

Monitoring: Campusnetze

4. Quartal 2023

Impressum

Herausgeber

DLR Projektträger, Programmbegleitung
Bereich Gesellschaft, Innovation, Technologie
Abteilung Digitale Strategien und Entwicklungen

Autoren

Dr. Walter Mattauch
Tel.: +49 30 67055774 | E-Mail: walter.mattauch@dlr.de
Wolfgang Niebel
Tel.: +49 30 67055-8290 | E-Mail: wolfgang.niebel@dlr.de

Gestaltung

Kompetenzzentrum Öffentlichkeitsarbeit des DLR-PT

Stand

31. Januar 2024

Hinweis

Das beiliegende Monitoring wurde erstellt im Rahmen der Programmbegleitung zum Technologieprogramm „5G-Campusnetze“, dessen Projekte durch das BMWK gefördert werden. Das Kapitel 3.2 „Analyse der bekannt gewordenen Campusnetz-Installationen“ wurde von Partnern des Projekts „CampusOS“ beigesteuert, die Daten beruhen auf dem im Projekt angelegten und gepflegten Tool „Networking Tracker“. Die Programmbegleitung des DLR-PT und das Projekt CampusOS stimmen sich zum Monitoring von 5G-Campusnetzen in regelmäßigen Abständen ab.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	4
1. Campusnetze.....	6
2. Marktentwicklung.....	7
2.1. Allgemeine Entwicklung des 5G-Markts	7
2.2. Globale Entwicklungen im Bereich Campusnetze.....	8
2.3. Wachstumsraten.....	12
2.4. Innovationen am Markt.....	15
3. Entwicklung von 5G-Campusnetzen in Deutschland.....	20
3.1. Frequenzzuteilungen für lokale Frequenznutzungen.....	20
3.2. Analyse der bekannt gewordenen Campusnetz-Installationen.....	20
3.3. Bedarfserhebungen in der deutschen Wirtschaft.....	22
3.4. Kommerzielle Angebote in bzw. aus Deutschland	23
4. Wissenschaft und Transfer.....	26
4.1. Berichte über Forschungsvorhaben und Demonstrationsprojekte	26
4.2. Konferenzen.....	28
4.3. Workshops / Schulungsangebote	28
4.4. Praxis-Leitfäden	29
4.5. Wissenschaftliche Publikationen	29

Zusammenfassung

Als Campusnetz wird ein i.d.R. 3GPP-basiertes privates LTE/5G-Mobilfunknetzwerk bezeichnet, welches für die ausschließliche Nutzung („dedicated“) durch eine Einrichtung wie ein Unternehmen oder eine Regierungsorganisation betrieben wird. Campusnetze nutzen ein definiertes, von der BNetzA genehmigtes Spektrum sowie LTE- oder 5G-NR-Basisstationen, Funkzugangsinfrastrukturen (RAN, Radio Access Network) zur Übertragung von Sprache und Daten an Endgeräte.

Betrachtet man die allgemeine Entwicklung des 5G-Marktes, so kann aktuell von knapp 2.000 unterschiedlichen Gerätetypen ausgegangen werden, wobei mehr als die Hälfte der Geräte Mobiltelefone sind. Der Anteil an 5G-fähigen Geräten (z. B. Routern) für die Industrie ist deutlich geringer und liegt bei 8 %. Der Markt umfasst entsprechend einer Datenbank der GSA 261 unterschiedliche Geräte- und Komponentenhersteller.

Weltweit listet eine Studie der GSA 1.279 anwendungsreife Campusnetz-Installationen in 76 Ländern. Lediglich rund ein Viertel dieser Installationen (23,5 %) dürften bereits reine 5G-Campusnetze sein, in den restlichen Fällen handelt es sich noch um LTE-Installationen oder Kombinationen von LTE und 5G. Im Jahr 2023 ist die Zahl der neu hinzugekommenen Campusnetze nicht mehr im selben Umfang gestiegen wie in den Jahren zuvor. Dies bedeutet lt. GSA aber keinesfalls ein Nachlassen der Aktivitäten. Vielmehr würden die Kunden erste Versuchsinstallationen jetzt zu Installationen über multiplen Standorten erweitern.

2023 ist die Zahl der neu hinzugekommenen Campusnetze nicht mehr im selben Umfang wie in den Vorjahren gestiegen. Jetzt werden allerdings von den Kunden erste Versuchssysteme zu standort-übergreifenden Installationen ausgebaut.

In Europa nimmt Deutschland bei den 5G-Campusnetzen eine Vorreiterrolle ein, vor UK, Finnland, Schweden und Frankreich. Auch Spanien, Österreich, Polen, die Niederlande, Tschechien, Ungarn und Dänemark weisen erste Installationen auf. Die Anzahl der von der GSA verzeichneten Campusnetz-Installationen wächst in unterschiedlich starken Schüben. Nach einem zuletzt deutlichen Aufwuchs im Frühjahr von rd. 10 % in Europa und den USA, lag der Aufwuchs im 3. Quartal 2023 in Asien bei 7,4 %, in den USA bei 4,5 % und in Europa bei 2,4 % jeweils bezogen auf das vorausgegangene Quartal.

Private Funknetze werden bislang vor allem in entwickelten Industriestaaten eingesetzt, insbesondere in Deutschland, in UK, den USA, China und Japan. Neben 498 Installationen in Europa (39 %) existieren weitere 332 in Nordamerika, 243 im Asien-Pazifik-Raum und die restlichen 206 Installationen in anderen Weltregionen.



Rund ein Fünftel der Installationen (19,9 %) sind in der Produktion angesiedelt, insbesondere im Automotive-Sektor. Weitere wesentliche Anwendungsszenarien für 5G-Campusnetze finden sich in den Bereichen Bildung, Bergbau, Energiewirtschaft und Verteidigung. Bei den Installationen gehen Analysten von einem jährlichen Wachstum von rund 57 % aus. Beim Umsatz liegt von GrandViewResearch eine Schätzung von 49 % jährlichen Wachstumsraten (CAGR) vor, andere Marktstudien nennen jährliche Wachstumsraten zwischen 29 % und 38,5 %.

In Deutschland hat die BNetzA bislang 355 Anträge für den Frequenzbereich 3.700-3.800 MHz und 18 Anträge für den Frequenzbereich 26 GHz bewilligt und teilweise namentlich veröffentlicht. Im vergangenen Jahr erhöhte sich die Zahl der Anträge für den Frequenzbereich 3.700-3.800 MHz um rund 12%. Insgesamt ist hinsichtlich der Antragstellung aktuell noch eher eine geringe Dynamik festzustellen.

19 Prozent der von Bitkom befragten Unternehmen möchten ein 5G-Campusnetz durch einen Dienstleister betreiben lassen.
7 Prozent möchten ein 5G-Campusnetz selbst betreiben.

Einer repräsentativen Umfrage des Bitkom zu Folge möchten 7 % der befragten Industrieunternehmen selbst ein Campusnetz betreiben und weitere 19 % ein 5G-Campusnetz durch einen Dienstleister betreiben lassen. Das Ziel ist in 85 % der Fälle die Vernetzung von Produktionsanlagen, aber auch die Steuerung von Maschinen in Echtzeit oder die Fernwartung von Anlagen sind wichtige Motive.

Im Berichtszeitraum konnte festgestellt werden, dass Open-RAN-Technologien neben den 5G-Campusnetzen zunehmend auch in das öffentliche Funknetz einfließen. So haben Nokia und die DTAG mit dem Aufbau eines herstellerübergreifenden Open-RAN-Netzwerks begonnen und auch das am 8. Dezember 2023 gestartete 1&1-Netzwerk basiert auf einem cloud-nativen Open RAN (Rakuten, Mavenir). Ähnliche Entwicklungen finden sich auch in Japan, UK, Spanien und Rumänien.

Weiterentwicklungen versprechen auch neue Marktangebote im Bereich der mobilen bzw. nomadischen Campusnetze. Die Deutsche Telekom AG präsentierte auf der Digital X 2023 einen mobilen Sendemast, der in einen Micro-Container passt und in kurzer Zeit von einer Person aufgebaut werden kann. Orange hat in seinem Heimatmarkt Frankreich einen Satelliten-Breitbanddienst eingeführt und verspricht Downlink-Geschwindigkeiten von bis zu 200 Mbit/s und Uplink-Geschwindigkeiten von bis zu 15 Mbit/s über seine Tochtergesellschaft Nordnet, die den Eutelsat Konnect VHTS-Satelliten für die Bereitstellung ihrer Dienste nutzt.

1. Campusnetze

Campusnetze sind Mobilfunknetze, die über spezifische Funkfrequenzen exklusiv für ein definiertes Areal bereitgestellt werden. Der entscheidende Vorteil im Gegensatz zum öffentlichen Mobilfunknetz ist, dass die Besitzer die technischen Funktionen individuell für ihre Zwecke konfigurieren können. Auch stehen die Mobilfunkfrequenzen exklusiv zur Verfügung. Campusnetze wurden bereits mit LTE (4G) realisiert. Durch die Eigenschaften der 5G-Technologie kommen eine Reihe wesentlicher Vorteile und Verbesserungen hinzu, etwa die deutlich höhere Geschwindigkeit (bis zu 10 Gbit/s), die wesentlich geringere Latenz, aber auch die bessere Verfügbarkeit des Netzes und die Anzahl an Geräten (bis zu 1 Million), die über eine singuläre Funkzelle interagieren können. Im Vergleich mit anderen Funktechnologien (Abb. 1) bieten 5G-Campusnetze eine deutlich kürzere Reaktionszeit und extrem hohe Datenraten, eine deutlich höhere Bandbreite (insb. im Vergleich zu LoRaWAN) sowie eine deutlich größere Reichweite (im Vergleich zu WLAN).

LoRaWAN	5G Campusnetz	WiFi 5 & 6
<ul style="list-style-type: none"> - Reaktionszeit 1-10 sec - Bandbreite 50 kbit/sec - Reichweite 15 km - Kein Mobility Management - Keine Trennung von Diensten - Freie, ungeschützte Frequenzen 	<ul style="list-style-type: none"> - Reaktionszeit < 1ms - Bandbreite 10 Gbits/sec - Reichweite bis zu 20 km - Mobility Management - Network <u>Slicing</u> Funktion - Frequenz-/Lizenzsicherheit - Hohe Sicherheit, Bidirektionale Authentication (SIM/eSIM) - Geräteanzahl 1 Mio./km² - Bandbreite ~1 Gbit/sec 3.7 GHz 	<ul style="list-style-type: none"> - Reaktionszeit 5-10 ms/1-5 ms - Bandbreite 6,9/9,6 Gbit/sec - Reichweite 50m - Kein Mobility Management - Bedingt <u>Slicing</u> - Freie, ungeschützte Frequenz

Abbildung 1: Vergleich von Eigenschaften gängiger Funktechnologien. Quelle: axians¹

5G-Campusnetze können sich deshalb zu einer Schlüsseltechnologie entwickeln, die eine sichere, schnelle und latenzarme Interaktion von großen Mengen an netzwerkfähigen Geräten ermöglicht. Neben der Verbesserung bestehender Prozesse, Produkte und Dienste begünstigen 5G-Campusnetze auch die Entwicklung von ganz neuen Anwendungsszenarien und Geschäftsmodellen.

¹ <https://www.axians.de/news/was-unterscheidet-5g-wlan-und-lorawan/>



2. Marktentwicklung

2.1. Allgemeine Entwicklung des 5G-Markts

Entsprechend dem „5G-Ecosystem Member Report“ der GSA² steigt die Anzahl der kommerziell erhältlichen, 5G-fähigen Geräte im Markt kontinuierlich an (Abb. 2, rote Balken). Im Dezember 2023 waren 1.964 unterschiedliche am Markt erhältliche 5G-fähige Gerätetypen erfasst³ (Vorjahreswert: 1.431, Anstieg um 37 % innerhalb eines Jahres). Diese lassen sich in 28 Kategorien („Form Factors“) einteilen und werden von 261 unterschiedlichen Herstellern produziert. Mobiltelefone machen nach wie vor mehr als die Hälfte der Geräte aus (53,2 %), Industrierouter, - Gateways oder -Modems nehmen lediglich einen Anteil von 7,6 % ein (Abb. 3).

