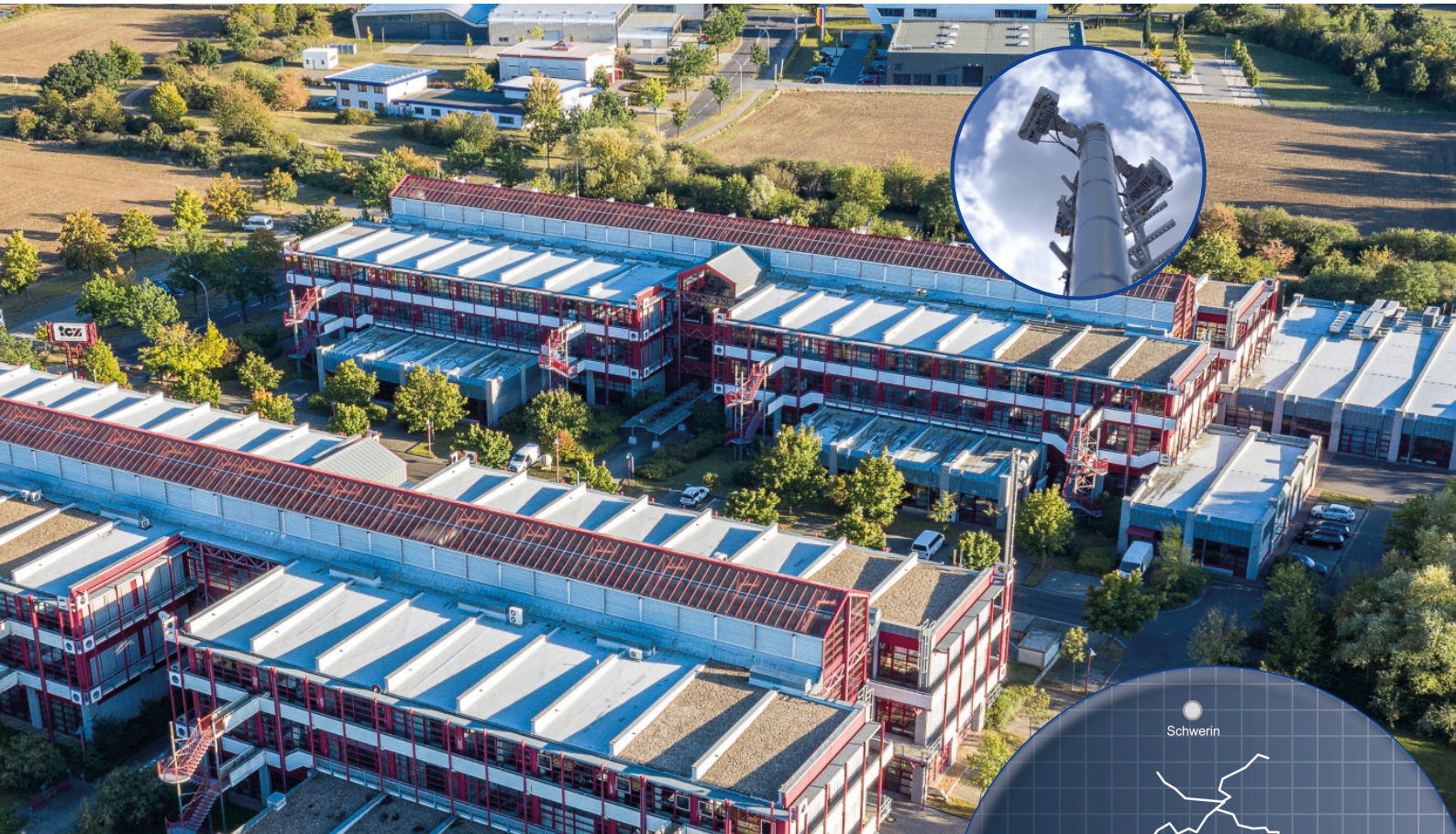


# 5G industrial working + coworking space



## 5G-Leitfaden für den Mittelstand



Schweißtechnische  
Lehranstalt Magdeburg  
Gemeinschaftliche GmbH



Wirtschaftsstandort  
**BARLEBEN&CO.**

Gefördert durch:  

 Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehr  
 aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# 5G-Leitfaden für den Mittelstand

## Inhalt

<b>1. 5G Industrial Working und Co-Working – eine Einführung</b>	<b>4</b>
1.1. „Für mich? Das soll für mich sein?“ - Wem dieser Leitfaden wobei hilft	4
1.1.1. 5G-Worker	4
1.1.2. 5G-Co-Worker	5
1.1.3. 5G-Co-/Work-Enabler	5
1.2. „Es ist alles schon gesagt (?)“ - Struktur dieses Leitfadens	5
<b>2. Technologischer Überblick</b>	<b>6</b>
2.1. 5G-Campusnetz – Definition	6
2.2. Vorteile von 5G-Campusnetzen	7
2.3. Standortfaktoren	10
2.3.1. Allgemeine Betrachtung	10
2.3.2. Geografische Anforderungen	10
2.3.3. Bewuchs	12
2.3.4. Wasserflächen	12
<b>3. Netztopologische Anforderungen</b>	<b>12</b>
3.1. Outdoor / Indoor Varianten	12
3.1.1. Outdoor to Outdoor	12
3.1.2. Direct Outdoor to Indoor	12
3.1.3. Outdoor Indoor – Bridging	13
3.1.4. Indoor-Indoor – Bridging	13
3.2. Campusvarianten	14
3.2.1. No Campus	14
3.2.2. Single Campus	14
3.2.3. Shared Campus	14
3.2.4. Co-working Campus	14
3.3. Betreibermodelle	14
3.3.1. Separates 5G-Netz (Eigenbetrieb)	14
3.3.2. Virtual Slice	15
3.3.3. Slice mit lokaler User Plane	15
3.3.4. Hybrides Campusnetz (Dual Slice)	15

<b>4. Motivationen von Anwendungsszenarien .....</b>	<b>17</b>
4.1. Bottom-Up-Ansatz.....	17
4.2. Top-Down-Ansatz.....	17
4.3. 5G-ready – was ist das eigentlich? .....	17
4.3.1. Hardware-Kompatibilität.....	18
4.3.2. Netzwerktechnologie und -protokolle .....	18
4.3.3. Software und Firmware.....	18
4.3.4. Endgeräte (z.B. Smartphones, Tablets) .....	18
4.3.5. Netzwerkinfrastruktur (z.B. Router, Basisstationen).....	18
4.3.6. Industrielle Anwendungen .....	18
4.4. Vorteile von 5G-ready .....	19
4.5. Beispiele für 5G-ready-Technologien .....	19
4.6. 5G Readyness – Check.....	19
<b>5. Aufbau und Betrieb von 5G-Campusnetzen .....</b>	<b>21</b>
5.1. Anwendungsidentifizierung .....	21
5.2. Machbarkeitsprüfung.....	22
5.3. Rechtliche Voraussetzungen (Lizenzwerb) .....	22
5.4. Vertragliche Voraussetzungen .....	22
5.5. Netzplanung .....	22
5.6. Netz-Installation und Inbetriebnahme .....	23
5.7. Integration in die Firmen-IT-Infrastruktur.....	24
5.8. Betrieb.....	24
5.9. Support.....	24
<b>6. Kommunikationsinfrastruktur bei industriellen 5G-Anwendungen.....</b>	<b>25</b>
6.1. Netzwerkarchitektur .....	27
6.2. Frequenzplanung und -nutzung .....	27
6.3. Netzwerkkomponenten .....	27
6.4. Netzwerkslicing .....	27
6.5. Sicherheitsaspekte .....	28
6.6. QoS (Quality of Service) .....	28
6.7. Integration in bestehende Systeme .....	28
6.8. Datenmanagement .....	28
6.9. Monitoring und Wartung .....	28
<b>7. Organisatorische Aspekte bei industriellen 5G-Anwendungen .....</b>	<b>30</b>
7.1. Projektmanagement und Implementierung.....	30
7.2. Team und Verantwortlichkeiten .....	30
7.3. Infrastruktur und Ressourcen.....	31
7.4. Sicherheits- und Datenschutzmaßnahmen .....	31
7.5. Prozesse und Abläufe .....	31
7.6. Compliance und Regulierung .....	31

