

Nett, Lorenz; Sörries, Bernd

Research Report

Diffusion von 5G-Campusnetzen in Deutschland

WIK-Consult Bericht

Provided in Cooperation with:

WIK Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH, Bad Honnef

Suggested Citation: Nett, Lorenz; Sörries, Bernd (2023) : Diffusion von 5G-Campusnetzen in Deutschland, WIK-Consult Bericht, WIK-Consult GmbH, Bad Honnef

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/273157>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

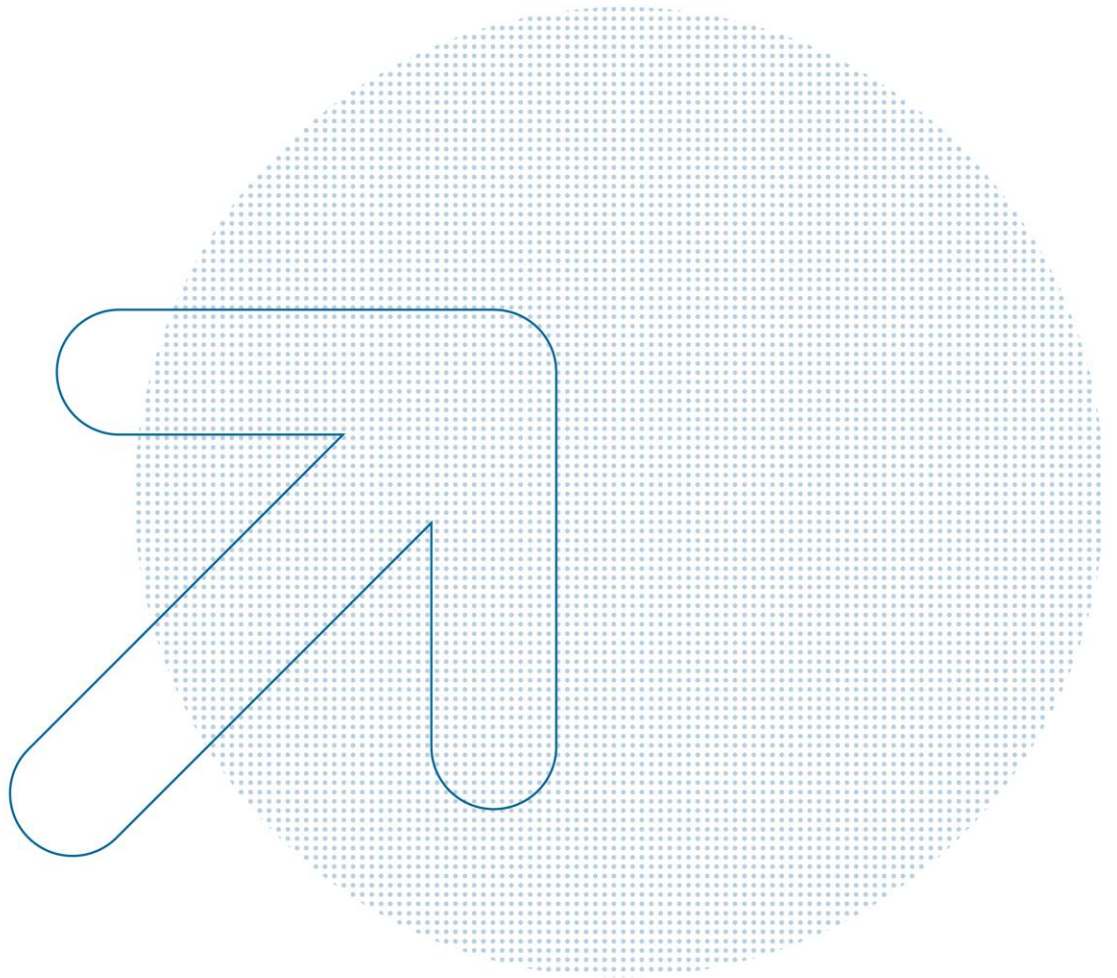
Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



Diffusion von 5G-Campusnetzen in Deutschland

Autoren:
Dr. Lorenz Nett
Dr. Bernd Sörries

Impressum

WIK-Consult GmbH
Rhöndorfer Str. 68
53604 Bad Honnef
Deutschland
Tel.: +49 2224 9225-0
Fax: +49 2224 9225-63
E-Mail: info@wik-consult.com
www.wik-consult.com

Vertretungs- und zeichnungsberechtigte Personen

Geschäftsführerin	Dr. Cara Schwarz-Schilling
Direktor	Alex Kalevi Dieke
Direktor Abteilungsleiter Netze und Kosten	Dr. Thomas Plückebaum
Direktor Abteilungsleiter Regulierung und Wettbewerb	Dr. Bernd Sörries
Leiter der Verwaltung	Karl-Hubert Strüver
Vorsitzender des Aufsichtsrates	Dr. Thomas Solbach
Handelsregister	Amtsgericht Siegburg, HRB 7043
Steuer-Nr.	222/5751/0926
Umsatzsteueridentifikations-Nr.	DE 329 763 261

Stand: August 2022

Inhaltsverzeichnis

Abbildungen	I
1 Einleitung	1
2 Frequenzregulierung in Deutschland mit Blick auf 5G-Campusnetze	1
3 Motivation und die Möglichkeiten der Errichtung von 5G-Campusnetzen	2
4 5G-Campusnetze – Aktueller Stand	5
5 Die Bedeutung der Standardisierung zur Entwicklung von 5G-Campusnetz-Equipment	6
6 Gegenwärtige Kategorisierung der Kommunikationsverbindungen für IoT bei der Entwicklung von 5G-Campusnetzlösungen	8
7 Diffusion von 5G-Campusnetzen in KMU von volkswirtschaftlicher Bedeutung	10
8 Fazit	11

Abbildungen

Abbildung 1:	Neue Anwendungen durch 5G-Campusnetze	3
Abbildung 2:	Möglichkeiten der Errichtung von 5G-Campusnetzen	4
Abbildung 3:	Bedeutung von Release 17 für IoT-Anwendungen	6
Abbildung 4:	Leistungsanforderungen unterschiedlicher IoT-Anwendungen an das 5G-Campusnetz	9

1 Einleitung

Die 5. Mobilfunkgeneration (5G) ist ein Funkstandard, der für eine Vielzahl von digitalen Funkdiensten nutzbar sein wird.¹ 5G bietet die Option, die digitale Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft in Deutschland maßgeblich zu unterstützen. Parallel zu öffentlichen Mobilfunknetzen werden Telekommunikationsdienste auf Basis von 5G in Campusnetzen realisiert. Der Aufbau und Betrieb von Campusnetzen geschieht aktuell in einer Vielzahl von Projekten mit einem industriellen Hintergrund.