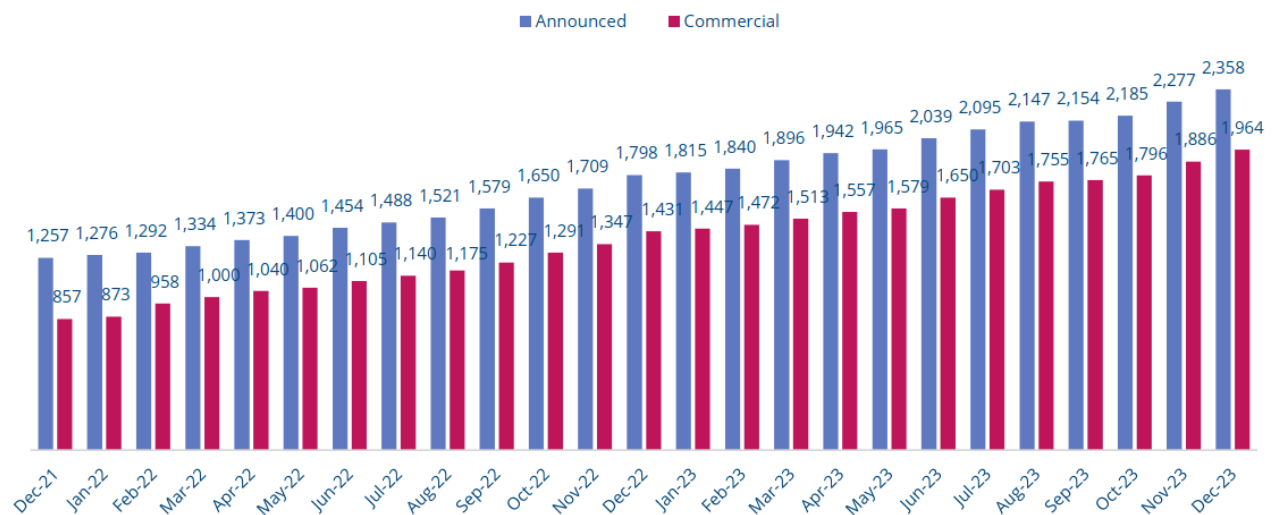


Abbildung 2: Entwicklung der 5G-fähigen Geräte im Markt. Quelle: GSA, Stand: Dezember 2023

² Die „Global mobile Suppliers Association“ (GSA) ist eine not-for-profit Industriervereinigung von Technologie-Anbietern in der Mobilkommunikation. Die GSA adressiert Technologien nach 3GPP-Standards wie 3G, 4G und 5G und kooperiert mit zahlreichen weiteren 5G-relevanten Organisationen wie COAI, ETSI, GSMA, ICU und ITU sowie regionalen Regulierungsbehörden und Industriervereinigungen.

³ GSA 5G Devices Ecosystem Report; September 2023: <https://gsacom.com/reports/>

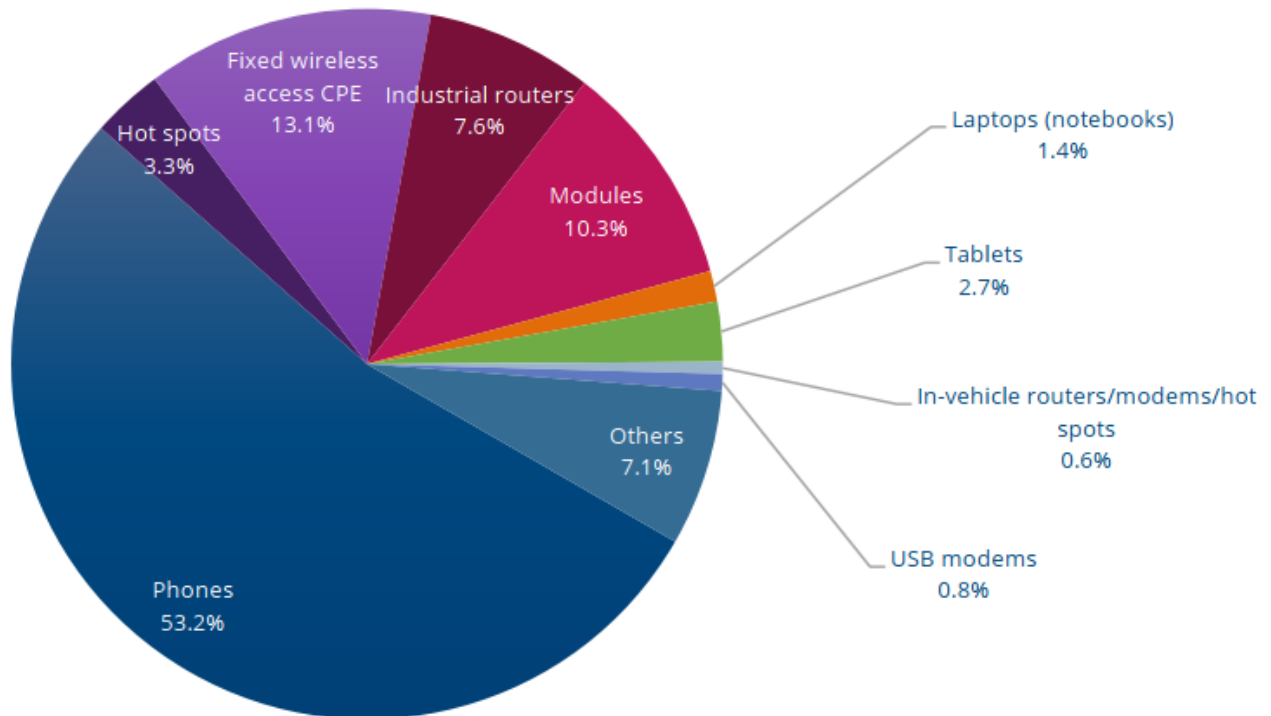


Abbildung 3: Kategorisierung der 5G-fähigen Endgeräte. Quelle: GSA, Stand Dezember 2023

2.2. Globale Entwicklungen im Bereich Campusnetze

Das Monitoring umfasst die weltweite Anzahl an Campusnetz-Installationen, die Anzahl der Staaten mit privaten Funknetzen sowie eine Zuordnung zu industriellen Anwendungsszenarien. Die nachstehenden Angaben der GSA beziehen sich auf Installationen von privaten Funknetzen mit Kosten größer 100.000 Euro.

Abbildung 4 zeigt, welche Technologien bei den heutigen Campusnetzen zum Einsatz kommen. Mehr als die Hälfte (53,2 %) der Campusnetze bestehen aktuell noch aus LTE-Komponenten. Reine 5G-Campusnetze („Stand-alone“) finden sich hingegen lediglich in 23,5 % der Fälle, in Kombination mit LTE kommen weitere 21,3 % hinzu.

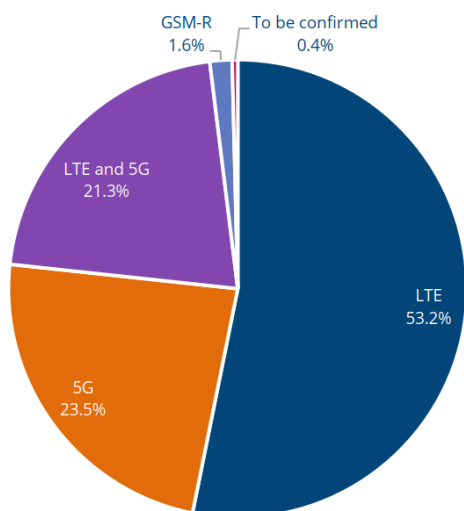


Abbildung 4: Technische Ausstattung der weltweiten Campusnetz-Installationen

Anzahl der Campusnetz-Installationen weltweit

Aktuell (bis Q3/2023) wurden von GSA weltweit 1.279 Campusnetze (unterschiedliche Einzelinstallationen) identifiziert. Hiervon sind n= 300 reine 5G-Installationen, in weiteren ca. 270 Fällen wurde eine Kombination aus LTE und 5G installiert. In vielen Fällen handelt es sich dabei jedoch um Installationen in Bildungs-, Prüfstands- und Validierungseinrichtungen, während nur eine begrenzte Zahl an Campusnetzen industriell genutzt wird.

Der Anteil an Campusnetzen, die ausschließlich auf LTE basieren, dürfte in den kommenden Monaten weiter sinken. Die Entwicklung der Campusnetze in den vergangenen 10 Jahren zeigt Abbildung 5.

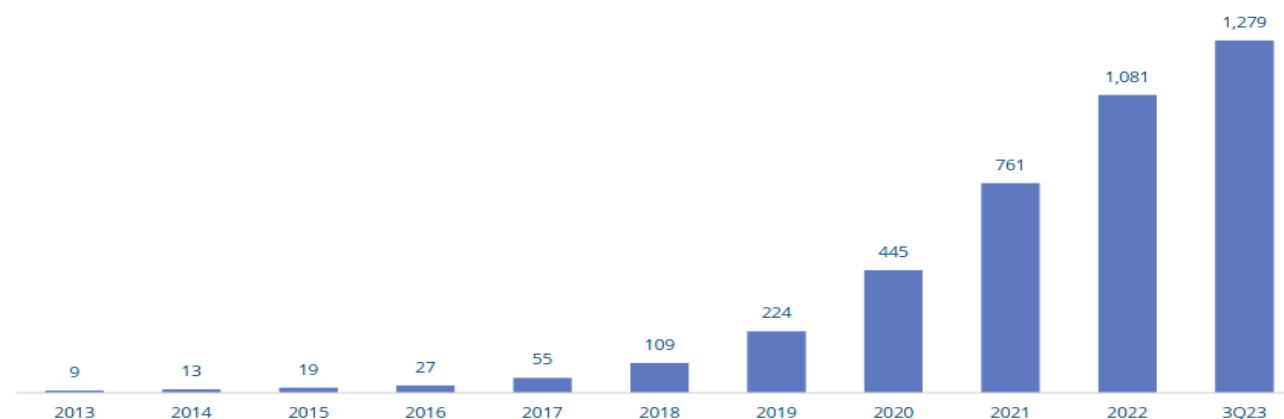


Abbildung 5: Anzahl der weltweiten Campusnetz-Installationen (Wert > 100.000€). Quelle: GSA

Regionale Verteilung der Campusnetz-Installationen

Im Bereich der Campusnetze besteht typischerweise ein starker Zusammenhang zwischen der Anzahl an Implementierungen und der Frequenzvergabe. Private Funknetze werden bislang vor allem in entwickelten Industriestaaten eingesetzt, insbesondere in Deutschland, in UK, den USA, China und Japan. Die meisten Installationen befinden sich in Europa (n= 498), weitere 332 in Nordamerika und 243 im Asien-Pazifik-Raum. Die restlichen 206 Installationen verteilen sich über die anderen Weltregionen. Lag in den vergangenen beiden Quartalen der prozentuale Aufwuchs in Nord-Amerika höher als in Europa, fand im dritten Quartal 2023 der größte Aufwuchs in Asien und Afrika statt.

Region	Anzahl der Installationen	Anzahl im Vorquartal	Aufwuchs
Europa	498	486	12 (2,4%)
Nord-Amerika	332	317	15 (4,5%)
Asien-Pazifik-Raum	243	225	18 (7,4%)
Mittlerer Osten und Afrika	64	57	7 (10,9%)
Latein-Amerika und Karibik	77	72	6,5 (6,9%)
Ozeanien	51	54	3 (5,8%)

Abbildung 6: Globale Verteilung von Installation von 5G-Campusnetzen

Eine spezifische, offenbar nicht vollständige Auflistung von Projekten zu 5G-Campusnetzen innerhalb der EU bietet das „European 5G Observatory“⁴. Es listet (wie bereits im vorigen Quartal) EU-weit 94 Projekte auf mit Informationen zu Anwendern, Betreibern und Equipment.

EU-Mitgliedsstaat	Anzahl der Installationen
Deutschland	20
Frankreich	13
Finnland	8
Schweden, Tschechische Republik, Spanien, Belgien	Je 5-6
Österreich, Polen, Italien, Kroatien	Je 4
10 weitere EU-MS	20
6 EU-MS ohne Listung	0

Abbildung 7: EU-weite Verteilung von Demonstratoren für 5G-Campusnetze

Eine Beteiligung von Nokia, häufig mit Partnern, ist in 29 Installationen gegeben (30,8 %), Ericsson hat 25 (26,5 %) der Installationen, überwiegend exklusiv, ausgestattet. Huawei war in lediglich 3 der gelisteten Installationen beteiligt (Zeitraum 2019-2021, Hafen von Rotterdam, Stadion von Barcelona). In 18 Fällen (19,1 %) ist die technische Ausstattung nicht genannt. Abbildung 8 zeigt den Aufwuchs an neuen Campusnetz-Installationen und die Zuweisung von spezifischen Funkfrequenzen in unterschiedlichen Weltregionen. Neben Deutschland werden in den USA, UK, Japan, Finnland, Schweden, Frankreich und neuerdings in Polen, sowie in einigen anderen Ländern spezifische Funkfrequenzen für Campusnetze vergeben (in Abb. 8 grün). Aktuell überlegen Indien und Brasilien die Zuweisung von spezifischen Funkfrequenzen für private Funknetze (in Abb. 8 lila markiert).

Die Daten der GSA basieren auf Werten aus dem 3. Quartal 2023, im Vergleich zum 2. Quartal 2023 waren besondere Aufwuchsraten in Mexiko, in der Republik Korea sowie in Brasilien zu verzeichnen.