7.7. Kooperationen und Partnerschaften.....	32
<b>8. Kaufmännische Aspekte bei industriellen 5G-Anwendungen.....</b>	<b>33</b>
8.1. Investitionskosten und Budgetplanung.....	33
8.2. Finanzierung und Fördermittel.....	33
8.3. Kosten-Nutzen-Analyse.....	33
8.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	33
8.5. Vertragsmanagement.....	33
8.6. Risikomanagement.....	34
8.7. Marktanalyse und Wettbewerb.....	34
8.8. Geschäftsmodellinnovation.....	34
8.9. Mitarbeiterschulung und Change Management.....	34
<b>9. Rechtliche Aspekte bei industriellen 5G-Anwendungen.....</b>	<b>35</b>
9.1. Datenschutz und Datensicherheit.....	35
9.2. Nutzungsrechte und Frequenzzuteilung.....	35
9.3. Sicherheitsvorschriften.....	35
9.4. Haftung und Vertragsrecht.....	37
9.5. Compliance und Regulatorische Anforderungen.....	37
9.6. Internationale Regelungen und Standards.....	38
9.7. Verbraucherschutz und Rechte der Endnutzer.....	38
<b>10. Prozesse und Richtlinien.....</b>	<b>39</b>
10.1. Nutzerbezogene Umsetzung von Anforderungen on Demand für eine 5G-Dienstleistungsumgebung	39
10.1.1. Anforderungserhebung und -analyse.....	39
10.1.2. Spezifikation der Anforderungen.....	39
10.1.3. Technische Umsetzung.....	40
10.1.4. Testen und Qualitätssicherung.....	40
10.1.5. Bereitstellung und Inbetriebnahme.....	41
10.1.6. Support und Wartung.....	41
10.1.7. Rückmeldung und kontinuierliche Verbesserung.....	42
10.2. Richtlinien zur Spezifikation von Dienstleistungsqualität in industriellen 5G-Anwendungen.....	43
<b>11. Anhang.....</b>	<b>46</b>
11.1. Links und Literaturquellen.....	46
11.2. Abkürzungen und Fachbegriffe.....	48

## 1. 5G Industrial Working und Co-Working – eine Einführung

### 1.1. „Für mich? Das soll für mich sein?“ - Wem dieser Leitfaden wobei hilft

In einer zunehmend digitalisierten Welt werden Unternehmen und Institutionen mit einem exponentiellen Anstieg der Datenmenge konfrontiert. Traditionelle Netzwerke stoßen dabei an ihre Grenzen. Der Bedarf an zuverlässiger, schneller und sicherer Konnektivität für Anwendungen wie Industrie 4.0, IoT-Geräte, autonome Fahrzeuge und Smart Cities steigt stetig. Hier kommen 5G-Campusnetze ins Spiel. Dieser Leitfaden soll eine erste Orientierungshilfe für kleine und mittlere Unternehmen sein, die sich mit dem Gedanken tragen, 5G einzusetzen. Er ist als Nebenergebnis des dreieinhalb-jährigen Förderprojekts **5G industrial working + co-working für den Mittelstand** der 5x5G-Initiative des Bundes entstanden. Basierend auf den im Rahmen des Projekts gemachten Erfahrungen der mittelständischen Anwendungspartner aus der Sicht des projektleitenden IT-Dienstleisters Teleport GmbH ist das Bedürfnis entstanden, für genau die Zielgruppe KMU dieses Kompendium zusammenzustellen.

Das Autorenteam hat die einschlägig verfügbaren Handbücher und Leitfäden durchforstet und teilweise hier einfließen lassen. Die Entwicklung schreitet stetig voran, deshalb entstehen zu diesem Thema auch neue Formate: wie zum Beispiel Podcasts zum Thema der 5G-Nutzung.<sup>1</sup>

Und es gibt stetig Aktualisierungen, wie z.B das IT-Grundschutz-Kompendium des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI). Hier werden insbesondere die IT-sicherheitsrelevanten Aspekte für 5G-Campusnetze beschrieben und mit entsprechenden modellhaften Bausteinen sowohl für Dienstleister als auch für den Eigenbetrieb ausgestattet. Somit können alle relevanten Maßnahmen in diesem Bereich checklistenartig abgearbeitet werden und sind eine echte Hilfe für den Betriebsalltag.