Dieser Beitrag wird im Folgenden aktuelle Entwicklungen bei Campusnetzen aufzeigen. Die Ausführungen basieren u. a. auf Erkenntnissen des 5Guarantee-Projekts, das vom Land Nordrhein-Westfalen unterstützt wird.

2 Frequenzregulierung in Deutschland mit Blick auf 5G-Campusnetze

Aktuelle Situation

Essenziell für die Errichtung und den Betrieb von 5G-Campusnetzen ist die Nutzbarkeit von Frequenzen. Die Bundesnetzagentur hat dies frühzeitig erkannt und in ihrer Frequenzregulierung umgesetzt. Bei der Vergabe von Frequenzen im Bereich 3,6 GHz wurde ein innovativer Ansatz zur Stärkung des Industriestandorts verfolgt.² Nicht nur Mobilfunknetzbetreiber haben die Möglichkeit, 5G-Dienste zu realisieren. Vielmehr wurden Unternehmen und/oder Institutionen bei vorliegender Fachkunde, Leitungsfähigkeit und Zuverlässigkeit die Möglichkeit dafür eröffnet, lokale Frequenznutzungsrechte auf Antrag zu erhalten. Der dafür reservierte Bereich ist in der Frequenzlage 3,7 – 3,8 GHz gelegen.³

Diese innovative Vorgehensweise bei der Frequenzregulierung hat eine Reihe von Nachahmern bei nationalen Frequenzregulierungsbehörden in anderen europäischen Ländern.⁴ Eine weitgehend gleichsame, internationale Nutzung von Frequenzen für gleichartige 5G-Dienste in gleichen Frequenzlagen ist bedeutsam, um Innovationen für die Errichtung von 5G-Campusnetzen zu incentivieren, sowie Skalenerträge und damit verbundene Kostenreduzierung zu realisieren. Kostengünstiges Equipment für die

¹ [Nr. 488 Flexibilisierung der Frequenzregulierung und des Frequenzplans \(wik.org\)](https://www.wik.org/wiki/Nr._488_Flexibilisierung_der_Frequenzregulierung_und_des_Frequenzplans), zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.

² Internationale Kennungen für Mobile Teilnehmer (IMSIs) werden benötigt, um Endeinrichtungen in Campusnetzen mit heute verfügbarer Mobilfunktechnik zu adressieren. Die Bundesnetzagentur hat ein bedarfsgerechtes Nummernzuteilungsverfahren implementiert. (Siehe hierzu <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Nummerierung/Campusnetze/start.html>, zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.)

³ Siehe hierzu <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Frequenzen/OeffentlicheNetze/LokaleNetze/lokalenetze-node.html>, zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.

⁴ Siehe https://www.wik.org/fileadmin/Aufsaeetze/Entwicklung_von_5G-Campusnetzen_in_Deutschland_NuR_6_2021_275-281.pdf, zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.

Errichtung und den Betrieb von 5G-Campusnetzen hat einen erheblichen Einfluss auf die Diffusion von 5G-Campusnetzen.

Komplementär zu den 3,7-GHz-Frequenzen hat die Bundesnetzagentur die Möglichkeit eröffnet, 26-GHz-Frequenzen für die Nutzung im Rahmen von 5G-Campusnetzen zu beantragen.⁵

Der Bedarf an weiteren Frequenznutzungsrechten wird bereits heute von Stakeholdern im Zusammenhang mit der noch ausstehenden Standardisierung von 6G geäußert. Insbesondere wird mit Relevanz für Campusnetze ein Bedarf im Bereich 7 – 15 GHz (zwischen Midband und mmWave)⁶ und im Terahertz-Band (ermöglicht sehr hohe Datenübertragungsraten von mehreren GB/s über kurze Distanzen mit hohen Bandbreiten) angemeldet.

3 Motivation und die Möglichkeiten der Errichtung von 5G-Campusnetzen

Die Motivation von Interessenten für die Errichtung von 5G-Campusnetzen besteht insbesondere in der Möglichkeit, „Massive IoT“ / „Massive Machine Type Communication“ und „Ultra Reliable and Low Latency Communication“ mit hohen Datenübertragungsraten im Up- und Downlink zu realisieren. 5G als hochleistungsfähige Funktechnologie wird von Wirtschaft und Wissenschaft als Schlüsseltechnologie für die digitale Transformation von Wertschöpfungsprozessen angesehen. Die technischen Potentiale zellularer Mobilfunktechnologien, und hier insbesondere 5G, erlauben in vertikalen Märkten eine Vielzahl von neuen, innovativen Anwendungen, mit denen die Nutzer von Funktechnologien beispielsweise ihre Wettbewerbsfähigkeit steigern können. Beispielsweise im Bereich der Intralogistik ist mit 5G-Campusnetzen eine optimierte Logistik durch fahrerlose Transportsysteme möglich. Weitere konkrete Anwendungsmöglichkeiten sind die Entwicklung, Fernwartung und -reparatur mit Augmented Reality (AR)⁷ oder eine schnellere Lagerinventur mit Hilfe von vernetzten mobilen Geräten und Scannern.⁸