⁴ Quelle: <https://5gobservatory.eu/5g-private-networks/>

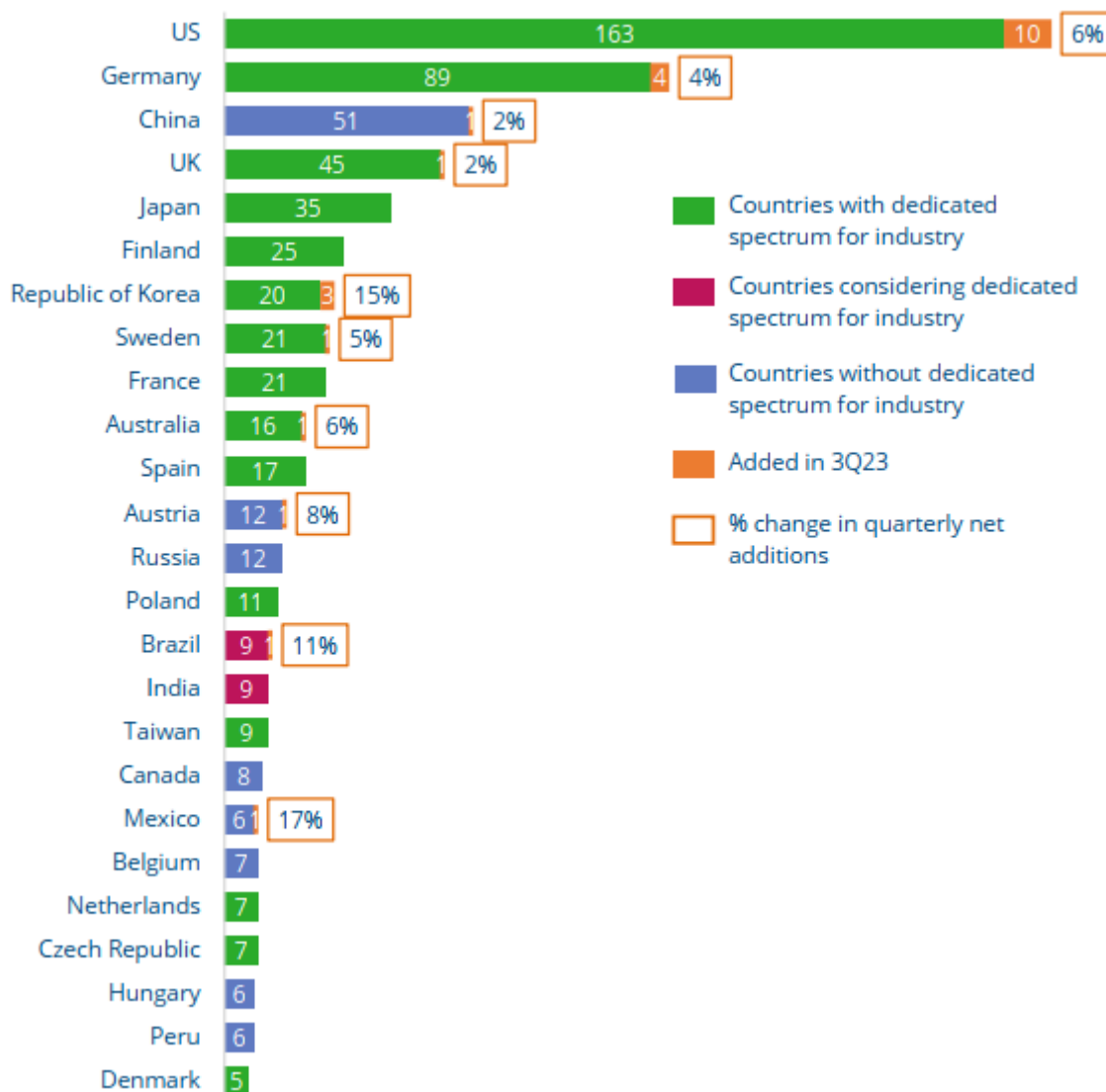


Abbildung 8: Campusnetze auf Basis spezifischer Funkfrequenzen in unterschiedlichen Staaten, Quelle: GSA

Anwendungsszenarien für Campusnetze nach Sektoren

Eine Analyse der Campusnetze nach Anwendungsszenarien⁵ (vgl. Abb. 9) zeigt einen besonders hohen Anteil in der Automobilbranche sowie in der Produktion von Elektrogeräten und Elektronik und im Maschinenbau. Bei Elektrogeräten / Elektronik war zuletzt ein deutlicher Anstieg um 14 % zu verzeichnen, so dass in diesem Bereich inzwischen noch häufiger ein Campusnetz eingesetzt wird als in der Automobilproduktion. Etwas weniger häufig sind Installationen im Bereich Herstellung von elektronischen und optischen Produkten sowie in der Chemischen Industrie.

⁵ Die Analyse schlüsselt jedoch nur 240 der insgesamt erfassten 1.279 Netze und damit ca. 20 % auf. Offenbar sind auch nicht alle Sektoren und Branchen enthalten.

Betrachtet man die Wachstumsbereiche des 3. Quartals 2023 (in Abb. 9 orange dargestellt), so fallen signifikante Wachstums-Steigerungen vor allem in der Elektroindustrie auf, aber auch in den Bereichen Nahrungsmittel, Getränke Metallverarbeitung und pharmazeutische Industrie, allerdings bei insgesamt z.T. sehr geringem Ausgangsniveau.

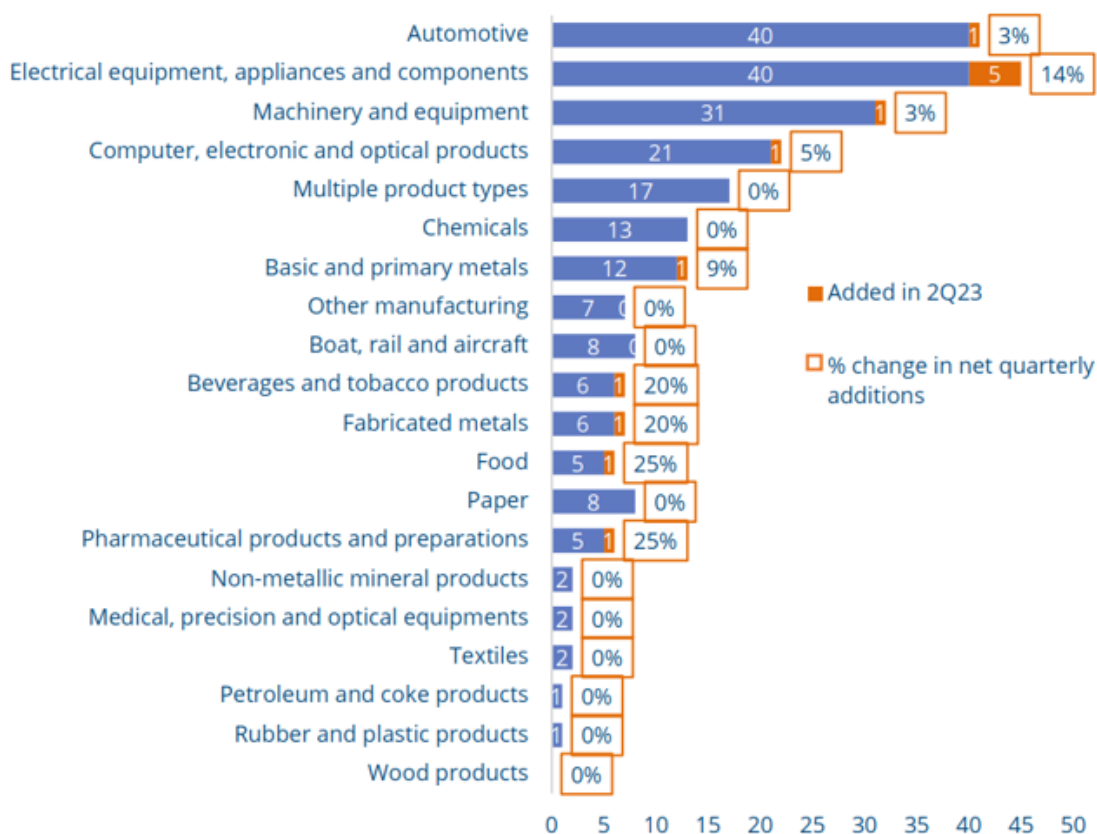


Abbildung 9: Darstellung eines Teils der weltweiten Campusnetz-Installationen nach Anwendungsgebieten. Quelle: GSA

2.3. Wachstumsraten

Die verfügbaren Analysen decken unterschiedliche Wachstumsaspekte ab. Daher wird nachstehend zwischen der Wachstumsrate an Campusnetz-Installationen und der Entwicklung des Umsatzwachstums unterschieden.

Wachstumsrate der 5G-Campusnetz-Installationen

Laut einem Bericht von Berg Insight⁶ wird sich der Einsatz privater LTE-/5G-Netze im Zeitraum von 2021 bis 2026 verzehnfachen. Berg Insight erwartet eine durchschnittliche jährliche Wachstumsrate der Installationen von 57 Prozent.

⁶ Berg Insight: »Private LTE/5G Networks for IoT Applications« (Langfassung: 1.500 Euro). Der Bericht lag dem Autor nicht im Original vor. Zusammenfassung unter: <https://www.berginsight.com/private-lte-5g-networks-for-iot-applications>



Am Ende des Zeitraums sollen laut dem Bericht 13.500 Campus-Netzwerke in Betrieb sein. Die Zahlen der GSA zwischen 2016 und 2023 stützen in etwa diese prognostizierte Rate.

Entsprechend einer Economist-Studie ⁷ planen 94 % der befragten Firmen Konnektivitäts-Upgrades oder implementieren diese bereits: „Die private 5G-Einführung erscheint kurz- bis mittelfristig in der Planung vieler Unternehmen. Insgesamt plant etwas mehr als die Hälfte der befragten Unternehmen (51 %) den Einsatz eines privaten 5G-Netztes innerhalb von 6-24 Monaten aufzubauen; 61 % in Japan, 55 % im Vereinigten Königreich, 52 % in den USA und 39 % in Deutschland. In allen Ländern geben 3 % der Unternehmen an, dass sie innerhalb von sechs Monaten private 5G-Netze aufbauen, 15 % innerhalb von 12 Monaten und 19 % innerhalb von 18 Monaten.“

Eine 2023 publizierte Markt-Analyse von „Custom Market Insights“ schätzt den Marktwert von 5G-Campusnetzen in Europa auf 1,13 Mrd. USD und prognostiziert eine jährliche Wachstumsrate von 12,2 Prozent.

Umsatzwachstum im Bereich 5G-Campusnetze

Informationen aus Q4/2023

Eine bereits im Mai 2023 publizierte Marktanalyse von „Custom Market Insights (CMI)“ ⁸ fokussiert auf den europäischen Markt für 5G-Campusnetze. Die Analyse hat für das Jahr 2022 einen Marktwert von 1,13 Mrd. ermittelt und prognostiziert für den Zeitraum 2023-2032 ein durchschnittliches jährliches Umsatzwachstum (CAGR) von 12,2 %. Für das Jahr 2032 wird ein Marktwert der privaten 5G-Netze von 3,2 Mrd. US-Dollar prognostiziert⁹. Für den weltweiten Markt prognostiziert die CMI-Studie allerdings einen CAGR von 49,7 %. Auch die Wachstumsprognosen anderer Marktforschungsinstitute geben deutlich höhere Wachstumsraten an (siehe unten). Zu den wichtigsten Akteuren im europäischen Markt zählen laut CMI die Unternehmen Siemens, Nokia, Ericsson, Bosch, Cisco Systems Inc und NEC Corporation.

Informationen aus früheren Quartalen

Einer Analyse von GrandViewResearch (GVR)¹⁰ zufolge lag im Jahr 2021 der globale Markt für private 5G-Netzwerke bei 1,38 Milliarden US-Dollar. Der Bericht geht für den Zeitraum 2022 bis 2030 von einem durchschnittlichen jährlichen Umsatzwachstum von 49,0 % aus. Gleichzeitig wird erwartet, dass die sich entwickelnden Netzwerkdienste der nächsten Generation den Bedarf an kritischer drahtloser Kommunikation für industrielle Abläufe, öffentliche Sicherheit und kritische Infrastrukturkonnektivität adressieren werden und so den Bedarf verstärken.

⁷ The Economist: Private 5G here and now: Perspectives on industry adoption.

<https://connect.hello.global.ntt/Economist-P5G-CIO-Survey-Report>

⁸ [Europe Private 5G Network Market Size, Trends, Share 2032 \(custommarketinsights.com\)](https://www.custommarketinsights.com/europe-private-5g-network-market-size-trends-share-2032)

⁹ Die Formel $1,13 \text{ Mrd. } \$ * (1,122^{9 \text{ Jahre}})$ ergibt allerdings, dass dieser Wert bereits im Jahr 2031 erreicht wird.

¹⁰ GVR-Report. Private 5G Network Market Size, Share & Trends Analysis Report By Component By Frequency (Sub-6 GHz, mmWave), By Spectrum, By Vertical, By Region, And Segment Forecasts, 2022 – 2030.

<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/private-5g-network-market>

Zu ähnlichen Aussagen kommt ein Marktüberblick von straits research¹¹. Sie schätzen den globalen Markt für private 5G-Netzwerke im Jahr 2022 auf 1,6 Mrd. US-Dollar und das Wachstum von 2023 (2,1 Mrd. USD) bis 2031 (54,9 Mrd. USD) auf jährlich ca. 43,8 %. Der am schnellsten wachsende Markt ist laut straits research in Nord-Amerika zu finden, der größte Markt hingegen in Asien.

