundesnetzagentur (BNetzA). Traditionell werden die Mobilfunkfrequenzen von den nationalen Regulierungsbehörden in Auktionen an die Mobilfunkbetreiber versteigert.

Parallel zu der Vorbereitung der Frequenzauktion für 5G, die vom 19. März 2019 bis zum 12. Juni 2019 stattfand, führte die BNetzA allerdings eine zusätzliche, neuartige Option ein. Neben der Auktion des Frequenzspektrums für die landesweite Nutzung durch die Mobilfunkbetreiber reservierte die Bundesnetzagentur 100 MHz im Bereich von 3,7 bis 3,8 GHz sowie den Frequenzbereich zwischen 24,25 und 27,5 GHz explizit für private, lokale Netze. Die Frequenzvergabe zwischen 3,7 und 3,8 GHz ist seit November 2019 möglich[6]. Seit Januar 2021 ist ebenfalls die Frequenzvergabe im Bereich von 24,25 bis 27,5 GHz möglich[7]. Diese neue Regelung eröffnet Unternehmen die Möglichkeit ihr eigenes Campusnetz unabhängig von den Mobilfunkbetreibern aufzubauen und an ihre eigenen Anforderungen anzupassen.[8]

Die Nutzung des Frequenzbereichs kann bei der Bundesnetzagentur beantragt werden. Im Antrag wird die Gebietszuteilung bzw. die Festsetzung der standortbezogenen Nutzungsparameter der Basisstationen festgestellt. Zusätzlich sind neben dem Frequenznutzungskonzept auch die Bestätigung der Antragsberechtigung anzugeben. Die Antragsberechtigung wird in Form einer Selbstauskunft festgestellt, welche die Fachkunde, Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit sowie die Rechte an dem Grundstück, auf dem das Campusnetz aufgebaut werden soll, festhält. Zusätzlich ist gegebenenfalls die Einreichung der abgeschlossenen Betreiberabsprachen und eines Auszugs aus dem Handelsregister notwendig [9, S. 4]. Dies beinhaltet

auch die Angabe des Grundstücks, auf dem das Campusnetz aufgebaut werden soll. Nur für dieses Grundstück ist die Frequenznutzung nach der Vergabe zulässig. Die Unterlagen sollen in elektronischer Form an die folgende E-Mail-Adresse gesendet werden:

226.lokalesbreitband@bnetza.de

Die bei Vergabe fällige Lizenzgebühr wird für den Frequenzbereich von 3,7 bis 3,8 GHz über die folgende Formel berechnet:

$$\text{Gebühr (in Euro)} = 1000 + B \cdot t \cdot 5 \cdot (6a_1 + a_2)$$

Für den Frequenzbereich von 24,25 bis 27,5 GHz wird die Gebühr über die folgende leicht abgeänderte Formel berechnet:

$$\text{Gebühr (in Euro)} = 1000 + B \cdot t \cdot 0,63 \cdot (6a_1 + a_2)$$

In beiden Frequenzbereichen fällt eine Grundgebühr von 1.000 Euro an. Darüber hinaus wird die Gebühr in Abhängigkeit von der Bandbreite (B, in MHz), der Laufzeit (t, in Jahren) und der geplanten Fläche des Netzes (a₁ und a₂, in km²) berechnet. Dabei wird zwischen Siedlungs- und Verkehrsflächen (a₁) und anderen Flächen (a₂) differenziert. Siedlungs- und Verkehrsflächen sind in den beiden Gebührenformeln teurer, da in diesen Bereichen in der Regel Grundstücke näher beieinander liegen und dichter bebaut sind. Dadurch ist die Wahrscheinlichkeit von lokalen Nachbarnutzungen, die eine Koordinierung erfordern und zu Einschränkungen führen könnten, höher. Bei der Bandbreite ist zu berücksichtigen, dass im Bereich von 3,7 bis 3,8 GHz die Vergabe in 10 MHz-Blöcken erfolgt und mindestens 10 MHz beantragt werden. Für den Bereich von 24,25 bis 27,5 GHz erfolgt die Vergabe hingegen in 200 MHz-Blöcken. Bei Bedarf sind aber auch 50, 100 oder 150 MHz möglich [9, S. 22], [10, S. 24].