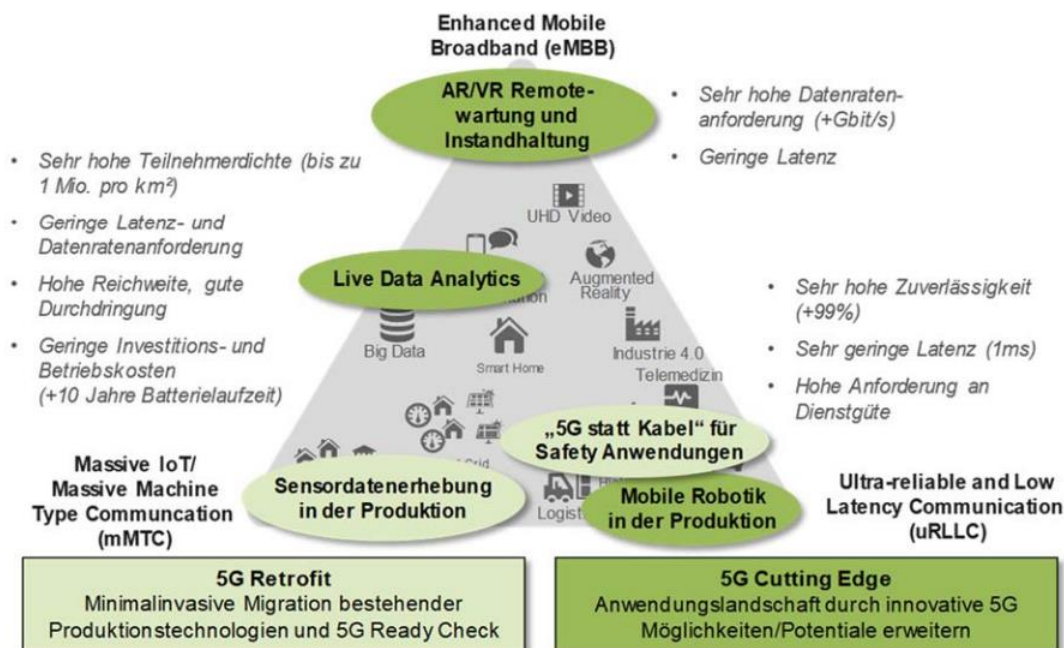
5 Siehe hierzu <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Frequenzen/OeffentlicheNetze/LokaleNetze/lokalenetze-node.html>, zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.

6 Aufgrund der hohen verfügbaren Bandbreite ermöglicht Millimeter-Wave (mmWave) -Spektrum 5G-Datenübertragungen mit Gbit/s Geschwindigkeit. Jederzeit präzise ausgerichtete Antennen werden hierzu benötigt. Dies stellt in mobilen Anwendungsszenarien eine Herausforderung dar.

7 Zur Erläuterung von AR und der Abgrenzung zu VR (Virtual Reality) siehe [Was ist Augmented Reality? Einfach erklärt | Deutsche Telekom](#), zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.

8 Weitere mögliche Einsatzfelder siehe, [5G-Campus-Netze: Das steckt dahinter und so funktionieren sie \(vodafone.de\)](#), zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.

Abbildung 1: Neue Anwendungen durch 5G-Campusnetze



Quelle: 5Guarantee

5G ist somit eine Technologie, die bestehende Technologien ersetzen kann und zudem aufgrund ihrer verbesserten Eigenschaften komplementär zu bisher genutzten Funktechnologien wie WLAN, (Industrial) Ethernet und Bluetooth-Low-Energy-Anwendungen einsetzbar ist. Auch ist 5G statt Kabel/Glasfaser eine Möglichkeit, eine sowohl höhere Flexibilität beim Einsatz von Robotern in der Fertigung als auch darüber hinaus mobilere Einsatzmöglichkeiten zu erlangen. Voraussetzung hierfür ist jedoch nicht nur ein adäquat ausgestaltetes 5G-Campusnetz, sondern auch, dass sämtliche Gerätschaften und Personen, die in den Prozessablauf über das 5G-Campusnetz integriert sind, über entsprechende 5G-Module verfügen, mit denen sie kommunikativ vernetzt sind.

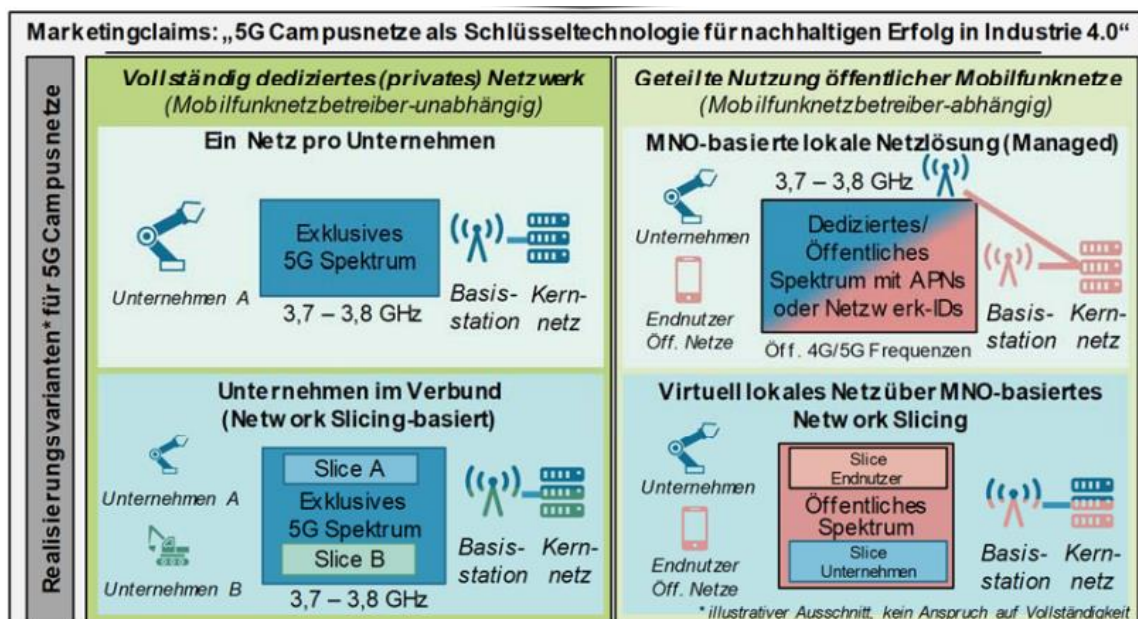
Eine WIK-Umfrage unter den Frequenzzuteilungsnehmern ergab, dass die technische Leistungsfähigkeit der bedeutsamste Faktor für die Adaption von 5G für Campusnetze ist. Diesbezüglich werden die hohen Datenübertragungsraten im Down- und Upload und die geringe Latenz als von erheblicher Bedeutung genannt. Aktuell umfassen 5G-Use-Cases insbesondere die Fernsteuerung, Videoübertragung, Lokalisierung, Mobilität sowie AR/VR-Anwendungen. In einer Übergangsphase hin zu 5G ist es nicht erstaunlich, dass 5G zunächst primär komplementär zu bestehenden Kommunikationstechnologien zur Realisierung beispielsweise von AR/VR (Augmented Reality / Virtual Reality)⁹ -Übertragungen, die dann zur Überwachung und Steuerung