Differenziert man die Campusnetze in private LTE-Netze und reine 5G-Netze, so ergibt sich folgendes Bild: Der Markt für privates 5G soll laut MarketDigits¹² auf 8,75 Mrd. US-Dollar in 2027 anwachsen, was einer jährlichen Wachstumsrate von 38,5 % gleich kommt. Hinzu kommt einer Einschätzung von MarketsandMarkets¹³ zu Folge ein Anwachsen des Markts für Privates LTE von 5,0 Mrd USD in 2022 auf 8,3 Mrd. USD in 2027, was einer jährlichen Wachstumsrate (CAGR) von 10,6 % entsprechen würde.

Eine weitere Prognose, von Maximise Market Research¹⁴, kalkuliert für das Jahr 2022 einen globalen Markt für private 5G-Netze von 7,6 Mrd. US-Dollar und prognostiziert 45,3 Mrd. US-Dollar für das Jahr 2029. Dies entspräche einer jährlichen Wachstumsrate (CAGR) von 29%.

Die im Web verfügbaren Markt-Analysen weisen unterschiedliche Werte zwischen ca. 10 % (Markets and Markets) und 50 % (GVP) jährliches Umsatzwachstum sowie sehr uneinheitlichen Angaben hinsichtlich des zukünftigen Gesamtmarktes auf.

Treiber für private 5G-Netze

Laut GVR wird der globale Markt in erster Linie durch einen wachsenden Bedarf an extrem zuverlässiger Konnektivität mit niedriger Latenz für das industrielle Internet der Dinge (IIoT), einschließlich kollaborativer Roboter, Industriekameras und industrieller Sensoren, angetrieben. Auch von straits research werden für das erwartete Wachstum der 5G-Campusnetze als wesentliche Treiber „Industrie 4.0“ sowie auf IoT basierende „Smarte Infrastrukturen“ wie z.B. Smart-City-Anwendungen genannt. Als Wachstumshemmnis gilt v. a. die breite Verfügbarkeit von (günstigem) WLAN, das mittlerweile fest in die Geschäftsprozesse integriert ist. Besondere Chancen ergeben sich durch die Technologie des „Network Slicing“ als zentralem architektonischen Merkmal von 5G Standalone (SA), mit dem mehrere virtuelle Netze auf einer einzigen physischen Netzinfrastruktur geschaffen werden können. Dies erlaubt es den Telekommunikationsanbietern (MNOs), geschäftskritische Anwendungsfälle umzusetzen und so neuartige dezidierte Angebote für Business-Kunden zu unterbreiten.

Im Rahmen einer Studie von IDC (September 2022)¹⁵ befragten Marktforscher weltweit über 1.000 Entscheider zu den wichtigsten Gründen, die für den Einsatz von 5G-Campusnetzen sprechen. 44,5 % der Befragten nannten eine bessere Kontrolle über die eigenen Infrastrukturen und Endgeräte als Hauptfaktor, 41,3 % nannten die Sicherheit von Nutzern und Geräten als wesentliches Motiv. Darüber hinaus wurden von mehr als 1/3 der Befragten Kostenargumente, die Standardisierung/Vereinfachung der unternehmensweiten Kommunikationsinfrastrukturen und Datenschutz genannt. 32 % gaben an, dass die bisher verfügbaren Kommunikationstechnologien die zukünftig geplanten Anwendungsfälle nicht ausreichend unterstützen.

Die Marktanalyse von „Custom Market Insights (CMI)“ gibt folgende vier Treiber für das Marktwachstum an:

¹¹ Vgl. <https://straitsresearch.com/report/private-5g-network-market> , Update 12.10.2023

¹² Vgl. <https://marketdigits.com/private-5g-network-market/>

¹³ Vgl. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/private-lte-market-64117901.html>

¹⁴ Vgl. <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/private-5g-network-market/188048/>

¹⁵ Vgl. Emerging Opportunities for 5G Private Networks <http://idcdocserv.com/download/US49679522.pdf>



- Das zunehmende Aufgreifen von Industrie 4.0 und die Nutzung fortgeschrittener Technologien
- Die wachsende Anzahl vernetzter Geräte und der daraus resultierende Bedarf an sicheren Highspeed-Netzwerken für Smartphones, Tablets und Wearables. Campusnetze sind lt. der Studie deutlich sicherer und gestaltbarer als öffentliche Funknetze.
- Das Aufkommen neuer Anwendungsszenarien: 5G-Campusnetze finden zunehmend Eingang in neue Anwendungsszenarien wie Smart City, Gesundheit und Logistik
- Die Unterstützung durch die Europäische Kommission durch Fördermaßnahmen und Regulierung.

Als weiterer Hintergrund für das Marktwachstum werden verschiedene Merger und Unternehmenskäufe der Jahre 2019-2021 angegeben, etwa die Übernahme von Cradlepoint durch Ericsson 2020 oder die Akquisitionen von GIGA durch die Deutsche Telekom AG. Gleichzeitig werden auch Inhibitoren genannt, die das im Vergleich zum Weltmarkt niedrigere Wachstum in Europa erklären könnten:

- Cybersicherheitsrisiken: Unternehmen, die private 5G-Netze einsetzen, müssen zunächst sicherstellen, dass sie über robuste Sicherheitsmaßnahmen zum Schutz ihrer Unternehmensinfrastruktur verfügen.
- Regulatorische Herausforderungen: Bei der Einführung privater 5G-Netze könnten Unternehmen in Europa auf regulatorische Herausforderungen im Zusammenhang mit der Frequenzzuweisung und Lizenzierung stoßen.
- Konkurrenz durch öffentliche Netze: In ganz Europa werden öffentliche 5G-Netze aufgebaut, die mit privaten 5G-Netzen um Marktanteile konkurrieren könnten. Unternehmen könnten sich dafür entscheiden, öffentliche Netze zu nutzen, anstatt eigene private Netze einzurichten, insbesondere wenn sie nicht das Maß an Anpassung und Kontrolle benötigen, das private Netze bieten.
- Wirtschaftliche Unsicherheit: Der Markt für private 5G-Netze in Europa könnte durch einen wirtschaftlichen Abschwung bedroht sein (geringere Investitionen der Unternehmen in Technologie und Infrastruktur).

2.4. Innovationen am Markt

Kontinuierlich entstehen neue Angebote im Markt, um den produktiven Einsatz von 5G-Campusnetzen zu testen bzw. im Unternehmen einzuführen. Die etablierten Anbieter und Ausrüster gehören dabei zu den Vorreitern. Zunehmend werden neben den Campusnetzen auch öffentliche Funknetze mit Open-RAN-Komponenten ausgestattet. Dies erleichtert den etablierten Anbietern, auf ihrer Infrastruktur für das öffentliche Funknetz per Network-Slicing-Verfahren auch private Funknetze anzubieten.

Kontinuierlich entstehen neue Angebote im Markt, um den produktiven Einsatz von 5G-Campusnetzen zu testen bzw. im Unternehmen einzuführen. Traditionelle Anbieter und Ausrüster sind dabei Vorreiter.

Demonstrations- und Testfelder

Das britische Innovationscluster „[Digital Catapult](#)“ hat in einer Kooperation mit Cellnex UK und Cppgemini ein 5G Stalone Feldtestgelände für Open RAN-Technologie eröffnet¹⁶. Die britische Regulierungsbehörde für Kommunikationstechnologien Ofcom hatte Digital Catapult hierfür eine spezielle Forschungs- und Entwicklungslizenz erteilt. Die in Hammersmith und Fulham gelegene Freiluftanlage soll als Knotenpunkt für die Weiterentwicklung und Validierung von Open RAN-Lösungen in der Hauptstadt dienen. Sie soll es Anbietern ermöglichen, ihre Produkte in einem repräsentativen Netzeinsatzszenario eingehend zu testen. Auf dem Testgelände werden die typischen Herausforderungen simuliert, die in einem realen Netz auftreten; ebenso wird die Komplexität für einen zukünftigen kommerziellen 5G-Einsatz sowohl im öffentlichen wie auch in privaten 5G-Netzen nachgebildet.

[Nokia](#) hat im Oktober 2023 ein 6G-Labor im Forschungszentrum Bangalore, Indien, eröffnet¹⁷. Es unterstützt die "Bharat 6G Vision" der indischen Regierung, die Indien eine globale Schlüsselrolle bei der Standardisierung, Entwicklung und Implementierung der 6G-Technologie zuweisen will. Das Labor soll als Plattform für die Zusammenarbeit von Branchenvertretern fungieren und die Erprobung innovativer Lösungen erleichtern.

Die [Initiative »5G Bavaria«](#) umfasst ein Testzentrum am Fraunhofer IIS in Erlangen und verschiedene Testbeds in Bayern. Im Testzentrum sind verschiedene Link-Level-Umgebungen zur Performanz-Optimierung verfügbar, die neben der Konnektivität auch die Lokalisierungsfunktionalität der 5G-Releases 16 und 17 berücksichtigen. Der Fokus liegt auf Anwendungen in den Bereichen Industriekommunikation (Industrial IoT), Fahrzeugkommunikation („Vehicle to Everything“, V2X) sowie satellitengestützte Netze (Non-Terrestrial-Networks, NTN). Ein weiterer Teil der Initiative ist das 5G-Testbed „Industrie 4.0“, hier können kundenspezifische Anwendungsszenarien aus Industrie und Logistik unter realistischen Bedingungen in einem eigenständigen 5G-Campusnetz getestet werden.

Das global agierende [Unternehmen viavi](#)¹⁸ mit Sitz in Chandler (USA) und Niederlassungen in Berlin und Eningen (BW), hat nach eigenen Angaben „*ein intuitives, kostengünstiges und lückenloses 5G-Testportfolio entwickelt, das ideal für die Überprüfung von privaten 5G-Netzen sowie für die Gewährleistung der Zuverlässigkeit (Assurance) während des gesamten Netzwerk-Lebenszyklus geeignet ist.*“ Ein spezielles Angebot zielt auf Ende-zu-Ende-Lösungen, die auf Open RAN basieren. VIAVI bietet Tests sowohl einzelner Netzelemente, wie O-RU, O-DU, O-CU und Near-RT RIC an, aber auch kombinierte Elemente für eine lückenlose Ende-zu-Ende-Validierung offener Netze. Geprüft wird, „*ob die Schnittstellen erwartungsgemäß funktionieren und die von einem einzigen (Single-Vendor-Netze) oder auch von mehreren Anbietern (Multi-Vendor-Netze) stammenden Komponenten unter Last den vorgegebenen Spezifikationen gerecht werden.*“

[Telefónica](#) betreibt im spanischen Malaga ein 5G-Campusnetz am Testzentrum für vernetztes und autonomes Fahren („CCAM“). Auf dem 50.000 Quadratmeter großen Gelände können Automobilunternehmen, -zulieferer und Start-ups ihre 5G-Lösungen und -Kommunikationsanwendungen (V2X, Fahrzeug zu anderen Objekten) unter realistischen Bedingungen erproben. Geboten wird eine Verkehrsinfrastruktur für wirklichkeitsnahe Tests sowie ein System aus zwei 5G-Antennen, leistungsstarken Servern, einer Vielzahl über das Gelände verteilten Sensoren sowie einem aufwändigen Kamerasystem.

¹⁶ [SONIC Labs first outdoor Open RAN testing site launches with Ofcom, Cellnex UK and Cppgemini - Digital Catapult | Digital Catapult \(digicatapult.org.uk\)](#)

¹⁷ Vgl. <https://developingtelecoms.com/telecom-business/vendor-news/15582-nokia-opens-6g-lab-in-india.html>

¹⁸ Vgl. <https://www.viavisolutions.com/de-de/loesungen/private-5g-netze>



Internationale Demonstrationsprojekte

Der spanische Betreiber von Telekommunikationsinfrastrukturen Cellnex Telecom hat am internationalen Flughafen San Sebastian für den Flughafenbetreiber Aena ein privates 5G-Netz mit Komponenten von Nokia eingerichtet¹⁹. Cellnex war für die Installation und den Rollout des 5G-Netzes am Flughafen verantwortlich. Das Campusnetz soll vor allem Anwendungsfälle im Zusammenhang mit dem Drohnenbetrieb (Sicherheit und erweiterte Überwachung) unterstützen.

Anfang dieses Jahres erteilte der spanische Bahn-Infrastrukturbetreiber Adif Alta Velocidad den Firmen Cellnex Telecom und Nokia einen Auftrag im Wert von 20,5 Millionen Euro für den Aufbau privater und öffentlicher 5G-Netze, um seine Bahnlogistikzentren in Spanien zu verbinden, zu digitalisieren und zu automatisieren. Cellnex Telecom betreibt Mobilfunknetze in zwölf europäischen Ländern, insbesondere in Spanien, Frankreich, Italien und den Niederlanden.