Eine vollständige Übersicht der erforderlichen Unterlagen sowie weitere Informationen für die Beantragung der lokalen Frequenznutzung lässt sich der folgenden Webseite entnehmen:

<https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Frequenzen/OeffentlicheNetze/LokaleNetze/lokalenetze-node.html>



4 Optionen zur Implementierung von 5G-Campusnetzen

Für den Aufbau von Campusnetzen stehen verschiedene Optionen zur Verfügung. Eine Möglichkeit ist der Aufbau eines eigenen Campusnetzes unter der Nutzung der von der BNetzA für lokale Netze reservierten Frequenzen. Die andere Option besteht in der Kooperation mit einem öffentlichen Mobilfunkbetreiber, der mit Hilfe seiner eigenen Frequenzen ein Campusnetz mittels Slicing, der virtuellen Reservierung eines Frequenzbereichs des Mobilfunkbetreibers für einen spezifischen Nutzenden, aufbaut. Die Vor- und Nachteile der beiden Varianten werden im Folgenden näher beleuchtet. Darüber hinaus bestehen auch verschiedene Möglichkeiten diese beiden Optionen zu kombinieren.

EIGENBETRIEB

Beim Aufbau eines eigenen Campusnetzes entstehen dem Nutzenden zunächst hohe Kosten für die Anschaffung der benötigten Hardware. Da der Nutzende des Campusnetzes bei dieser Variante den Aufbau und Betrieb des Netzes selbst organisieren muss, benötigt er außerdem in seinem Unternehmen umfassende Kompetenzen für den komplexen Aufbau eines Campusnetzes und die Integration in bestehende OT- und IT-Lösungen. Alternativ kann ein Dienstleister beauftragt werden, der die Verwaltung des Campusnetzes betreut.

Vorteilhaft bei dem Aufbau des Netzes im Eigenbetrieb ist die höhere Flexibilität, da das Netz individuell auf eigene Bedürfnisse angepasst werden kann und mehr Freiheit bei der Auswahl von Hard- und Softwareanbietern besteht. Durch die Verarbeitung im eigenen Netzwerk kann zudem ein sehr hohes Maß an Datensicherheit gewährleistet werden. Aufgrund der lokalen Verarbeitung können zudem sehr geringe Latenzen erreicht werden.

Darüber hinaus kann ein eigenes Netz auch an Orten aufgebaut werden, an denen kein öffentlicher Mobilfunk verfügbar ist.

Laut einer Umfrage aus dem Jahr 2025, die sich an Unternehmen aus der Telekommunikationsbranche und somit an potenzielle Anbieter von Campusnetzen richtete, wurde die verbesserte Sicherheit und Datenschutz als wichtigsten Vorteil von Campusnetzen genannt. Weitere genannte Vorteile sind die bessere Latenz für Echtzeit-Anwendungen, hohe Datenraten und Kapazitäten sowie die höhere Zuverlässigkeit. In derselben Umfrage wurde allerdings als größtes Hindernis für den Aufbau privater Campusnetzen die hohen Kosten für den Aufbau angesehen. Weitere Hindernisse sind die Integration in bestehende Systeme, fehlende Inhouse-Erfahrungen sowie Zweifel am Return of Invest. Bei der Bewertung der Umfrage ist zu beachten, dass Mobilfunknetzbetreiber ein wirtschaftliches Interesse am Verkauf von Campusnetzen über Slicing haben und nicht primär an privaten Campusnetzen. [11, S. 7f]





SLICING

Die Nutzung des öffentlichen Mobilfunk für den Aufbau eines Campusnetzes ist über das sogenannte Slicing möglich. Dabei wird virtuell ein spezifischer Bereich aus dem Frequenzspektrum des Mobilfunkbetreibers reserviert und ausschließlich dem Campusnetznutzenden zur Verfügung gestellt. Dieser Slice kann auf die individuellen Bedürfnisse angepasst werden. Diese Version eines Campusnetzes ist allerdings nur an Standorten mit Mobilfunkabdeckung möglich.

Vorteilhaft für den Campusnetznutzenden ist, dass keine Investitionen in die Hardware für das Netzwerk notwendig sind, da das bereits bestehende Netz des Mobilfunkbetreibers genutzt wird. Infolgedessen benötigt der Nutzende auch weniger Kompetenzen mit Bezug zu dem Aufbau und Betrieb von Campusnetzen.