Wir unterscheiden aus unserer Praxis drei wesentliche Akteure im 5G-Campusnetz-Umfeld, die wir hier als Zielgruppen für unser Handbuch betrachten:

- 5G-Worker
- 5G-Co-Worker
- 5G-Enabler.

Prüfen Sie selbst, zu welcher Gruppe Sie sich zugehörig fühlen. Davon hängt möglicherweise die benötigte Detailtiefe der notwendigen Informationen ab. Diese Sichtweise ist möglicherweise neu bzw. spezifiziert sie den Kreis der Akteure etwas detaillierter in ihren jeweiligen Rollen.

#### 1.1.1. 5G-Worker

Ein 5G-Worker ist der Endnutzer der 5G-Technologie. Er ist ein Mitarbeiter, dessen Arbeitsweise durch die Vorteile der 5G-Technologie geprägt ist. Dazu gehören höhere Datenübertragungsraten, geringe Latenzzeiten und die Möglichkeit, vernetzte Geräte und Technologien wie IoT oder AR/VR zu nutzen. Diese Mitarbeiter arbeiten oft in digitalen oder vernetzten Umgebungen, die durch 5G unterstützt werden, um Produktivität und Effizienz zu steigern. Er hilft ‚Einzelkämpfern‘ bei

- ROI-Entscheidungsfindung
- Make-or-buy decision

---

<sup>1</sup> Tech Podcast Episode „Was leistet 5G für die Fabrik der Zukunft“, BoschRexroth.com

- Projektierung
- Aufbau
- Betrieb

### 1.1.2. 5G-Co-Worker

Ein 5G-Co-Worker bezeichnet einen Kollegen, mit dem man in einer 5G-gestützten Arbeitsumgebung zusammenarbeitet. Der Fokus liegt hier auf der Zusammenarbeit und Interaktion zwischen Mitarbeitern, die durch die 5G-Technologie erleichtert wird, etwa durch Echtzeit-Kommunikation oder Cloud-basierte Tools.

### 1.1.3. 5G-Co-/Work-Enabler

Ein 5G-Co-/Work-Enabler ist eine Person, Organisation oder Technologie, die die Nutzung von 5G ermöglicht oder fördert. Er schafft also die Voraussetzungen für den Einsatz von 5G. Dazu zählen Infrastrukturbetreiber, Technologieanbieter oder Unternehmen, die neue Anwendungen wie IoT oder KI entwickeln und so die Implementierung und Nutzung von 5G vorantreiben. Er hilft Betreibern von Gewerbeparks und -immobilien bei der Entscheidungsfindung hinsichtlich des 5G-Einsatzes.

## 1.2. „Es ist alles schon gesagt (?)“ - Struktur dieses Leitfadens

Unser 5G-Leitfaden versucht, alle Schritte und Aufgaben beginnend bei der geplanten Anwendung über die unterschiedlichen Betreibermodelle eines 5G-Campusnetzes bis hin zum realisierten Netzbetrieb aufzuzeigen.

Es gibt keinen Königsweg, denn noch steckt die Technologie in den Anfängen, noch ist die Beschaffung 5G-fähiger Endgeräte nicht ganz einfach und es mangelt vor allem an Erfahrungen. Von einer „Plug-and-Play“-Lösung sind wir also noch weit entfernt. Und auch das Feld der Use Cases, also der Anwendungsfälle, wird stetig größer und entsprechend betritt man mit der einen oder anderen Idee immer wieder Neuland.

Wir verweisen konsequent auf die uns zur Verfügung gestandenen Quellen und Erfahrungen. Wir haben das Thema klassisch strukturiert und wo es passte, mit Praxiserfahrungen angereichert. Wir sind uns sicher, dass in einigen Jahren solche Handbücher überflüssig werden. Aber jetzt ist es einfach an der Zeit, sich dem Thema auch praktisch zu stellen, um die Wirtschaft in Deutschland wettbewerbsfähiger aufzustellen..