Nokia anyRAN: Nokia und Elisa haben im Oktober 2023 bekannt gegeben, dass sie den branchenweit ersten Test von Cloud RAN mit In-Line-Beschleunigung erfolgreich abgeschlossen haben. Der erfolgreiche Test fand am Hauptsitz von Elisa in Finnland statt und nutzte dessen kommerzielles 5G Standalone RAN und 5G-Core. Die Studie baut auf Nokias anyRAN-Ansatz auf, der eingeführt wurde, um den Funktionsumfang, die Energieeffizienz und die hohe Leistung von Cloud RAN im Vergleich zu zweckgebundenem RAN sicherzustellen. Elisa treibt die Cloudifizierung des Netzwerks voran. Die ersten kommerziellen Implementierungen werden in den nächsten Jahren in Finnland erwartet und werden die Entwicklung der Cloudifizierung in den Kernnetzen fortsetzen.

ESA „Sunrise Partnership“: Forscher der Universität Surrey demonstrierten die nahtlose Umschaltung zwischen bodengestützten mobilen Geräten mit 5G-Konnektivität und dem Eutelsat-Satellitensystem mit 5G-Dienstqualität. Das ESA-Projekt Sunrise Partnership wird von der britischen Weltraumbehörde unterstützt. Die Ingenieure testeten Hochgeschwindigkeits-Videokonferenzen sowie Spiele und einfaches Surfen im Internet fast ohne Verzögerungen oder Störungen, dank des aus fast 600 Satelliten bestehenden Netzwerks in der niedrigen Erdumlaufbahn und des 6G/5G Innovation Centre der Universität Surrey als Testumgebung.

Spanisches Förderprogramm²⁰: Die spanische Regierung hat ein nationales Förderprogramm zur Weiterentwicklung von 5G und Open RAN gestartet. Mit 9,5 Mio. Euro an Fördermitteln werden sieben Projekte gestartet. Sie zielen darauf ab, die Nutzung der 5G-Technologie in verschiedenen Industriezweigen zu erproben. Ein Projekt wird industrielle Konnektivität und 5G-Anwendungen für das virtuelle Management von Werksabläufen im Automobilsektor entwickeln. Bei einem zweiten Projekt geht es um einen Hub, der mit Hilfe von Extended Reality (XR) betrieben wird, um die Verwaltungs- und Betriebssysteme von Abfallbehandlungsanlagen zu integrieren. Ein weiteres Projekt zielt auf die Digitalisierung und Dekarbonisierung eines Industriezentrums über eine 5G-Kommunikationslösung.

Unternehmenslösungen im Internationalen Markt

Samsung bietet 5G-Netzwerklösungen²¹ u. a. in Zusammenarbeit mit NTT an. Anwendungsschwerpunkte für die Campusnetze sind „Smart Factory“, Büro- und Universitätskomplexe, Energieunternehmen und öffentliche Sicherheit. Neben On-Premise Deployment werden den Kunden auch Network-Slicing-Lösungen angeboten. Laut Webseite umfasst die Lösung von Samsung die gesamte Netzwerkausrüstung einschließlich Basisband, Funk und Kern sowie ein

¹⁹ <https://www.rcrwireless.com/20230615/private-5g/cellnex-deploys-private-5g-network-spanish-airport>

²⁰ Vgl. <https://www.telecompaper.com/news/spain-allocates-further-eur-95-mln-to-new-5g-pilots--1477916>

²¹ <https://www.samsung.com/global/business/networks/solutions/private-networks/>

spezielles Managementsystem. Die Elemente werden zu einer für den Kunden optimierten "One-Box-Lösung" zusammengestellt. Samsung bietet je nach Land des Kunden und Funkspektrum unterschiedliche Lösungen an. Der 5G-Core enthält alle grundlegenden Funktionen, kann aber je nach benötigter Kapazität in einem einzigen oder mehreren kommerziellen Servern implementiert werden. Über Samsungs Management-Lösung (PNMS) lässt sich das private Netzwerk effizient verwalten.

In Frankreich wurde von der Orange-Tochtergesellschaft Nordnet ein Satelliten-Breitbanddienst mit Downlink-Geschwindigkeiten von bis zu 200 Mbit/s und Uplink-Geschwindigkeiten von bis zu 15 Mbit/s eingeführt (Satellit: Eutelsat Konnect VHTS). Das Angebot ergänzt das bestehende Portfolio von Nordnet an Breitbandoptionen (Glasfaser- oder Kupferkabel, Mobilfunk, drahtloser Festnetzzugang) und ist Teil des Programms „Cohésion Numérique des Territoires“ (Digitaler Zusammenhalt der Regionen) der französischen Regierung. Der Dienst kostet 49,99 €/M. (zzgl. Kosten für die Satellitenanlage) und ist damit nur unwesentlich teurer als der 500-Mbit/s-Glasfaser-Breitbanddienst von Orange (42,99 €/M.) bzw. der Satelliten-Breitbanddienst Starlink von Elon Musk (derzeit 40 €/M.).

Cisco bietet seit Mai 2023 mit „Cisco Private 5G“ Unternehmenslösungen im Bereich Campusnetze an²². Die Lösung wird als Serviceangebot bereitgestellt, um die Vorlaufkosten (CapEx) zu minimieren. Ein intuitives Dashboard soll die mit dem Betrieb eines Campusnetzes einhergehenden Probleme geringhalten. Das Angebot wird als Ergänzung bereits bestehender Netzwerke beworben. Adressiert werden Use Cases aus den Bereichen Produktion, Logistik, Veranstaltungen, Bergbau, Energie und Bildung. Für die Realisierung setzt Cisco auf sein globales Partner-Netzwerk.

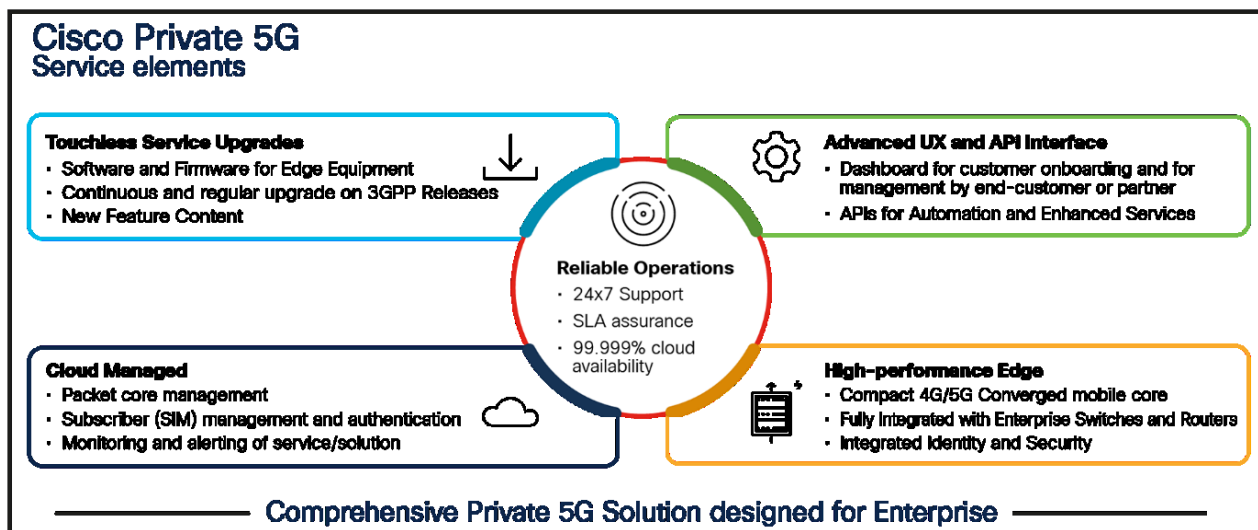


Abbildung 10: Schematische Darstellung des Angebots „Cisco Private 5G“

²² Vgl. <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/private-5g/private-5g-service-so.html>



Nutzung von Open RAN im öffentlichen Funknetz (MNO)

Neu in Q4/2023: Verschiedene Presseberichte weisen darauf hin, dass (kommerzielle) Open-RAN-Komponenten von den Telekommunikationsanbietern zunehmend auch in den öffentlichen Funknetzen eingesetzt werden.

- Vodafone Open-RAN-Installationen in UK²³: Im August 2023 hat Vodafone mit der beschleunigten Installation von Open-RAN-Ausrüstung an 2.500 Standorten in Großbritannien begonnen. Laut Vodafone übertrifft die Leistung von Open RAN in den meisten seiner Testgebiete die alte Ausrüstung. Bei der Open-RAN-Lösung arbeitet Vodafone mit einer Vielzahl von Anbietern zusammen (Amdocs, Atrinet, Dell Technologies, Hewlett Packard Enterprise (HPE), IBM, Juniper, Qualcomm, Samsung, VMware, Wind River), mit dem Ziel, ab 2024 die Vorteile einer verbesserten Automatisierung für Kunden und Betreiber aufzuzeigen. Vodafone will die heute zeitaufwändigen manuellen Prozesse durch Zero-Touch-Verfahren ersetzen. Dadurch können neue Software-Upgrades schneller und kostengünstiger eingeführt und neue 5G-Funktionen für Kunden installiert werden.
- Orange und Vodafone hatten bereits im Februar 2023 angekündigt, dass sie gemeinsam ein Open-RAN-Netz (4G !!) im Umland von Bukarest errichten möchten. Im Oktober 2023 wurde über eine erfolgreiche Pilotierung berichtet.²⁴ Dabei werden die Komponenten des 5G-Netzes (Radio Units, Cloud Space) von beiden Anbietern gemeinsam genutzt. Neben Rumänien gilt auch Spanien als potenzieller Markt für ein gemeinsames Vorgehen der beiden Unternehmen. Vodafone hatte im Oktober 2022 über die Inbetriebnahme erster Open-RAN-basierter Funkmasten in Deutschland (Arnstorf) berichtet²⁵.
- Nach mehrfachen Verzögerungen hat 1&1 am 8. Dezember 2023 sein 5G-Mobilfunknetz in Deutschland gestartet²⁶. Ein Roamingvertrag sichert den Empfang dort, wo keine eigenen Antennen verfügbar sind. Die Netzsteuerung des cloud-nativen 1&1 O-RAN erfolgt per Software über die Plattform von Rakuten sowie über ein Kernnetz von Mavenir. Für die Ende-zu-Ende-Integration des Netzes ist die Rakuten-Tochter Symphony verantwortlich.
- Nokia und die Deutsche Telekom AG (DT) haben am 12. Dezember 2023 bekannt gegeben²⁷, dass sie mit dem Aufbau eines herstellerübergreifenden Open-RAN-Netzwerks in Deutschland begonnen haben. Ein weiterer Partner dabei ist Fujitsu. Die Technologie ist vollständig in das kommerzielle Netz der DT integriert, und das erste Cluster wird kommerzielle 2G-, 4G- und 5G-Dienste für Kunden in der Region Neubrandenburg in Norddeutschland bereitstellen. Nokia wird im Rahmen dieser Vereinbarung den etablierten Anbieter ersetzen. Das Vorhaben baut auf dem Projekt „O-RAN Town“ des BMDV-Förderprogramms InnoNT auf und wird ab dem ersten Quartal 2024 fortgesetzt.
- In den USA lässt AT&T den Großteil seines 5G-Mobilfunknetzes durch Ericsson auf Open RAN umrüsten. Der Auftrag hat einen Wert von bis zu 14 Milliarden US-Dollar in den nächsten fünf Jahren und gilt als der größte Auftrag in der Geschichte Ericssons. Bislang ließ AT&T sein US-Mobilfunknetz durch Nokia ausrüsten.

²³ <https://www.vodafone.com/news/technology/open-ran-automation-provide-customers-connectivity-in-one-click>

²⁴ Vgl. [Orange and Vodafone complete first 4G calls over shared pilot network in Romania based on Open RAN - Newsroom Orange Groupe](#)

²⁵ Vgl. [5G: Vodafone nimmt erste Open-RAN-Sender in Betrieb | heise online](#)

²⁶ Vgl. [Mit dem 1&1 5G Netz ist Europas erstes Open RAN voll funktionsfähig \(1und1.de\)](#)

²⁷ Vgl. <https://www.telecomtv.com/content/open-ran/orange-vodafone-hook-up-for-rural-open-ran-rollouts-46738/>

3. Entwicklung von 5G-Campusnetzen in Deutschland

Die nachstehenden Abschnitte legen einen Fokus auf die Ausbreitung der 5G-Campusnetze in Deutschland. Dargestellt wird die Entwicklung der Frequenzzuteilungen in den Bereichen 3.700-3.800 MHz sowie im Frequenzbereich 26 GHz auf Basis der von der BNetzA bereitgestellten Daten. Des Weiteren wird auf verfügbare Bedarfsanalysen eingegangen und es werden einzelne relevante Umsetzungsprojekte kurz skizziert.

Eine Besonderheit ist das Railway Mobile Radio (RMR), welches als nicht-öffentliches (ergo privates) Funknetz der Eisenbahn in ganz Deutschland und Europa ein Campusnetz ohne räumliche Begrenzung darstellt. Dafür sind das gepaarte Frequenzband 874,4–880,0 und 919,4–925,0 MHz sowie das ungepaarte Frequenzband 1.900–1.910 MHz seit dem Jahr 2021 reserviert. Ab 2025 wird im Frequenzband 1.900–1.910 MHz das Future Railway Mobile Communication System (FRCMS) auf 5G-Basis implementiert.