⁹ Siehe hierzu [5G Retrofit von Maschinen für Echtzeit-Anwendungen von Augmented Reality \(oculavis.de\)](https://www.oculavis.de), zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.

von Prozessen genutzt werden, eingesetzt wird.¹⁰ Langfristig ist denkbar, dass bei einer Vielzahl von Anwendungen die Konnektivität über 5G weitaus umfassender alternative Anbindungsformen ersetzt als bisher. Datenhoheit, Unabhängigkeit vom öffentlichen Netz, Ausfallsicherheit und Skalierbarkeit im Rahmen eines 5G-Campusnetzes haben ebenfalls eine hohe Bedeutung für die Nutzer. Die Verbindungsdichte (Geräte/qkm) sowie die Energieeffizienz werden dann zunehmend ansteigen.

Zur Errichtung von 5G-Campusnetzen gibt es aufgrund der Frequenzregulierung und weitergehender institutioneller Möglichkeiten verschiedene Alternativen.¹¹

Abbildung 2: Möglichkeiten der Errichtung von 5G-Campusnetzen



Quelle: 5Guarantee

Nach einer WIK-Umfrage unter Stakeholdern werden häufig Datenhoheit und Datensicherheit als sehr bedeutsam im Zusammenhang mit 5G eingestuft. Je geringer die Anzahl der Schnittstellen nach außen, umso höher die Datensicherheit. Ein Netz auf Basis exklusiver Frequenzen, welches weitgehend selbständig – ohne die Einbindung von Dritten – von den Nutzern nur auf dem eigenen Campus gemanagt wird, trägt diesen beiden Aspekten in hohem Maße Rechnung.

¹⁰ Siehe hierzu auch <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Viertel-deutscher-Industrie-5G-Campus-Netze>, zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.

¹¹ Ein Videovortrag hierzu [All you need to know about 5G campus networks - Ericsson](#), zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.

4 5G-Campusnetze – Aktueller Stand

Einen Überblick zu den aktuellen Frequenznutzungsrechteinhabern im Bereich 3,7 – 3,8 GHz stellt die Bundesnetzagentur zur Verfügung. Stand 15.03.2023 sind dies **304** Frequenzzuteilungen¹². Hierzu zählen in großem Umfang auch Forschungseinrichtungen.

Die Anzahl der Frequenznehmer im Bereich 26 GHz ist mit **17** (Stand: 15.03.2023) vergleichsweise gering. Der Fokus der Antragstellung und Nutzung liegt somit aktuell auf den Frequenzen im Bereich 3,7 GHz, die bessere Ausbreitungseigenschaften als höhere Frequenzlagen haben und eine weniger dichte Netzinfrastruktur verlangen.

Aktuell werden die technischen Potentiale von 5G vornehmlich von größeren Unternehmen, die in der Regel eigene IT- und F&E-Abteilungen haben, betrachtet, getestet und evaluiert. Hierzu zählen Unternehmen wie BASF¹³, Daimler¹⁴, Siemens¹⁵, Bosch¹⁶, VW¹⁷, BMW¹⁸, Fraport¹⁹ aber auch die Deutsche Messe²⁰. Das erforderliche Know-how für die Implementierung eines 5G-Netzes ist dort eher als bei kleinen und mittelständischen Unternehmen gegeben, die dieses Know-how weitgehend einkaufen müssen. Zudem verfügen Großunternehmen über eine höhere Finanzkraft. Dies ermöglicht diesen Unternehmen vergleichsweise teures und leistungsfähigeres Equipment von führenden Herstellern zu Testzwecken bzw. (perspektivisch) für den Realbetrieb einzukaufen. Zudem sind potenzielle Vorteile in derartigen Unternehmen, sofern diese ein Einsatzfeld für 5G identifizieren, höher als in kleineren oder mittleren Unternehmen. Je höher die Chargen, umso höher das Kosteneinsparpotential. Allerdings haben auch KMU, die kurz- bis mittelfristig 5G-Module in ihren eigenen Produkten einsetzen wollen, Anreize, sich mit 5G im betrieblichen Kontext auseinanderzusetzen. Nach unserer Kenntnis erfolgt der Einsatz der 5G-Campusnetze bei KMU häufig jedoch noch nicht, oder wenn, nur sehr fokussiert auf spezifische Anwendungen im Realbetrieb, z. B. zur Lokalisierung von mobilen

¹² Die Liste der Frequenzinhaber findet sich unter [Bundesnetzagentur - Regionale Netze](#), zuletzt aufgerufen am 31.03.2023.