Da das Campusnetz aber über die Infrastruktur des Mobilfunkbetreibers betrieben wird, verlassen die Daten auch den Campus, so dass die Datensicherheit im Vergleich zu den selbst betriebenen Campusnetzen reduziert sein kann. Der Mobilfunkbetreiber besitzt jedoch technische Möglichkeiten den Datenverkehr des Campusnetzes getrennt vom öffentlichen Datenverkehr zu verarbeiten [8, S. 25].

Aufgrund der größeren Distanz der Hardware und der Rechenzentren bringt die Variante potenzielle Einschränkungen in Bezug auf die Latenz mit sich, da die Daten über größere Entfernung transportiert werden. Zusätzlich findet die Datenverarbeitung auf der Hardware des Mobilfunkbetreibers statt, so dass auch hier Verzögerungen durch mögliche Überlastungen entstehen können.

HYBRIDE OPTIONEN

Eine zusätzliche Möglichkeit besteht im Aufbau eines hybriden Netzes, in dem Teile der Funktionen im eigenen Netz betrieben werden, während andere über den öffentlichen Mobilfunk laufen. Dies bietet die Möglichkeit die Vorteile der beiden Varianten zu verbinden. Beispielsweise können die Daten lokal auf der Hardware des Campusnetzbetreibers verbleiben, wodurch die Datensicherheit steigt und die Latenz aufgrund der lokalen Verarbeitung niedrig ist, gleichzeitig aber auch die Investitionskosten gering bleiben, da weniger Hardware selbst aufgebaut werden muss. Es gibt verschiedene Formen der hybriden Campusnetze, die sich darin unterscheiden, welche Funktionen von der lokalen Hardware übernommen werden. So ist es möglich, dass auch Funktionen des Core-Netzes von der lokalen Hardware übernommen werden [8, S. 25f].



5 Deutschland im internationalen Vergleich

Mit der Freigabe des Frequenzbereichs von 3,7 bis 3,8 GHz für 5G-Campusnetze ist Deutschland internationaler Vorreiter bei der lokalen Frequenzvergabe.

Nachdem Deutschland die Möglichkeit der Frequenzvergabe für räumlich begrenzte, private Netze geschaffen hatte, folgten dem Beispiel auch weitere Länder. In einer 2024 durchgeföhrten Umfragen an europäische Regulierungsbehörden, gaben die Behörden aus 18 Ländern an, dass in ihrem Land ein dedizierter Frequenzbereich für die Nutzung durch Campusnetze vorhanden ist [5, S. 33].

Auch weltweit haben andere Länder, wie Japan oder die USA lokale Lizenzierungsmöglichkeiten etabliert. Auch in China wurde 2022 eine erste Lizenz für ein privates Campusnetz vergeben. In vielen weiteren Ländern wurden allerdings keine Frequenzen für die lokale Nutzung reserviert. [14, S. 45ff]

Eine Übersicht der Frequenzen zur lokalen Nutzung in einigen Ländern lässt sich der Abbildung 3 entnehmen [8, S. 40f].