3.1. Frequenzzuteilungen für lokale Frequenznutzungen

Wesentliche Quelle für die Informationen in diesem Kapitel sind die Webseiten der BNetzA (Stand: 01.12.2023, Vergleichswerte: 01.10., 15.4. und 15.1.2023)²⁸. Dort werden jedoch nur die Zuteilungsinhaber benannt, welche einer Veröffentlichung zugestimmt haben; die Dunkelziffer ist nicht bekannt. Im Frequenzbereich 3.700-3.800 MHz wurden

bislang insgesamt 366 Anträge auf Zuteilung von Frequenzen für private 5G-Netze gestellt und es fanden 355 Zuteilungen von Frequenzen für diese 5G-Netze durch die Bundesnetzagentur statt (Vergleichswerte Q4/22: 317; Q1/23: 293, Q2/23: 331, Q3/23: 350 Anträge). Dies entspricht einem Zuwachs von 12 % im Jahr 2023. Im Frequenzbereich 24.250-27.500 MHz (26 GHz, Mobiles Breitband, Stand 01.12.2023) wurden insgesamt 19 Anträge auf Zuteilung von Frequenzen für lokale 5G-Netze gestellt und 18 davon durch die Bundesnetzagentur erteilt (Q1/23: 16 Anträge). Im vergangenen Halbjahr wurden somit 3 Anträge in diesem Frequenzbereich eingereicht.

Im vergangenen Jahr ist die Zahl der Frequenzzuteilungen für 5G-Campusnetze um ca. 12 Prozent gestiegen.

3.2. Analyse der bekannt gewordenen Campusnetz-Installationen

Im Konsortialprojekt CampusOS wird eine systematische Erfassung von Daten zu Campusnetzen in Deutschland auf der Basis öffentlich zugänglicher Quellen vorgenommen und eine Datenbank, in Form des CampusOS Network Trackers, aufgebaut. Erhoben werden allgemeine Informationen zum Campusnetz, zu den Vendors und Service-

²⁸ Die Informationen werden i. d. R. monatlich von der BNetzA aktualisiert. Quellen:

[2023-xx-xx Zuteilungsinhaber \(bundesnetzagentur.de\)](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/LokaleNetze/Zuteilungsinhaber26GHz.pdf?__blob=publicationFile&v=2) sowie https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/LokaleNetze/Zuteilungsinhaber26GHz.pdf?__blob=publicationFile&v=2



Anbietern, Kriterien zur Klassifizierung von Campusnetzen und zu Betreibermodellen. Die verwendeten Quellen werden dokumentiert. Ausgangspunkt der Recherche ist die von der Bundesnetzagentur veröffentlichte Liste der Lizenznehmer für das 3,7 GHz-Industriespektrum. Um auch Campusnetze zu erfassen, die auf der Basis von öffentlichen Mobilfunknetzen realisiert werden, wurden zusätzlich die Pressemitteilungen und Blogbeiträge der MNOs ausgewertet.

Über 16 % der realisierten 5G-Campusnetze in Deutschland basieren auf Open-RAN-Architekturen.

Der Tracker basiert aktuell auf dem Veröffentlichungsstand vom 01.12.2023 der Liste der Lizenznehmer und umfasst 104 Campusnetze, zu denen Informationen aus öffentlichen Quellen recherchiert werden konnten. Der Tracker wird fortlaufend aktualisiert. Damit wird für einen großen Teil des Marktes eine bisher nicht vorhandene Transparenz hergestellt; gleichwohl müssen die Daten mit Vorsicht interpretiert werden, da keine Aussage dazu möglich ist, ob die mit dieser Methodik erfassten Daten für den Gesamtmarkt repräsentativ sind. Bisher wurden im Projekt CampusOS unter anderem folgende Erkenntnisse aus dem Tracker gewonnen:

12 dieser Netze wurden im Jahr 2023 erstmals gegenüber der Öffentlichkeit kommuniziert; gegenüber 25 kommunizierten Netzen im Jahr 2022, 27 Netzen im Jahr 2021 und 23 Netzen im Jahr 2020. Bezogen auf das Jahr 2023 entspricht der Zuwachs sehr gut dem im Kapitel 2.1 dargestellten 12 %igen Wachstum der erteilten Lizenzen; es bleibt also festzustellen, dass etwa 30 % der Lizenznehmer in irgendeiner Form zu ihren 5G-Vorhaben öffentlich kommunizieren. Bei der Interpretation des CampusOS Network Trackers muss demnach weiterhin berücksichtigt werden, dass er lediglich einen Ausschnitt abbildet, der für den Gesamtmarkt nicht unbedingt repräsentativ sein muss.

Bei diesem Zuwachs um 12 Netze muss auch beachtet werden, dass es sich hier um ein Netto-Wachstum handelt. 4 der im letzten Stand des Trackers erfassten Netze mussten aus der Datenbank gelöscht werden, z. B. weil sich die Lizenznehmer nicht mehr auf der von der BNetzA veröffentlichten Liste befinden. Es konnten bis auf einen Fall einer Insolvenz keine Gründe dafür recherchiert werden.

33 der im Network Tracker erfassten Campusnetze befinden sich in einer produktiven Umgebung (Produktionsstätten, Logistikbetriebe, Gesundheitswesen usw.); ob diese Netze bereits produktiv eingesetzt werden, lässt sich in der Regel nicht ermitteln. Dem gegenüber stehen 65 Campusnetze in einer nicht-produktiven Umgebung (Forschung, Bildung, Entwicklungs- und Testnetze, Innovation Center). Bei den übrigen Netzen war keine eindeutige Zuordnung möglich.

Aus den Veröffentlichungen lässt sich erkennen, dass die ersten Jahre 2019 bis 2021 – wenig überraschend – von Forschungs-, Test- und Entwicklungsnetzen dominiert waren. Dahingegen waren es im Wesentlichen größere Unternehmen, die Campusnetze in produktiven Umfeldern realisierten. Das Jahr 2022 brachte eine signifikante Änderung in dem Sinne, dass erstmals fast so viele Campusnetze in produktiven Umfeldern (11) kommuniziert wurden wie in nicht-produktiven Umfeldern (13); hinzu kommt, dass fast die Hälfte dieser Netze in produktiven Umgebungen von mittelständischen Unternehmen realisiert wurden.

Von den 33 identifizierten Campusnetzen in einem produktiven Umfeld entfallen 16 auf Fabriken und sonstige Produktionsstätten, 12 auf Logistik- oder Verkehrsbetriebe, 4 auf Krankenhäuser sowie 1 auf Sonstige. Dies zeigt, dass 5G weit über den Bereich „Industrie 4.0“ hinaus Relevanz bekommen hat.

Bemerkenswert ist, dass die insgesamt 17 bekannten Open-RAN-Installationen (16,4 % Anteil aller Netze) nicht nur in Forschungs- und Testnetzen eingesetzt werden, sondern vor allem ab 2022 auch in produktiven Umfeldern. Mit 4 identifizierten Netzen (12 %) ist im Network Tracker mehr als jedes zehnte Campusnetz in einem produktiven Umfeld bereits mit Open RAN realisiert. Im nicht-produktiven Umfeld liegt der Anteil mit 18,5 % noch höher.

3.3. Bedarfserhebungen in der deutschen Wirtschaft

WIK-Consult: Diffusion von 5G-Campusnetzen in Deutschland (03/2023)²⁹

Die auf Daten aus dem August 2022 basierende Studie zeigt aktuelle Entwicklungen bei Campusnetzen auf. Hintergrund sind Erkenntnisse des vom Land Nordrhein-Westfalen finanzierten „5Guarantee-Projekts“. Die Frequenzvergabe in Deutschland wird als innovative Vorgehensweise charakterisiert, die im Ausland schon zahlreiche Nachahmer gefunden hat. Aus Sicht der Autoren liegt die Motivation von Interessenten für die Errichtung von 5G-Campusnetzen 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 als Schlüsseltechnologie für die digitale Transformation von Wertschöpfungsprozessen angesehen. Die technischen Potentiale von 5G erlauben in vertikalen Märkten innovative Anwendungen, die eine höhere Wettbewerbsfähigkeit versprechen, etwa in den Bereichen Intralogistik (fahrerlose Transportsysteme), Fernwartung (Augmented Reality) oder schnellere Lagerinventur. Die Umfrage der WIK Consult ergab: als wichtigster Faktor für die Adaption von 5G in den Unternehmen wurde die technische Leistungsfähigkeit genannt. Die befragten Unternehmen gaben als bedeutsamen Faktor die Datenhoheit und Datensicherheit in den 5G-Campusnetzen an. Vornehmlich profitieren aktuell hiervon die großen Unternehmen mit eigener IT- sowie F&E-Abteilung (BASF, Daimler, Siemens, Bosch, VW, BMW, Fraport, Deutsche Messe). Sie verfügen am ehesten über das für den Einsatz eines 5G-Campusnetzes erforderliche Knowhow. Einen Schub versprechen sich die Autoren vom 3GPP Release 17, das Spezifikationen für wichtige industrielle Funktionen bietet (z.B. Erweitertes Dynamic Spectrum Sharing, Erkennung von Edge-Funktionen im Netzwerk). Die Autoren schlussfolgern allerdings, dass 5G-Campusnetze in Deutschland nur dann zur Erfolgsgeschichte werden können, wenn sie auch für die 400.000 mittleren Unternehmen attraktiv und handhabbar werden. Hinderungsgründe werden aktuell noch in den hohen Kosten für die Errichtung eines 5G-Testfelds, in der noch fehlenden Verfügbarkeit von Soft- und Hardware sowie in der schwierigen Einschätzung der Einsatzmöglichkeiten der Campusnetze gesehen.

Umfrage des Bitkom zur zukünftigen Nutzung von Campusnetzen (11/2022)

Bitkom Research hat eine repräsentative Umfrage mit 553 Industrieunternehmen in Deutschland im Auftrag des Digitalverbands Bitkom durchgeführt.³⁰ Die Ergebnisse wurden zum 15.11.2022 veröffentlicht. Gefragt wurde:

- A) „Inwieweit nutzen Sie ein 5G-Campus-Netz oder wollen dies zukünftig nutzen?“ 26 % der Industrieunternehmen wollen Campus-Netze mit 5G einrichten oder haben es schon getan. 7 % der Befragten planen die Einrichtung in Eigenregie, 19 % durch einen Mobilfunkanbieter.
- B) „Für welche der folgenden Anwendungsszenarien setzen Sie 5G in Ihrem Unternehmen bereits ein bzw. wollen Sie 5G zukünftig einsetzen?“ Hier zeigten die Ergebnisse eine Präferenz für die Nutzung von 5G-Campusnetzen in folgenden Anwendungsbereichen:
- Vernetzung von Produktionsanlagen 85 %
 - Steuerung von Maschinen in Echtzeit 79 %
 - Fernwartung von Anlagen 74 %
 - Assistenzsysteme AR/VR 71 %
 - autonome Fahrzeuge und Transportsysteme 65 %
 - Einsatz mobiler Roboter 40 %

²⁹ <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/273157/1/1847197930.pdf>

³⁰ Quelle: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Viertel-deutscher-Industrie-5G-Campus-Netze>



3.4. Kommerzielle Angebote in bzw. aus Deutschland

Die Deutsche Telekom AG (DTAG) hat mit unterschiedlichen Partnern kommerzielle Angebote für 5G-Campusnetze entwickelt:

- DTAG hat mit Ericsson eine Network-Slicing-Lösung für Unternehmen entwickelt und getestet. Mit dem neuen Slice-Design-Tool lassen sich Network-Slices für Cloud-basierte Applikationen von Unternehmen konfigurieren. Es bietet eine integrierte Buchung und Konfiguration von Netzwerk-Slices sowie Schnittstellen für die Integration in Verwaltungsschnittstellen von Drittanbietern. Kunden und Kundinnen sollen dabei die Möglichkeit haben über ein Internetportal individuelle Campusnetz-Produkte für ihre digitalen Anwendungen auszuwählen.
- DTAG und Microsoft wollen mit dem Produkt „Campus-Netz Smart“³¹ den Einstieg in 5G-Campusnetze erleichtern. Die gemeinsame Ende-zu-Ende-Lösung auf Basis von Microsoft Azure sei geeignet für kleine und mittlere Geschäftskunden und Unternehmen mit bestehender Azure-Landschaft. Microsoft stellt dazu seinen Azure Private 5G Core Service auf Azure Stack Edge bereit. Die Telekom bietet den Kunden den kompletten Aufbau des Campusnetzes an, inklusive Planung, Aufbau des privaten Netzes unter Nutzung von Azure-Diensten, Antennen sowie Betrieb als Managed Service. Eine Augmented-Reality-Fernwartungslösung ist ebenfalls vorinstalliert. Ein Feldversuch zu dieser Lösung wurde bereits im Februar 2023 gestartet.
- Daneben bietet die Telekom auch die „Campus-Netz“-Varianten S, M, L sowie Private an³², teilweise in Kooperation mit Amazon Web Services. Dieses „Integrated Private Wireless on AWS“³³ wiederum wird von Amazon in verschiedenen Ländern mit jeweils dort ansässigen MNO umgesetzt.