## 2. Technologischer Überblick

### 2.1. 5G-Campusnetz – Definition

Bei 5G-Campusnetzen handelt es sich um private, lokal betriebene 5G-Mobilfunknetze, die auf besondere Anforderungen des Einsatzgebiets angepasst werden und die Vorteile und Eigenschaften von 5G vollumfänglich nutzen. In den meisten Fällen werden diese 5G-Netze autark von vom öffentlichen Mobilfunknetz betrieben.

Viele Unternehmen, die 5G-Campusnetze einsetzen, bevorzugen die Abgeschlossenheit des 5G-Netzes aus Sicht der Informationssicherheit. In diesem Fall existiert lediglich eine Schnittstelle zum internen Firmennetz, über die der Datenaustausch läuft. Dabei beschränkt sich der Kreis der berechtigten Nutzer meist auf Geräte, die zu einem bestimmten Unternehmen oder einer bestimmten Institution gehören.

Mit dem Einsatz von privaten 5G-Netzen ergeben sich neue Anforderungen an Unternehmen, Behörden, Forschungseinrichtungen und weitere Betreiber.

Die Leistungsparameter von 5G haben sich gegenüber der früheren Mobilfunkgeneration (4G LTE) teils deutlich verbessert. Die notwendigen Leistungsparameter beeinflussen sich gegenseitig und stehen daher nicht alle gleichzeitig in voller Höhe zur Verfügung. Daher stellt 5G insgesamt 3 Profile bereit, die auf unterschiedliche Bedürfnisse zugeschnitten sind und für die eigenen Bedürfnisse, für die Umsetzung eigener Anwendungsszenarien, gewählt werden können:

- Ultra Reliable Low Latency Communications (URLLC): extrem zuverlässige Kommunikation mit geringer Latenz
- Enhanced Mobile Broadband (eMBB): verbesserte mobile Breitbandanbindung
- Massive Machine Type Communication (mMTC): Massive maschinelle Kommunikation

5G-Campusnetze finden in verschiedenen Bereichen Anwendung und ermöglichen innovative Lösungen für Unternehmen und Institutionen.

#### **Industrie 4.0 und smart Factoring**

In der Smart Factory werden Produktionsprozesse automatisiert und vernetzt. 5G-Campusnetze spielen hier eine entscheidende Rolle, indem sie eine zuverlässige und schnelle Konnektivität für intelligente Maschinen, Robotik und IoT-Geräte bereitstellen. Dies ermöglicht eine effizientere Produktion, verbesserte Prozesssteuerung und präzise Echtzeitdatenanalyse.

#### **Smart cities und Management der Infrastruktur**

Städte weltweit setzen auf intelligente Technologien, um ihre Infrastrukturen zu optimieren und die Lebensqualität der Ortsansässigen zu verbessern. 5G-Campusnetze bieten eine zuverlässige Konnektivität für verschiedene Anwendungen wie intelligentes Verkehrsmanagement, öffentliche Sicherheitssysteme, Energieeffizienz und Umweltüberwachung. Durch die Integration von 5G können Städte effizienter und nachhaltiger gestaltet werden.

#### **Gesundheitswesen und Telemedizin**

Das Gesundheitswesen profitiert von 5G-Campusnetzen durch eine verbesserte Telemedizin. Echtzeitkommunikation, Fernüberwachung und der Austausch medizinischer Daten werden durch die hohe

Geschwindigkeit und niedrige Latenzzeit von 5G ermöglicht. Dies ermöglicht eine schnellere Diagnose, effektivere Behandlung und verbesserte Patientenversorgung, insbesondere in entlegenen Gebieten.

### **Bildungseinrichtungen und Campusnetzwerke**

Bildungseinrichtungen wie Universitäten und Schulen setzen auf 5G-Campusnetze, um den steigenden Bedarf an Konnektivität zu decken. Durch schnellen Zugriff auf Online-Ressourcen, Echtzeitkommunikation und Zusammenarbeit wird das Lernen optimiert. 5G ermöglicht es auch, innovative Lehrmethoden wie Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) in den Unterricht einzuführen.