Frequenzzuweisung (Heute/geplant*)	Land/Region	GHz	1	2	3	4	5	6	24	28	40	60	70
Niedere Frequenzlage Mittlere Frequenzlage Hohe Frequenzlage Sehr hohe Frequenzlage													
	EU	700 MHz			3,4–3,8 GHz		5,9–6,4 GHz		24,5–27,5 GHz				
700, 1900, 2100 MHz; 3,4 – 3,7,3,8 GHz	Deutschland	700 MHz	2100 MHz		3,4–3,7,3,7–3,8 GHz				24,2–27,5 GHz				
700 MHz; 3,46 – 3,8 GHz*; 26 GHz*	Frankreich	700 MHz	2,575–2,615 GHz		3,46–3,8 GHz				24,2–27,5 GHz				
700 MHz; 3,46 – 3,8 GHz; 26,5 – 27,5 GHz	Italien	700 MHz			3,6–3,8 GHz				26,5–27,5 GHz				
2,3 GHz; 3,4 – 3,6 GHz; 700 MHz*; 3,6 – 3,8 GHz*	Großbritannien	700 MHz	1400 MHz		3,4–3,8/3,8–4,2 GHz				24,2–26,5 GHz				
600 MHz; 2,5 GHz; 24, 28, 37 GHz; 39 GHz; 47 GHz; 3,5 GHz*; 3,7 GHz*	USA	600 MHz, 850 MHz	1,9 GHz	2,5 GHz	3,55–3,7/3,7–4,2 GHz		5,9–7,1 GHz		24,2–25,2 GHz	27,5–28,3 GHz	37–37,6/37,6–40 GHz		64–71 GHz
700 MHz; 3,4 – 3,7 GHz; 26,5 – 29,5 GHz	Südkorea	700 MHz			3,4–3,7 GHz		4,72–4,82 GHz			26,5–29,5 GHz			
3,6 – 4,2 GHz; 4,4 – 4,5, 4,5 – 5 GHz*; 27,4 – 29,5 GHz	Japan				3,6–4,2 GHz		4,4–4,5/4,5–5 GHz			27,4–29,5 GHz			
2,5 – 2,6 GHz; 3,4 – 3,6 GHz; 4,8 – 5 GHz; 24,5 – 27,5 GHz; 37,5 – 42,5 GHz	China		2,5–2,6 GHz	3,3–3,6 GHz		4,8–5 GHz			24,5–27,5 GHz		37,5–42,5 GHz		

↔ lizenzierte Frequenz ↔ lizenzierte Frequenz, zukünftige Nutzung ← nicht lizenzierte Frequenzen — lokale Frequenz, lokale Nutzung

Quelle: IC4F-Konsortium

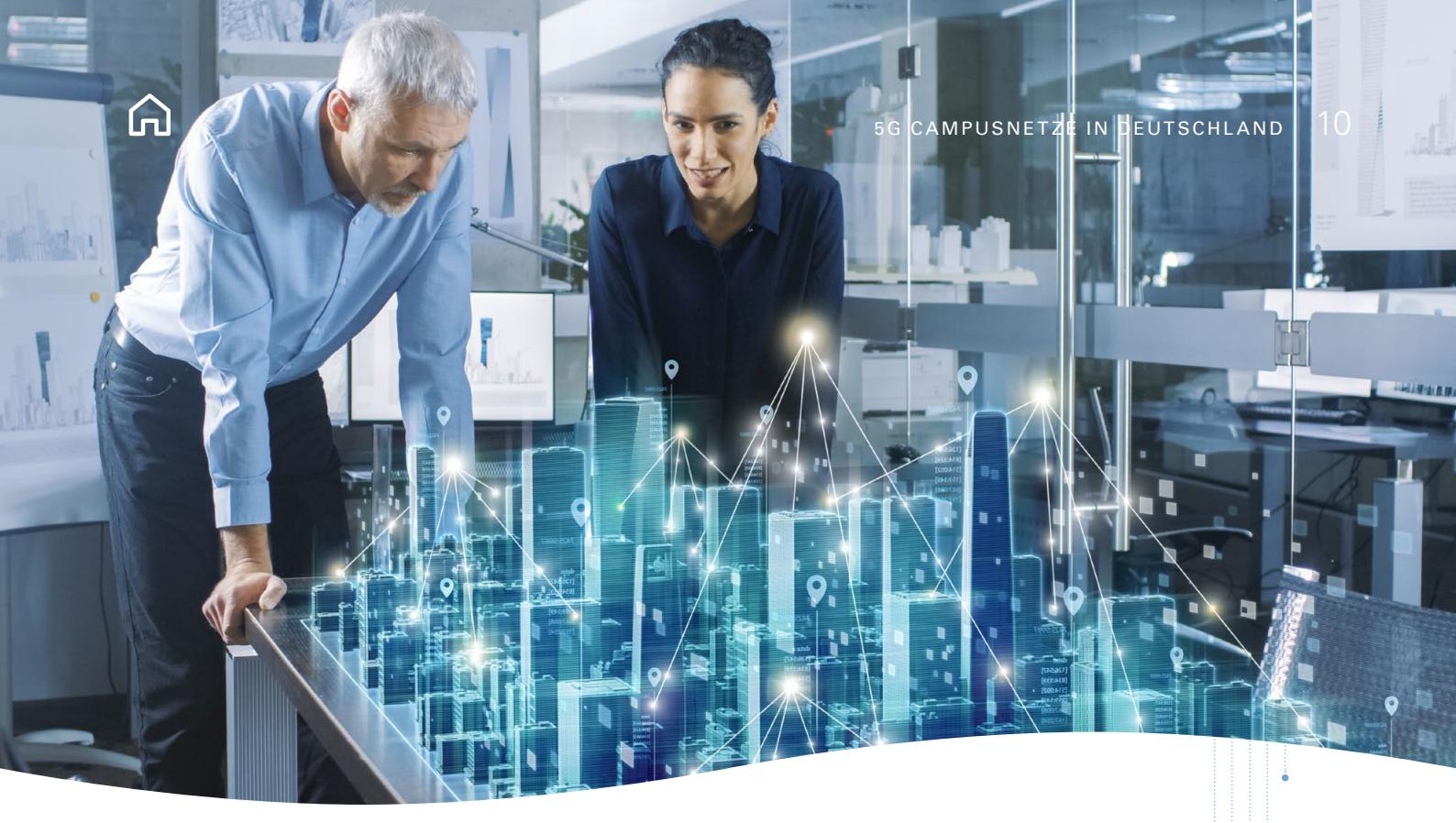
weitere Informationen auf <https://gsacom.com/>