¹³ Siehe [5G Campus-Netz für das BASF-Werk Schwarzheide \(vodafone.de\)](#), zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.

¹⁴ Siehe [Mobilfunknetz der Zukunft: Weltweit erstes 5G-Netz für die Automobilproduktion | Mercedes-Benz Group > Innovation > Digitalisierung > Industrie 4.0](#), zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.

¹⁵ Siehe [Industrial 5G – Das Funknetz der Zukunft | Industrie | Siemens Deutschland](#), zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.

¹⁶ Siehe [Bosch nimmt erstes 5G-Campusnetz in Betrieb - Bosch Media Service \(bosch-presse.de\)](#) sowie [Bosch Engineering stellt Weichen für automatisierte Baustelle mit 5G-Campusnetz - Bosch Media Service \(bosch-presse.de\)](#), zuletzt aufgerufen am 24.02.2023

¹⁷ Siehe [Auf dem Weg zur Smart Factory: Volkswagen erprobt 5G für die Produktion \(volkswagenag.com\)](#), zuletzt aufgerufen am 24.02.2023

¹⁸ Siehe [5G-Technologie: BMW startet sein 5G-Campusnetz in Niederbayern \(hannovermesse.de\)](#) und [Werkzeuge, Maschinen und Teile orten: BMW setzt im Werk Leipzig auf 5G - computerwoche.de](#), zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.

¹⁹ Siehe [Fraport und NTT bauen Europas größtes privates 5G-Netz am Flughafen Frankfurt](#), zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.

²⁰ Siehe [Hannover Messe: Siemens stellt 5G-Campusnetz zur Verfügung | FUENF-G](#), zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.

Geräten wie Staplern oder Minirobotern sowie Kontrolle der Abnutzung von Fräsmaschinen. Überwiegend sind es somit Feld- und Testversuche, die durchgeführt werden.²¹

5 Die Bedeutung der Standardisierung zur Entwicklung von 5G-Campusnetz-Equipment

In der Standardisierung werden Festlegungen für spezifische Anwendungen und Dienste entwickelt, die dann die essenzielle Grundlage für die Entwicklung, Produktion und Vermarktung von 5G-Hard- und Software sind. Aktuell im Markt befindliche Endgeräte (insbesondere Chipsets) unterstützen vornehmlich Dienste, die dem generischen Anwendungsbereich von „Enhanced Mobile Broadband“ zuzurechnen sind. Somit werden noch nicht sämtliche mit 5G möglichen Anwendungen, insbesondere in den Bereichen „Massive IoT (Internet of Things)“ und „Ultra Reliable and Low Latency“ unterstützt. Die Bedeutung von 5G beispielsweise für industrielle Anwendungen steigt mit dem jüngst verabschiedeten Release 17²² und dem anstehenden Release 18²³. Hierbei rückt die Vernetzung von Maschinen und Sensoren, d. h. die M2M (Machine to Machine) -Vernetzung, beziehungsweise das IoT in den Fokus, welches auch für 5G-Campusnetze bedeutsam ist. Auch die Energieeffizienz soll verbessert werden.

Die Bedeutung von Release 17 für IoT-Anwendungen wird durch die in der nachfolgenden Abbildung angeführten Aspekte verdeutlicht.

Abbildung 3: Bedeutung von Release 17 für IoT-Anwendungen

- RedCap (Reduced Capacity) für 5G-Devices mit reduzierter Kapazität, die sich zwischen hochwertigen eMBB-Diensten und den Diensten mit geringer Komplexität auf Basis von LTE-MTC (Machine Type Communications) und NB-IoT positionieren, mit höheren Übertragungsdaten als NB-IoT (Narrow Band – Internet of Things), aber geringeren Kosten als Multi-Bit-Geräte;
- Erweitertes Dynamic Spectrum Sharing, das durch Nutzung einer Sekundärzelle die Zahl der bedienbaren Endgeräte erhöht;
- Verbesserung der spektralen Effizienz und der Systemkapazität, Unterstützung für URLLC in nicht lizenzierten Frequenzumgebungen sowie Maßnahmen zur Unterstützung von Echtzeit-Netzwerken;
- Verbesserung der 5G-Positioniergenauigkeit für bestimmte Anwendungsfälle, zum Beispiel in der Fabrikautomation, auf 20 bis 30 cm, sowie eine Latenzreduzierung, um die Positionierung in zeitkritischen Anwendungsfällen zu ermöglichen und Einführung neuer Leistungsindikatoren, um Zuverlässigkeit und Integrität der Positionsfunktionen zu gewährleisten;
- Erweiterte Möglichkeiten zur Einbindung von Endgeräten in Non Public Networks (NPN), so dass Campusnetze ähnlich wie öffentliche Netzwerke genutzt werden können;

²¹ [Campusnetze: Wenige Industriebetriebe haben eine 5G-Frequenz - Golem.de](#), zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.

²² Siehe hierzu [Release 17 \(3gpp.org\)](#), zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.

²³ Siehe hierzu [Release 18 \(3gpp.org\)](#), zuletzt aufgerufen am 24.02.2023. Die Programmpunkte für Release 18 finden sich unter [3GPP Poster v2](#), zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.

- Erkennung von Edge-Funktionen im Netzwerk, so dass dynamisch auf lokale Anwendungs- und Datenspeicherserver geroutet wird;
- Erweiterte Sidelink-Kommunikation, wie beispielsweise für V2X (Vehicle to X) -Anwendungen in Fahrzeugen;
- Höhere Übertragungsgeschwindigkeiten, bessere Netzabdeckung und geringerer Energiebedarf bei Diensten für kleine Datenmengen (LTE-MTC, NB-IoT);
- Verbesserungen im Bereich Beamforming und MIMO (Multiple-Input, Multiple-Output);
- Unterstützung für Multi-SIM-Geräte;
- Ausweitung des nutzbaren Spektrums auf Frequenzen oberhalb des bislang genutzten mmWave-Bereichs (24,25 bis 52,6 GHz, „High-Band“) bis 71 GHz.