Vodafone bewirbt drei Business-Lösungen für 5G-Campusnetze. Die Variante „Campus Flex“ sichert die Performance des Kunden in Vodafone’s öffentlichen Netz. Kunden erhalten priorisierte oder dedizierte Ressourcen durch Slicing des Netzwerks. In der „Campus Private“-Variante wird beim Kunden ein eigenes Mobilfunknetz eingerichtet und mit dem öffentlichen Vodafone-Netz kombiniert. Sensible Daten bleiben im Gelände des Unternehmens, gleichzeitig ist die Kommunikation nach außen gewährleistet. Ein komplett autarkes 5G-Campusnetz bietet die Variante „Business Campus Isolated“. Diese-Lösung wurde auf der Hannover-Messe 2023 dem breiten Publikum vorgestellt:

Siemens bringt eine selbst entwickelte private Infrastruktur für den Mobilfunkstandard 5G auf den Markt (Meldung vom 04. Oktober 2023³⁴). Die Lösung soll es Industrieunternehmen ermöglichen, eigene lokale 5G-Netze aufzubauen, die Automatisierungsanwendungen bestmöglich unterstützen. Die Siemens 5G-Infrastruktur besteht aus einem 5G-Core und einem Radio Access Network (RAN, Funkzugangnetz): Das RAN umfasst die Central Unit (CU), die Distributed Unit (DU) und die Radio Units (RUs). Unterschiedliche 5G-Endgeräte können sich mit der 5G-Infrastruktur verbinden und im privaten 5G-Netz kommunizieren. Die Lösung ist zunächst in Deutschland verfügbar, eine Ausweitung auf weitere Länder ist geplant. Pilotkunde ist die Salzgitter AG.

³¹ <https://www.ip-insider.de/standardisierte-5g-campus-netze-mit-vereinfachtem-zugang-a-ea92d388135d5788c75a5bed5dee2c2f/>

³² <https://geschaeftskunden.telekom.de/magenta-business-networks/netzwerke-fuer-standorte-und-clouds/campus-netze/campus-netze>

³³ <https://aws.amazon.com/de/telecom/integrated-private-wireless/>

³⁴ Vgl. <https://www.computer-automation.de/feldebene/vernetzung/5g-komplettloesung-fuer-die-industrie.210114.html>

Die Unternehmen Mugler und Ericsson vertiefen ihre Partnerschaft bei privaten 5G-Campusnetzen und unterzeichneten im Dezember 2022 eine entsprechende Vereinbarung im Bereich „Dedicated Networks“³⁵. Zentrale Aspekte der Partnerschaft konzentrieren sich auf die Bereitstellung von 5G-Campusnetz-Infrastrukturen. Der Partneransatz mit Ericsson erlaubt es Mugler, Lösungen schnell und äußerst flexibel anzubieten: als selbst administriertes Campusnetz oder als Managed Service mit garantierten Servicezeiten. Nach eigener Aussage werden Campusnetze von Mugler „schlüsselfertig realisiert“, inklusive Anforderungsanalyse, Planung und Konzeption, über Integration und Aufbau bis hin zum Netzbetrieb und Support.

Beiträge aus Q4/2023

Das mittelständische Unternehmen Cocus bietet mit der Lösung „5GCampus2Go“ Campusnetz-Lösungen ab 20.000 Euro an. Das Unternehmen adressiert dabei drei Zielgruppen: a) Universitäten und Testlabore erhalten eine vorinstallierte, kurzfristig verfügbare Lösung für Pilotprojekte und Proof-of Concepts. B) Die Industrie wird mit einem Starter Kit adressiert, das auch als „Managed Service“ angeboten wird. Hier geht es um die Realisierung produktiver Anwendungsfälle indoor und außen, wobei der Kunde mit dem Starter-Kit auf einfache Weise Prozesse und Geräte anbinden können soll. Zum Angebot gehören die Vor-Ort Einrichtung, ein Control Center Interface, eine Dokumentation, 25 SIM Karten sowie professioneller Support. C) Das dritte Angebot wendet sich an Konnektivitätsprojekte mit hohen Ansprüchen bzw. Großprojekte. Hier verspricht Cocus ein sicheres, individuelles Hochverfügbarkeits-Setup mit hoher Skalierbarkeit, Leistung und Redundanz. Referenzprojekte sind u. a. der Havelport Berlin (automatische Bestandsüberwachung von Schüttgut mittels Drohnen), die Teststrecke Jeversen von ZF Friedrichshafen (autonomes Fahren) oder das Hafengelände Wismar. Cocus nutzt das Testbed des Fraunhofer IIS.

Die Deutsche Telekom AG präsentierte auf der Digital X 2023 einen mobilen Sendemast (5G + LTE), der in einen Micro-Container passt und in kurzer Zeit von einer Person aufgebaut werden kann³⁶. Über die bis zu 8 Meter hohe Antenne kann Mobilfunk schnell dorthin gebracht werden, wo er benötigt wird. Mit dem Micro-Container adressiert die DTAG vor allem zeitlich begrenzte Projekte (Neubaugebiete, Großbaustellen, Events, Landwirtschaft) sowie die Kombination mit 5G-Campusnetzen (Firmengelände). Die Energieversorgung erfolgt lokal oder über mobile Energiequellen, die Datenanbindung ist über Glasfaser und Richtfunk möglich. Interessierte Unternehmen hatten ab November 2023 die Möglichkeit, die neue Lösung bis zu sechs Wochen lang kostenlos für ihre Einsatzzwecke zu testen.

Ausgewählte frühere Informationen

Das Unternehmen becon bietet eine auf KMU-Anwendungsszenarien angepasste Campusnetz-Kompaktlösung³⁷ an. Zu den Leistungen gehört etwa die Unterstützung beim 5G-Frequenznutzungsantrag bei der Bundesnetzagentur, die Lieferung des Systems samt aufeinander abgestimmter Hardware- und Software-Komponenten, die Implementierung und Integration in die vorhandene Netzwerkstruktur sowie Schulungen für Nutzung und Betrieb. Unterschieden werden drei Systemklassen (Small, Medium, Large). Adressiert werden Anwendungsbeispiele wie schnellerer Ersatz für das WLAN, Stärkung der Datenhoheit, Vernetzung der Industriemaschinen, Überwachung der Produktionsprozesse, AR/VR, Verringerung von Ausfallraten durch Echtzeitüberwachung, Werksgeländesicherung (5G-Kameras, Drohnen).

³⁵ <https://industrie.de/5g-mobilfunkstandard/5g-campusnetze-mugler-und-ericsson-vertiefen-partnerschaft/>

³⁶ Vgl. [Telekom stellt kompakten mobilen Funkmast vor – 5G.NRW](#)

³⁷ <https://www.becon.de/kmu-campusnetz/>



Rohde und Schwarz bietet Netzwerktests in privaten 5G-Netzen mit Schwerpunkt auf industrieller Fertigung kommerziell an³⁸. Das Angebot erfolgt in 5 Phasen (Spektrumsbereinigung, Standortabnahmeprüfungen, Abdeckungs- und Performanz-Tests, Echtzeit-Monitoring der Servicequalität sowie Konformität mit Vorgaben der Regulierungsbehörden). Über die Unternehmenswebseite werden verschiedene Webinare und Erklärvideos angeboten.

Das Fraunhofer IIS bietet unter dem Slogan „Das mobile 5G-Campusnetz kommt als schlüsselfertige Lösung zu Ihnen“ ein Testangebot für Unternehmen, die überlegen, ein 5G-Campusnetz bei sich einzuführen. Das kompakte Netzequipment ist transportabel und kann einfach und schnell aufgebaut werden.

Das Unternehmen HMF (Bad Münde) bietet nach eigener Aussage professionelle Campus-Lösungen “engineered in Germany”³⁹. Zu den Dienstleistungen gehören Rollout, Support, Consulting und Training. HMF setzt auf maßgeschneiderte Lösungen, die den Kundenbedarf erfassen und umsetzen.

³⁸ Vgl. https://www.rohde-schwarz.com/in/solutions/test-and-measurement/mobile-network-testing/5g-network-testing/smart-factory-campus-networks_253071.html

³⁹ Vgl. https://hmf-smart-solutions.de/Portfolio/private_5g/

4. Wissenschaft und Transfer

4.1. Berichte über Forschungsvorhaben und Demonstrationsprojekte

Nachstehend werden jeweils aktuell Demonstrationsprojekte für 5G-Campusnetze in Kurzform dargestellt.

Beiträge aus Q4/2023

Vom Testfeld zum Produktivnetz: BASF hatte gemeinsam mit Vodafone im Januar 2022 in Schwarzheide (BB) ein 5G-Testfeld in Betrieb genommen⁴⁰. Nachdem verschiedene Anwendungsfälle (z.B. kabellose Sensoren, 5G-Kameraanwendungen) in den vergangenen Monaten getestet worden waren, investiert BASF bis Ende 2024 einen einstelligen Millionenbetrag in den Ausbau dieses Testfelds zum Produktivnetz. Sechs Antennenmasten sollen das gesamte Werksgelände mit der 5G-Technologie versorgen und insbesondere die Überwachung und Instandhaltung der Produktionsanlagen sowie die Optimierung der Produktionsprozesse unterstützen.

In Gelsenkirchen haben Gelsen-NET, K-Tel und das US-amerikanische Unternehmen Verizon den „Digital Hub Ruhr“ eröffnet, ein Innovationshub und Showroom für 5G-, Multi Access Edge Computing (MEC)- und IoT-Technologien⁴¹. Die strategische Partnerschaft ist Teil des globalen Netzwerks von Innovationszentren und Lösungspartnerschaften von Verizon. Der Hub befindet sich auf dem 160 m² großen Firmengelände von GELSEN-NET in Gelsenkirchen und soll den Einsatz modernster 5G-Netzwerke, Glasfaser und LoRaWAN-Campusnetze demonstrieren. Adressiert werden Anwendungsfälle in den Bereichen Crowd Management, Smart-City-Lösungen, Fertigung und Logistik sowie Medizintechnik. Ein weiteres Ziel ist die Demonstration der Reichweite und des Nutzens privater Cloud-Strukturen sowie die Anbindung von Innovatoren und Kommunen an den RuhrCix, den zentralen Internetknoten im Ruhrgebiet.

Im BMDV-Förderprogramm InnoNT starteten 13 Verbundprojekte des 2. Förderaufrufs⁴² in Q4/2023. Weitere Projektstarts sind für Q1/2024 vorgesehen. Im InnoNT-Leuchtturmprojekt i14yLab⁴³ fand erneut ein sog. Plugfest für Open-RAN-Komponenten im Rahmen des weltweiten O-RAN Global Plugfests statt.

Ausgewählte frühere Beiträge

BSI-Förderprojekt MANTRA5G: In dem 5G-Forschungsprojekt „**M**odular, **A**daptive and **i**nteroperable **T**est **f**ramework for 5G/6G“ soll ein Testframework zum effizienten Testen kritischer 5G-Mobilfunkkomponenten entwickelt werden. Entwicklungspartner sind TÜVIT und Exceeding Solutions. Die Projektergebnisse sollen zukünftig eine zeit- und kosteneffiziente Prüfung sämtlicher kritischer 5G-Komponenten nach NESAS (Network Equipment Security Assurance Scheme der GSMA) ermöglichen. Über eine virtuelle Zwischenschicht-API werden die unterschiedlichen Geräte nach vorgegebener Testspezifikation vergleichend getestet und können dann zertifiziert werden. Zudem soll das zu entwickelnde Testframework ein virtualisiertes 5G-Netz enthalten, das in der Lage ist, die zentralen Funktionen aller Komponenten realitätsgetreu nachzubilden.

⁴⁰ <https://www.chemietechnik.de/markt/basf-gibt-startschuss-fuer-5g-campusnetz-in-schwarzheide-33-375.html>

⁴¹ Vgl. [Verizon eröffnet "Digital Hub Ruhr" in Gelsenkirchen – 5G.NRW](#)

⁴² <https://www.bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/inno-nt-zweiter-foerderaufruf.html>

⁴³ <https://www.i14y-lab.com/>



TARGET-X - Digitale Transformation mit 5G-/6G-Technologien: An dem von der EU- Kommission kofinanzierten Projekt sind unter der Leitung der Fraunhofer-Gesellschaft 14 Konsortialpartner aus sechs Ländern beteiligt.⁴⁴ TARGET-X ist eines von vier europäischen Testbedprojekten im Rahmen des „Smart Networks and Services“ Joint Undertaking (SNS JU). Im Projekt sollen spezifische Funktionen wie Lokalisierung, digitales Twinning und Datenfusion zwischen Sensoren und Netzwerken in verschiedenen Testumgebungen und Branchen (Fertigung, Energie, Automobil, Bau) getestet und bewertet werden. Über Cascaded Funding (6 Mio. Euro) können bis zu hundert Drittprojekte gefördert werden. Einzelantragsteller können bis zu 60.000 Euro erhalten, Konsortien aus zwei Antragstellern bis zu 120.000 Euro.