Abbildung 3: Globaler Blick auf 5G-Frequenzen nach [8, p. 40f] erweitert auf Grundlage öffentlicher Informationen zu Frequenzen für die lokale Nutzung

Doch auch in Ländern, in denen keine lokale Frequenzvergabe ermöglicht wurde, gibt es teilweise 5G-Campusnetze, die in Kooperation mit den Mobilfunkbetreibern aufgebaut wurden. So gibt es mittlerweile in rund 80 Ländern Campusnetze [15, S. 6].

Trotz der zunehmenden Verbreitung von Campusnetzen behält Deutschland weiterhin die führende Position in Europa bei der Anzahl der Campusnetze. Zeitgleich hat Europa, im September 2024 mit einem Anteil von 39 % der weltweiten Campusnetze den größten Anteil gefolgt von Nordamerika mit einem Anteil von 28 % und Asien-Pazifik mit einem Anteil von 18 %. Die restlichen Campusnetze verteilen sich auf Lateinamerika und die Karibik mit 6 %, Ozeanien mit 4 %, dem Mittleren Osten mit 3 % und Afrika mit 2 %. [16, S. 6]

Dabei ist zu beachten, dass die GSA in ihrer Aufzählung nur Campusnetze mit Installationskosten von über 50.000 Euro berücksichtigt [17, S. 8]. Es ist allerdings durchaus möglich Campusnetze auch für weniger als 50.000 Euro aufzubauen. Aus diesem Grund ist die Anzahl der von der GSA erfassten Campusnetze in Deutschland deutlich geringer als die Anzahl der von der BNetzA vergebenen Lizenzen.



Bis April 2025 wurden in Deutschland für den Frequenzbereich von 3,7 bis 3,8 GHz insgesamt 465 Anträge auf Frequenzzuteilung für lokale 5G-Netze gestellt und durch die BNetzA erteilt. Wie in der Abbildung 4 dargestellt, verteilt sich der Großteil dieser Campusnetze auf die Branchen Gesellschaft/Forschung/Entwicklung mit 31 % der Zuteilungen und Telekommunikation/IT/Dienstleistung mit 27 %. [12, S. 1]

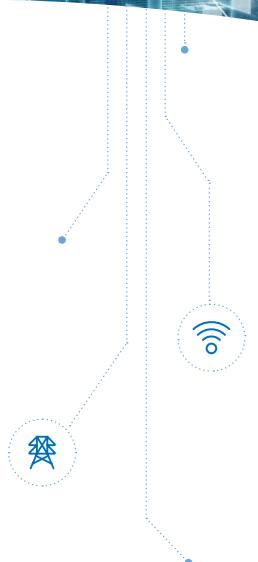


Abbildung 4: Anteil der Frequenzzuteilung nach Branchen (in %) nach [12, S. 1]

Im Frequenzbereich von 24,25 bis 27,5 GHz hingegen wurden bis April 2025 in Deutschland 24 Frequenzzuteilungen für die lokale Nutzung beantragt und von der BNetzA erteilt [13, S. 1].