Quelle: [5G Release 17 und 18: 3GPP gibt Startschuss für 5G Advanced \(fuenf-g.de\)](#)

Bis zur Umsetzung der technischen Funktionen in verfügbares, potenziell einsetzbares Netzequipment vergehen meist 2 Jahre. Die derzeit verfügbaren Komponenten der Netzwerkhersteller unterstützen somit nur in Teilen die mit 5G möglichen Anwendungen.²⁴ Im Kontext von Campusnetzen bedeutet dies aber nicht, dass nicht auch schon heute innovative Anwendungen im Bereich Industrie 4.0 oder Intralogistik von 5G unterstützt werden können. Gleichwohl wird damit deutlich, dass das technische Potential von 5G weiter steigen wird, somit die 5G-Entwicklung erst in ihren Anfängen ist. Es wird folglich noch einige Jahre dauern, bis bestimmte Anwendungen im Bereich URLLC oder mMTC am Markt verfügbar sein werden und sich das volle Potential von 5G (auch in 5G-Campusnetzen) vollends entfalten kann.

Mit Blick auf 6G stehen die folgend aufgezählten Aspekte im Fokus.²⁵ Hierbei sollen zukünftig rückwärtskompatible Lösungen entwickelt werden, um die Investitionen von Industrieanlagen (teilweise > 20 Jahre) in 5G zu schützen:

- Flexible und modulare Hard- und Softwarekomponenten, die maßgeschneiderte, energieeffiziente und kosteneffiziente Anwendungen unterstützen
- Weiterentwicklungen zur Integration von Sensorik, um eine bessere Nutzung der Infrastruktur zu ermöglichen, und die Nutzung zusätzlicher Bandbreite in höheren Frequenzen, insbesondere für Campusnetze unter Berücksichtigung der EMF-Exposition.
- Unterstützung von Anforderungen wie Latenzzeiten im Sub-ms-Bereich in spezifischen Szenarien und hochpräzise Positionierung.
- Die weitere Entwicklung von offenen Schnittstellen, Architekturen und APIs („Application Programming Interface“)²⁶ in Verbindung mit einer konsequenten

²⁴ Angebote für 5G-Campus-Netze von COCUS beispielsweise basieren aktuell (Stand 03.02.2023) auf dem 3GPP-Release 16, <https://www.cocus.com/cocus-5g-campus-netz-deep-dive/>, zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.

²⁵ Siehe hierzu [Position Paper - Our view on the Evolution of 5G towards 6G - 5G-ACIA](#) zuletzt aufgerufen am 31.03.2023.

Virtualisierung der gesamten Netzinfrastruktur zur Ermöglichung hochgradig modularer und branchenoptimierter Lösungen.

- Die Integration zusätzlicher Funktionalitäten, wie z. B. Sensorik oder Bildverarbeitung, um der Fertigungsindustrie einen zusätzlichen Mehrwert zu bieten.
- Beschleunigung der Automatisierung und Digitalisierung, um die Ressourceneffizienz in Verbindung mit der Einführung grüner Technologie in der Produktion zu verbessern.

6 Gegenwärtige Kategorisierung der Kommunikationsverbindungen für IoT bei der Entwicklung von 5G-Campusnetzlösungen

Im Gegensatz zu eMBB für den Massenmarkt sind die Konnektivitätsbedürfnisse der Industrie extrem unterschiedlich. Von daher wird es keine einheitliche Netzkonfiguration für 5G-Campusnetze geben. Insbesondere ist das Design eines öffentlichen Mobilfunknetzes nicht der Referenzmaßstab für ein 5G-Campusnetz. Beispielsweise ist die entscheidende Größe nicht der Download, sondern in Bezug auf kamerabasierte Umgebungsüberwachung eine zu garantierende Upload-Geschwindigkeit. Auch die Latenzanforderungen können weitaus höher sein.

Ericsson sieht folgende vier Segmente für Campusnetzlösungen:²⁷

- *Segment 1: Massive IoT*, bei der die Konnektivität eine große Anzahl von (kostengünstigen) Geräten verbindet, die sich durch geringe Übertragungsbandbreiten und lange Akkulaufzeiten auszeichnen. Das IoT-Ökosystem basiert gegenwärtig auf Schmalband-IoT (NB-IoT) und LTE-Cat-M.
- *Segment 2: Breitband-IoT*, bei der die Konnektivität höhere Datenraten und geringere Latenzen als Massive IoT hat und gleichzeitig eine längere Akkulaufzeit der Geräte und eine bessere Abdeckung für Geräte mit einer wesentlich größeren Bandbreite als Massive-IoT-Geräte ermöglicht. Auf der Grundlage einer breiten Palette von LTE-Geräte-kategorien (LTE Cat-1 und höher) in Frequenzduplex- (FDD) und Zeitduplexbändern (TDD) hat das Breitband-IoT weltweit mehr als 500 Millionen Nutzer. Breitband-IoT-Nutzung ist derzeit bei Fahrzeugen, Wearables, Gadgets, Kameras, Sensoren und Aktoren zu beobachten.
- *Segment 3: Kritische-IoT-Konnektivität*, die zeitkritische Kommunikation für die Datenübertragung mit bestimmten Latenzzielen und den erforderlichen

²⁶ Zur Erläuterung siehe [What is an Application Programming Interface \(API\)? | IBM](#), zuletzt aufgerufen am 24.02.2023