5GCampusKIShuttle: Im Juni 2023 fiel der Startschuss für ein gemeinsames Projekt der TU Clausthal und der Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften. Die technische Infrastruktur des Campusnetzes bildet die Grundlage für die Verarbeitung der für das autonome Fahren und die KI benötigten hohen Datenübertragungsraten. Durch ein Testfeld mit dem 5G-Forschungsnetz sollen künftige 5G-Technologien etabliert und erprobt werden.

5G für Brandenburg⁴⁵: Mit seiner 5G-Strategie und dem 5G-Testbed-BB möchte das Land Brandenburg mittelfristig zur Entwicklung eines leistungsfähigen und sicheren 5G-Ökosystems für unterschiedliche Zielgruppen und Anwendungen im Land Brandenburg beitragen. Ein Schwerpunkt liegt auf mittelständischen KMU. Adressiert werden stationäre und nomadische Netze. Das Projekt wird mit rd. 6,5 Mio. Euro durch das BMDV im Programm InnoNT gefördert. Beteiligt sind das IHP Frankfurt (Oder), die BTU Cottbus-Senftenberg, die Kommune Welzow mit ihrem Flugplatz, die TH Brandenburg, die TH-Wildau sowie die u. a. auf Transportdrohnen spezialisierten Unternehmen DAKO GmbH Jena und INNOMAN GmbH Ilmenau.

Open RAN für die Forschungsbereiche der RWTH Aachen: Die Exzellenzuniversität setzt für ihr Campusnetz auf Open-RAN-Technologie von NTT Germany, Cisco Systems und Airspan Networks. Die Hochschule hat laut einem RWTH-Sprecher durch das Campus-Netz „ihre Exzellenz unterstrichen und ist jetzt in Deutschland ein wissenschaftlicher P5G-Vorreiter“. Mit 260 Instituten in neun Fakultäten gehört die RWTH Aachen zu den führenden europäischen Wissenschafts- und Forschungseinrichtungen

Das im BMDV-Programm InnoNT geförderte Forschungsprojekt EConoM⁴⁶ – Edge-Computing, KI und 5G-Campusnetze in nomadischer Anwendung für das Management von Baustellen ist ein Verbund von Fraunhofer FOKUS, Fraunhofer HHI, HOCHTIEF Vicon GmbH, planen-bauen 4.0 GmbH und weiteren Partnern. Das Kickoff fand am 13.04.2023 statt.

Im Digitalen Testfeld Bahn auf dem 10 km langen Streckenabschnitt Markersbach – Schlettau im Erzgebirge ist seit Sommer 2020 ein FRMCS/5G-Testnetz verfügbar. Dort werden unter der Dachmarke „Smart Rail Connectivity Campus“ (SRCC)⁴⁷ seitdem u.a. innovative Mehrantennentechnologien und Mission-Critical Services (MCX) in Zusammenarbeit mit Netzwerkpartnern wie Ericsson, Rohde & Schwarz, Vodafone, Thales, dem DLR und anderen erprobt⁴⁸.

⁴⁴ <https://www.ipt.fraunhofer.de/de/projekte/target-x.html>

⁴⁵ Vgl. [5G für Brandenburg](#)

⁴⁶ <https://construction-robotics.de/aktuelles/econom-edge-computing-ki-und-5g-campusnetze-in-nomadischer-anwendung-fuer-das-management-von-baustellen/>

⁴⁷ <https://www.smart-rail-campus.de/>

⁴⁸ <https://digitale-schiene-deutschland.de/5G-Testfeld-im-Erzgebirge>

4.2. Konferenzen

In der ersten Jahreshälfte 2024 sind zum Thema 5G-Campusnetze unter anderem folgende Kongressveranstaltungen im internationalen Raum relevant:

- Januar 30/31, Brüssel: European 5G Conference, <https://5gconference.eu>
- Februar 26-29, Barcelona: [Mobile World Congress](#) inclusive ["5G Futures Summit"](#)
- April 9-11, Levi (Finnland): [6G Symposium Spring 2024](#)
- Mai 13-14, Dresden: IEEE [6G Summit Dresden 2024](#)
- Mai 21, Las Colinas/TX (USA): [6G Summit \(NextG Alliance\)](#)
- Juni 3-6, Antwerpen (B): [EuCNC & 6G Summit](#)
- Juni 9-13, Denver/CO (USA): IEEE International Conference on Communications WS-08: Third Workshop on [Industrial Private 5G and beyond wireless networks](#)
- Juli 01-04, Berlin: [Berlin 6G Conference 2024](#)

4.3. Workshops / Schulungsangebote

- Integrata cegos: 5G Campus-Netze - Eine [Einführung für Einsteiger](#). Neben den technischen Möglichkeiten vom 5G-Campusnetzen vermittelt der Kurs Kenntnisse für Planung, Bau und Betrieb von Campusnetzen. Ziel des Kurses ist die Beurteilung, ob ein 5G-Campusnetz eine technisch und wirtschaftlich passende sowie zukunftsfähige Lösung für die eigene Organisation ist. Eintägige Veranstaltungen auf Anfrage.
- Das Fraunhofer IPA bot am 25.10.2023 ein Seminar „Die neue 5G-Technologie für Industrieanwendungen“ an ([Quelle](#)). Nach Erläuterung wichtiger Grundlagen zu 5G und Campusnetzen fand ein Workshop statt zur Erarbeitung erster Handlungsfelder im eigenen Unternehmen.
- Der TÜV Rheinland ([Quelle](#)) bietet eine Qualifikation zum Erwerb der Sachkunde im Bereich 5G für zwei Zielgruppen an: a) Fachkräfte in Industriebetrieben, Logistik, Kliniken, Landwirtschaft, Luftfahrtunternehmen, Handelsunternehmen. B) Fachkräfte in Behörden, Kommunen, Gemeinden.
- Das [Gigabitbüro des Bundes](#) bietet nach Anmeldung Workshops für Interessenten an 5G-Campusnetzen an. Die Workshops sollen die Relevanz des Internet of Things (IoT) und von 5G-Campusnetzen aufzeigen und einen Einstieg in die Strategieentwicklung zu diesem Thema bieten. Neben der Vermittlung der technischen Grundlagen werden anhand von Praxisbeispielen mögliche Anwendungsfälle für unterschiedliche Unternehmensbereiche und Möglichkeiten der Umsetzung und des Betriebs von 5G-Campusnetzen aufgezeigt.



4.4. Praxis-Leitfäden

Nachstehende Angebote für potenzielle Anwender sind am Markt verfügbar.

- Vodafone Radio Networks and Keysight Technologies: Open RAN Handbook. Der Hauptbeitrag des [Leitfadens](#) besteht in der umfassenden Darstellung einer Testing-Strategie für Open-RAN-Komponenten.
- VDMA: 5G im Maschinen- und Anlagenbau. [Leitfaden](#) für die Integration von 5G in Produkt und Produktion
- TÜV Rheinland: „5G-Campusnetze“ sowie „5G nimmt Fahrt auf. Entwicklung und Umsetzungsansätze der neuen 5G-Mobilfunkgeneration für Unternehmen“. [Broschüren](#) der TÜV Rheinland Consulting GmbH

4.5. Wissenschaftliche Publikationen

Die nachstehende Auswahl an internationalen Publikationen zeigt, dass 5G-Campusnetze weltweit ein Forschungsthema darstellen. 5G-Campusnetze werden u. a. im Zusammenhang mit dem Edge Computing oder mit Time Sensitive Networks (TSN) untersucht. Aktuelle Forschungsthemen beziehen sich weiterhin auf die Architektur und das Management der 5G-Campusnetze, aber auch Sicherheitsaspekte.

Beiträge aus Q4/2023

- [CampusOS Whitepaper „Offene und modulare 5G-Campusnetze: Use Cases, Anforderungen und Architektur“](#) untersucht das Potenzial offener und modularer 5G-Campusnetze in Bereichen wie Industrie 4.0, Bauwesen, Telemedizin und Landwirtschaft. Das Whitepaper bietet einen Überblick über die spezifischen Anforderungen an die Gestaltung der Kommunikationssysteme in den verschiedenen Sektoren. CampusOS bietet einen Ansatz, der allen untersuchten Anwendungsfällen individuell gerecht wird: ein wachsendes, modulares Ökosystem an 5G-Komponenten auf der Basis offener Standards.
- [CampusOS Positionspapier](#) zu den Potenzialen offener und modularer 5G-Campusnetze in unterschiedlichen Marktsegmenten: Das Positionspapier des CampusOS-Konsortiums richtet sich an Anbieter von 5G-Kommunikationstechnologien (z. B. Integratoren, Hardware-/Software-Anbieter, Testgeräte- und Service-Anbieter) sowie an vertikale Industrieunternehmen und Betreiber. Die Autorinnen und Autoren sind sich sicher: Disaggregation, Virtualisierung und Offenheit bieten ein deutliches Mehr an Flexibilität, Effizienz, Agilität, Skalierbarkeit und Gestaltungsmöglichkeiten.
- [6G SNS IA: Position Paper](#) „Key strategies for 6G Smart Networks and Services“. Das Dokument enthält eine umfassende Reihe von Schlüsselstrategien der Europäischen Technologieplattform 6G IA in Bezug auf intelligente 6G-Netze und -Dienste. Dabei wird ein Schwerpunkt auf spezifische Aspekte für technologische Souveränität und Nachhaltigkeit gelegt, um eine Diskussion über wichtige Themen im Zusammenhang mit der Entwicklung intelligenter 6G-Netze und -Dienste anzustoßen. Weiterhin werden konkrete Empfehlungen zur Umsetzung in den Arbeitsprogrammen der EU-Kommission gegeben.
- Michele Polese, Mischa Dohler, Falko Dressler, Melike Erol-Kantarci, Rittwik Jana, Raymond Knopp, Tommaso Melodia: Empowering the 6G Cellular Architecture with Open RAN. e IEEE JSAC Special Issue on Open RAN. DOI: 10.1109/JSAC.2023.3334610. Im [Beitrag](#) werden die Hauptbestandteile, die für die Umsetzung der Vision einer 6G-Open-RAN-Architektur erforderlich sind, formuliert und beschrieben. Es handelt sich um ein Tutorial, das die Forschungsbemühungen in Richtung Open RAN in 6G veranschaulichen und lenken kann.

- Iaria Malanchini, Nicola Michailow, Patrick Agostini, Janne Ali-Tolppa, David Hock, Martin Kasparick, Alessandro Lieto, Nikolaj Marchenko, Alberto Martinez Alba, Rastin Pries, Qiheng Zhou: Convergence of Manufacturing and Networking in Future Factories. <https://arxiv.org/pdf/2312.08708.pdf> Die Arbeit zeigt das Potenzial für intelligente Netzwerke und fortschrittliche, auf maschinellem Lernen basierende Lösungen in 5G-and-beyond-Systemen im Kontext von Industrie 4.0 und flexibler Fertigung.

Ausgewählte frühere Beiträge

- Chr. Arendt, S. Fricke, S. Bocker, C. Wietfeld: Empowering the Convergence of Wi-Fi and 5G for Future Private 6G Networks. Die [Arbeit](#) beschreibt die Verwendung des Open-Source-Wi-Fi-Stack OpenWiFi, um den Wi-Fi-Betrieb in ausschließlich lizenzierten Frequenzbereichen bei 3,7 GHz zu ermöglichen und Störungen durch andere Wi-Fi-Systeme auszuschließen. Universität Dortmund. Accepted for presentation in: European Wireless 2023; 28th European Wireless Conference 2023
- Sh Gonde, Chr. Frisch, S. Duhovnikov, M. Kubisch, Th. Meyerhoff, D. Schupke: Physical Layer Security in a Private 5G Network for Industrial and Mobility Application. Die [Arbeit](#) veranschaulicht die Einrichtung eines langfristigen symmetrischen Schlüssels zwischen einem Luftfahrzeug und einer IT-Infrastruktur, die sich beide in einer Produktionsumgebung befinden und über die Funkschnittstelle des privaten 5G-Netzes kommunizieren. 2023 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT).
- J. Maroney: Private 5G, "Not as Private as You May Think" Das [Paper](#) erörtert bestehende Schwachstellen innerhalb von sicherheitsrelevanten Protokollen der 5G-Technologie sowie der Protokolle für industrielle Kontrollsysteme, die Unternehmen beim Einsatz dieser Technologien kennen und schützen müssen.
- S. Oechsle, F. Fricka, A. Lechler, A. Verl: A modular configuration and management framework for distributed real-time applications based on converged networks using TSN: Das [Paper](#) bietet eine Struktur-Analyse von industriellen Echtzeitanwendungen. Es wird eine Architektur konzipiert und beschrieben, die die Verwaltung und Konfiguration von konvergenten Netzwerken auf Basis von TSN ermöglichen soll. Eine Evaluierung erfolgt anhand einer prototypischen Implementierung des entworfenen Frameworks. CIRP ICME '22