Damit wird das geschätzte Potenzial von 5.000 bis 10.000 5G-Campusnetzen in Deutschland bis 2025, das Nokia auf Basis der produzierenden Industriebetriebe in Deutschland mit mehr als 250 Mitarbeitenden berechnet hat, noch deutlich verfehlt [8, S. 12].



6 Beispiele für Anwendungsfälle von 5G-Campusnetzen

Die im Kapitel 2 beschriebenen Vorteile von 5G-Campusnetzen können in vielen verschiedenen Anwendungsbereichen einen Mehrwert bieten. Mit der Zunahme von Digitalisierung und Automatisierung werden sich diese möglichen Einsatzgebiete dabei in Zukunft noch erweitern. Einige dieser Anwendungsbeispiele werden im Folgenden betrachtet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die dargestellten Beispiele nur eine kleine Auswahl der möglichen Anwendungsfälle darstellen. So wurden in einer Umfrage an die europäischen Regulierungsbehörden unter anderem Anwendungsgebiete wie die Logistik an Häfen und Flughäfen, Produktion in der Automobil- und Chemieindustrie, der Energie sektor, Bergbau, Land- und Fortwirtschaft sowie das Gesundheitswesen genannt [5, S. 22].

Durch die hohen Anforderungen dieser Anwendungsszenarien an Latenz, Bandbreite, Zuverlässigkeit und Datenschutz kommen für die meisten der im Folgenden betrachteten Anwendungen keine öffentlichen Mobilfunknetze in Betracht.

INTRALOGISTIK

Auf großen Werksgeländen oder in Hafenanlagen kann der Warentransport über Transportsysteme ablaufen, die remote gesteuert werden oder komplett führerlos fahren. Im Falle von autonomen Fahrzeugen, kann über einen Server eine Schwarmsteuerung erfolgen und Prozesse, wie die Routenberechnung dort zentralisiert ausgeführt werden. Um das Transportsystem mit dem Fahrer oder dem Server zu verbinden, muss über das gesamte Einsatzgebiet ein Kommunikationsnetz aufgebaut werden. Auf weitreichenden Flächen ist dabei mehr als eine Antenne notwendig. Beim Übergang zwischen den einzelnen Antennenbereichen muss ein nahtloser Handover geschehen. Ansonsten würde das Transportsystem beim Wechsel zwischen den Zellen kurz stehen bleiben oder wäre nicht steuerbar. Dieser nahtlose Handover ist mit 5G möglich. Bei der Steuerung einer Fahrzeugflotte punktet 5G ebenfalls mit der geringen Latenz, durch die die Fahrzeuge schnell aufeinander reagieren und Routen angepasst werden können. [4] [18]

INDUSTRIE 4.0

Zur Überwachung von Produktionsmaschinen, können diese mit einer Vielzahl an Sensoren ausgestattet werden. Die Sensordaten können an einen Server übertragen und dort analysiert werden. So können mögliche Probleme schneller erkannt und gewartet werden, so dass es nicht zu längeren Ausfällen der Maschinen kommt. Ebenfalls können mit Hilfe der Sensordaten Produktionsprozesse gesteuert und optimiert werden [18]. [8, S. 14]

Gerade bei kritischen Prozessen, in denen schon kurze Ausfälle zu höheren Umsatzverlusten führen können, spielt die Zuverlässigkeit von 5G eine Rolle, so dass eine lückenlose Überwachung der Sensoren sowie möglicher Automatisierungen ermöglicht wird [19].

Ebenfalls können mit hochauflösenden Kamerasystemen die Qualität von Produkten während des Herstellungsprozesses überwacht werden. Die Übertragung der Videodaten von einer Vielzahl an Kameras ermöglicht 5G dabei durch seine hohe Datenrate. [8, S. 14]





Auch könnten in der Industrie Mitarbeitende mit Augmented-Reality-Brillen ausgestattet werden, um sie beispielsweise in den Arbeitsprozessen zu unterstützen. Die Mitarbeitenden könnten dabei Informationen zu der Reihenfolge der Arbeitsschritte sowie nützliche Hinweise auf die Augmented-Reality-Brille gespielt bekommen. Ebenfalls könnte über die Brille Experten hinzugeschaltet werden, die dann aus der Ferne unterstützen können. Die hohen Datenraten von 5G ermöglichen dabei die Übertragung und Verarbeitung der hochauflösenden Videodaten sowie deren Ergänzung um weitere Informationen. [18]