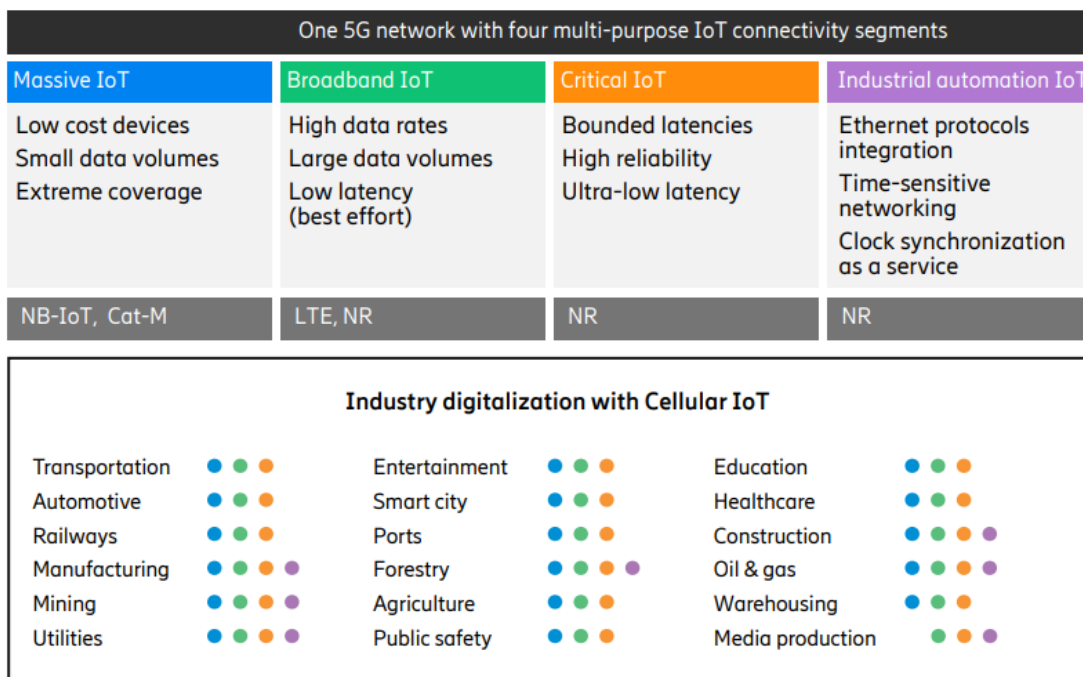
²⁷ Die nachfolgenden Ausführungen sind dem White Paper von Ericsson entnommen (siehe hierzu [04292022-5g-spectrum-for-local-industrial-networks.pdf \(ericsson.com\)](#), zuletzt aufgerufen am 31.03.2023.

Garantien bietet. Die kritische IoT-Konnektivität wird in allen 5G-Bändern zusammen mit den fortschrittlichen zeitkritischen Kommunikationsfunktionen von 5G-New-Radio eingeführt. Typische zeitkritische Anwendungsfälle sind cloudbasierte AR/VR, Cloud-Robotik, autonome Fahrzeuge, Fehlervermeidung in Echtzeit, haptisches Feedback, Echtzeitsteuerung und die Koordination von Maschinen und Prozessen.

- **Segment 4: IoT für die industrielle Automatisierung**, das die nahtlose Integration von Mobilfunkverbindungen in die kabelgebundene industrielle Infrastruktur ermöglicht, die für die fortschrittliche Automatisierung in Echtzeit genutzt wird. Es umfasst Fähigkeiten zur Integration von 5G-Systemen mit Echtzeit-Ethernet und zeitabhängigen Netzwerken (TSN). Diese Fähigkeiten erfordern 5G NR und 5GC. Die IoT-Konnektivitätssegmente verfügen über eine kosteneffiziente, reibungslose und zukunftssichere Entwicklung, die die Akzeptanz im Ökosystem beschleunigen und die Gesamtbetriebskosten (TCO) minimieren soll.

Jedes IoT-Segment hat eine Reihe von Konnektivitätsanforderungen.

Abbildung 4: Leistungsanforderungen unterschiedlicher IoT-Anwendungen an das 5G-Campusnetz



Quelle: Ericsson, April 2022

Abhängig von der Art der Nutzung sind unterschiedliche Frequenzbänder und Technologien in der Lage, das Übertragungsmedium für die jeweiligen IoT-Dienste zu sein.

7 Diffusion von 5G-Campusnetzen in KMU von volkswirtschaftlicher Bedeutung

Mit 99,4 % sind KMU (kleine und mittlere Unternehmen) die überwiegende Anzahl an Unternehmen in Deutschland.²⁸ 400.000 werden davon als mittlere Unternehmen eingestuft. Im Vergleich dazu beträgt die Zahl der Großunternehmen 16.000. Sofern 5G-Campusnetze in Deutschland rundum eine Erfolgsgeschichte werden sollen (mithin ein 5G-Ökosystem initiieren können), ist es unerlässlich, dass auch in diesem Unternehmenssegment Campusnetze in einer größeren Anzahl errichtet werden.

Bei Großunternehmen ist davon auszugehen, dass diese über die notwendigen Ressourcen verfügen, 5G für ihre Prozesse bzw. ihre Produktion nutzbar zu machen, sofern 5G Mehrwerte bereitstellt. Auch haben diese Unternehmen die Möglichkeit, die Kosten einer Lernkurve zu tragen. Es ist offen, ob von den gewonnenen Erkenntnissen und Erfahrungen auch KMU profitieren können. Die Hersteller von Netzequipment²⁹ sowie Produktions- und Fertigungsanlagen etc. haben grundsätzlich die Möglichkeit, die in Zusammenarbeit mit Großunternehmen gewonnenen Erkenntnisse auch in die Angebote und das entsprechende Netz- und Equipment-Design für KMU einfließen zu lassen.

KMU sind derzeit noch zurückhaltend, 5G-Campusnetze zu testen und unter Realitätsbedingungen einzusetzen. Die hohen Kosten für die Errichtung eines 5G-Testfelds mit dem Ziel der anschließenden Realisierung und die derzeit noch fehlende Verfügbarkeit von Soft- und Hardware werden als wesentliche Hemmnisse für 5G im Kontext von Campusnetzen gesehen. Zudem besteht noch eine erhebliche Unsicherheit bei der Auslotung der Einsatzmöglichkeiten und einer daran anknüpfenden Realisierung. Auch der administrative Aufwand für die Klärung rechtlicher Fragen innerhalb des Unternehmens mit Blick auf die Datennutzung scheint nach uns vorliegenden Informationen nicht unerheblich zu sein. Expertengespräche und die Erfahrungen aus Pilotprojekten zeigen, dass sich die Nutzer sowohl auf der Netz- als auch auf der Anwendungsseite „Plug & Play“³⁰-fähige Komponenten wünschen. Für die Akzeptanz von 5G im Speziellen bzw. von digitalen Wertschöpfungsprozessen im Allgemeinen im Unternehmensumfeld leisten schlüsselfertige Produkte, die im Bedarfsfall mit Produkten anderer Hersteller kompatibel sind, einen wichtigen Beitrag. Flexible aber auch für die konkreten Bedarfe passgenau konfigurierbare Netzwerklösungen sind erforderlich.

²⁸ Siehe <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Unternehmen/Kleine-Unternehmen-Mittlere-Unternehmen/aktuell-beschaefigte.html>, zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.

²⁹ Zu den Anbietern von 5G-Netzinfrastruktur in Deutschland zählen beispielsweise Siemens: [Industrial 5G | Industrielle Kommunikation | Siemens Deutschland](#); Nokia: [5G standalone campus network for robots | FUENF-G](#); MECsware: [Unternehmensprofil - MECsware](#); Cocus: [COCUS | 5G Campus-Netz; KMU Campusnetz | Das private 5G Campusnetz | becon GmbH](#); und nicht zuletzt Ericsson (beispielsweise auch in Kooperation mit Mugler ([5G-Campusnetze: Mugler und Ericsson vertiefen Partnerschaft \(industrie.de\)](#))). Auch die Mobilfunknetzbetreiber unterbreiten 5G-Campus-Netzangebote für Verticals.

³⁰ Siehe hierzu https://de.wikipedia.org/wiki/Plug_and_Play, zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.

Die Interoperabilität zwischen den verschiedenen Gerätschaften ist hierbei ein zentraler Faktor. Inwieweit sich Open-RAN³¹-Netzkonfiguration oder proprietäre Lösungen (Netzwerkkomponenten aus einer Hand) durchsetzen werden, wird sich im Rahmen des Marktprozesses herauskristallisieren. Gleiches gilt mit Blick auf die Implementierung und Lokalisierung der Rechenleistung im 5G-Campusnetz eines Unternehmens. Ob die Rechenleistung in den Endgeräten selbst, in einer nahen Edge-Cloud oder aber in einer Far-Edge-Cloud erfolgt, wird sicherlich von dem jeweiligen Anwendungsfall und dem verfügbaren IT-Know-how in den Unternehmen abhängig sein.

Aus der Größe der Unternehmen und ihrer Ressourcen zeichnet sich des Weiteren ab, dass es künftig „High End Solutions“ (Cloud on premise, spezialisierte Anwendungen, First Mover) und „Low Cost Solutions“ (Cloud not on premise, standardisierte Lösungen) geben könnte. Netzwerktechnologien, die die Komplexität von 5G-Campusnetzen erhöhen, sind gerade für KMU eine klare Markteintrittsbarriere. Vielmehr sollte verstärkt an einer Vereinfachung der technischen Lösungen gearbeitet werden.

Neben einem vielfältigen, flexiblen Angebot von Netzwerktechnologien zur Errichtung von 5G-Campusnetzen ist auch das Angebot im Bereich der Endgeräte von entscheidender Bedeutung. Maschinenseitig müssen leicht integrierbare Module wie Chip-Sets vorliegen. Parallel muss die Möglichkeit geschaffen werden, mit möglichst geringem Aufwand bestehende Produktions- und Fertigungsinfrastrukturen durch Aufrüstung mit 5G-Modulen (5G-Retrofit) in ein 5G-Campusnetz zu integrieren.

8 Fazit

Die Diffusion von 5G-Campusnetzen befindet sich noch in der Frühphase des Lebenszyklus. Die weitreichende Realisierung und Nutzung moderner, hochleistungsfähiger Funktechnologien kann nicht innerhalb kurzer Zeit einen extrem hohen Grad erreichen. Vielmehr ist im Erfolgsfall ein kontinuierlicher Entwicklungs- und Adaptionsprozess zu erwarten. Ein umfänglicheres Potential wird erst mit der weiteren Standardisierung zu 5G/6G gehoben werden.

5G-Netzwerklösungen flexibel zu gestalten, sie auf die besonderen Bedarfe von Unternehmen auszurichten und insoweit in der Regel die Komplexität in der technischen Realisierung zu reduzieren, ist eine der zentralen Herausforderungen bei der Umsetzung von 5G-Campusnetzen.

³¹ Siehe hierzu [Was ist Open-RAN? \(ip-insider.de\)](https://www.ip-insider.de), zuletzt aufgerufen am 24.02.2023 und [Nr. 478: Open RAN und SDN/NFV: Perspektiven, Optionen, Restriktionen und Herausforderungen \(wik.org\)](https://www.wik.org), zuletzt aufgerufen am 24.02.2023.

Die genaue Spezifizierung der Anwendungen in einem Unternehmen und ein Vergleich mit alternativen Kommunikationsübertragungslösungen ist ein zentraler Aspekt. Sofern Unternehmen 5G-Campusnetze einsetzen wollen, muss im Vorfeld klar sein, für welche Anwendungen diese genutzt werden bzw. welche zukünftigen Dienste mittelfristig realisiert werden sollen. Kann 5G bestehende Kommunikationsformen über Kabel oder andere Funktechnologien ersetzen, oder ist 5G additiv bzw. komplementär zu bereits bestehenden Übertragungstechnologien?