SMART CITY

Für Smart Cities können Sensornetze in verschiedenen Anwendungsfällen eine Rolle spielen. So könnten beispielsweise smarte Mülleimer mit Sensoren ausgestattet werden, um den Füllstand zu kontrollieren und die Entleerungszeiträume flexibel auf die Füllstände anzupassen. Außerdem könnten auch Parkplätze mit Sensoren ausgestattet werden, um ein Parkleitsystem aufzubauen, dass Besucher zu freien Parkplätzen führt. Eine weitere Einsatzmöglichkeit wäre die Messung der Luftqualität und die darauf folgende Anpassung von Verkehrsströmen je nach Lufitreinheit. Auch hier bietet 5G den Vorteil, viele Geräte verbinden zu können.

SICHERHEIT

Viele Häfen, Baustellen oder Industrieanlagen werden mit Kameras überwacht, um Einbrüche zu verhindern. Die Nutzung von 5G ermöglicht dabei die Übertragung von hochauflösenden Videodaten an eine zentrale Kontrollstation.

MEDIEN

Bei Liveübertragungen wie bei großen Sportereignissen werden viele Kameras genutzt, um das Ereignis aus verschiedenen Blickwinkeln aufzunehmen. Da wenig Zeit für die Nachbearbeitung der Bilder besteht, müssen die Videos zusätzlich in sehr hoher Qualität aufgenommen werden. 5G ermöglicht hier die Übertragung von vielen Videostreams mit hoher Qualität zur gleichen Zeit. Bei Live-Übertragungen kommt es auf möglichst geringen Verzögerungen, so dass die geringen Latenzen von 5G von Relevanz sind. [5, S. 24]

BERGBAU

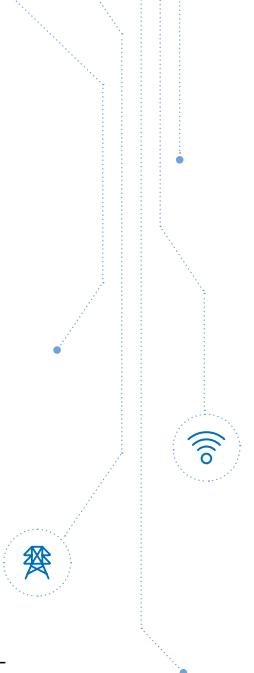
Im Bergbau könnten autonome Fahrzeuge die abgebauten Materialien transportieren. Aufgrund der Größe der Fahrzeuge ist dabei eine zuverlässige Kommunikationsverbindung notwendig, damit die Fahrzeuge durchgängig ansteuerbar sind. Dies kann 5G mit seiner hohen Zuverlässigkeit liefern. Da Bergbauflächen sich häufig über größere Distanzen erstrecken bringt 5G ebenfalls den Vorteil mit, dass es größere Distanzen überwinden kann. Da Bergbauflächen oft auch abgelegener sind, ist die Möglichkeit 5G-Campusnetze ohne Anbindung an das Internet zu betreiben von Relevanz, so dass nicht zusätzlich noch Glasfaser oder eine externe 5G-Infrastruktur notwendig sind. [5, S. 25]

eHEALTH

Remote gesteuerte oder autonome Roboter können in verschiedenen Prozessen in der Medizin unterstützen. Diese können bis in den Operationssaal gehen. Da in diesen Einsatzgebieten potenziell Menschenleben in Gefahr sind, ist eine zuverlässige Verbindung mit geringer Latenz, wie sie 5G bietet von besonderer Relevanz.

7 Literaturverzeichnis

- [1] International Telecommunication Union, „Recommendation ITU-R M.2083-0,” 2015.
- [2] axians, „Was unterscheidet 5G, WLAN und LoRa-WAN?,” 14 09 2023. [Online]. Available: <https://www.axians.de/news/was-unterscheidet-5g-wlan-und-lorawan/>.
- [3] 5G-ACIA, „5G Non-Public Networks for Industrial Scenarios,” 2019.
- [4] Deutsche Telekom AG, „5G Technologie in industriellen Campus-Netzen,” [Online]. Available: <https://www.telekom.com/de/konzern/details/5g-technologie-in-campus-netzen-556690>.
- [5] BEREC, „BEREC Report on the evolution of private 5G networks and interrelation with public networks in Europe,” 2025.
- [6] Bundesnetzagentur, „Präsident Homann: „Wir fördern 5G-Campusnetze zur Stärkung des Industriestandorts Deutschlands”,“ 2022. [Online]. Available: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2022/20220223_Campusnetze.html.
- [7] 5G.NRW Competence Center, „1 Jahr 5G Campusnetzplaner,” 05 02 2021. [Online]. Available: <https://5g.nrw/1-jahr-5g-campusnetzplaner/>.
- [8] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Leitfaden 5G-Campusnetze - Orientierungshilfe für kleine und mittelständische Unternehmen, Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2020.
- [9] Bundesnetzagentur, „Verwaltungsvorschrift für Frequenzzuteilung für lokale Frequenznutzungen im Frequenzbereich 3.700-3.800 MHz,” 2023.
- [10] Bundesnetzagentur, „Verwaltungsvorschrift für Frequenzzuteilung für lokale, breitbandige Frequenznutzungen im Frequenzbereich 24,25–27,5 GHz,” 2023.
- [11] Fierce Network Reserch, „The State of 5G - Telco Leaders share insights on enterprise demand, AI and other market trends,” 2025.
- [12] Bundesnetzagentur, „Übersicht der Zuteilungsinhaber für Frequenzzuteilung für lokale Frequenznutzung - Frequenzbereich 3.700-3.800 MHz - April 2025,” 2025.
- [13] Bundesnetzagentur, „Übersicht der Zuteilungsinhaber für Frequenzzuteilungen für lokale, breitbandige Frequenznutzungen - Frequenzbereich 25.250-27.500 MHz - April 2025,” 2025.
- [14] 5G Observatory, „5G Observatory Biannual Report - Report of June 2024,” 2024.
- [15] GSA, „Private Mobile Networks - December 2024,” 2024.
- [16] GSA, „Region Spotlight Europe,” 2024.
- [17] DLR Projekträger, „Monitoring: Campusnetze - 3. Quartal 2024,” 2024.
- [18] mi connect, „Welche IoT-Einsatz-Szenarien für 5G-Campusnetze möglich sind,” 16 07 2019. [Online]. Available: <https://www.produktion.de/digital-manufacturing/welche-iot-einsatz-szenarien-fuer-5g-campusnetze-moeglich-sind-108.html>.
- [19] ABIresearch, „Manufacturing Industry Will Reach 108 Million Private Cellular IoT Connections in 2030 As IoT Markets Show Healthy Growth in Private Cellular Networks,” 24 April 2024. [Online]. Available: <https://www.abiresearch.com/press/manufacturing-industry-will-reach-108-million-private-cellular-iot-connections-in-2030-as-iot-markets-show-healthy-growth-in-private-cellular-networks>.
- [20] DECT Forum, „New 5G standard for professional IoT applications,” [Online]. Available: https://www.dect.org/userfiles/file/A.%20Current%20Documents/NRplus/DF_New-5G-Standard-for-IoT-Applications.pdf.
- [21] Radio Spectrum Policy Group, „RSPG23-040 FINAL,” 2023.



TÜV Rheinland Forschungs- und Innovationsmanagement sorgt dafür, dass Fortschritt im Zusammenspiel von Mensch, Technik und Umwelt sicher und erfolgreich gelingt.

Seit über 50 Jahren begleiten wir dazu die Bundesregierung sowie Landesregierungen und EU als Dienstleister. In unserer Rolle als beliebter Projektträger, Projektmanager und Begleitforscher unterstützen wir bei der resilienten Transformation von Mobilität, Verkehr, digitaler Infrastruktur, Energie, Bauen und Stadtentwicklung.

TÜV Rheinland Forschungs- und
Innovationsmanagement GmbH

Am Grauen Stein
51105 Köln
Tel.: +49 (0)221 806-5521
E-Mail: TRFI@tuv.com
<https://www.linkedin.com/showcase/tuv-rheinland-forschungs-und-innovationsmanagement>

www.tuv.com/TRFI