### **Logistik und intelligente Transportsysteme**

Die Logistikbranche profitiert von 5G-Campusnetzen, indem sie eine nahtlose und effiziente Kommunikation zwischen Fahrzeugen, Terminals, Warenlagern und Vertriebszentren ermöglichen. Echtzeitverfolgung, verbesserte Flottenmanagementlösungen und präzise Analysen tragen zur Optimierung des Lieferkettenmanagements bei.

Die Liste ließe sich noch fortsetzen. Wir werden an verschiedenen Stellen immer wieder darauf zurückkommen: Um ein 5G-Campusnetz betreiben zu dürfen, ist die Beantragung einer Lizenz zur Nutzung der entsprechenden Frequenzen bei der Bundesnetzagentur (BNetzA) notwendig. Da diese Lizenz nur zur Nutzung der Frequenzen an einem bestimmten Ort ausgestellt wird, muss das 5G-Campusnetz immer ortsfest betrieben werden. Soll das 5G-Campusnetz an unterschiedlichen Orten zum Einsatz kommen, so muss für jeden dieser Einsatzorte eine gesonderte Lizenz beantragt werden.

## **2.2. Vorteile von 5G-Campusnetzen**

5G-Campusnetze bieten gegenüber herkömmlichen Drahtlosnetzwerktechnologien und vorherigen Mobilfunkgenerationen etliche Vorteile, insbesondere was die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit des Netzes aber auch die Sicherheit der darin verarbeiteten Daten hinsichtlich Wahrung der Vertraulichkeit und Integrität betrifft. Im Folgenden werden die wesentlichen Vorteile aufgeführt – diese Aufzählung ist nicht abschließend, denn die technologische Entwicklung schreitet stetig voran:

- Zugriff von Endgeräten auf Antenne ist nicht mehr zufallsgesteuert (wie bei WIFI), sondern fest (mit Bandbreite, Datendurchsatz) vorgegeben und garantiert bis zu 10mal höhere Datenübertragungsraten als mittels LTE.
- Datenpakete werden innerhalb fester Fristen an Endgeräte übertragen (geringe Latenz). Das ermöglicht, auch zeitkritische Anwendungen über ein 5G-Campusnetz durchzuführen.
- Im Netz befindliche Endgeräte können mittels Network Slicing unterschiedliche Qualitätsparameter wie z.B. Latenz, Übertragungsgeschwindigkeiten und Bandbreiten zugesichert werden.
- Das Netz kann an die Anforderungen der Güte der Datenübertragung optimiert werden, z.B. geringe oder keine Paketverluste vs. hoher Übertragungsgeschwindigkeiten.
- Der nahtlose Wechsel von Geräten zwischen Funkzellen (unterschiedliche Radio Units) ist unkompliziert möglich.
- Sehr hohe Reichweiten (es wurden bis zu 3 km getestet) bei hohen Sendeleistungen.
- 5G teilt sich keine Frequenzen mit anderen Anwendungen.



- Lizenzierungsverfahren der Bundesnetzagentur mit Bindung der Lizenzen an feste Orte verhindert gegenseitige Störungen aus anderen Netzen bzw. werden Überlagerungen auf wenige Randbereiche begrenzt.
- Die 5G-Technologie kommt mit modernen Sicherheitsmaßnahmen. Diese gelten gegenüber älteren Mobilfunknetzen (4G LTE, 3G) als besonders zuverlässig.
- Große Teilnehmerdichte, es können bis zu einer Million Geräte auf einer Fläche von 1 km<sup>2</sup> im Netz ohne Leistungsabfall miteinander kommunizieren.
- Stärkung der Flexibilität im Produktionsprozess, da Roboter, Maschinen und andere Geräte in einer Produktionshalle „mobiler“ werden.

Und zum Abschluss der Vorteilsbetrachtungen wollen wir Ihnen die folgende Gegenüberstellung der einzelnen Unterschiede zwischen den den Funknetzen WiFi 6, Public 5G und Private 5G nicht vorenthalten, gefunden in einem Whitepaper der Lufthansa Industry Solutions.<sup>2</sup>

**Tabelle: WiFi und 5G im Industrieunternehmen: Die Unterschiede der Funknetze:**

Kategorie	WiFi6	Public 5G	Private 5G
<b>Echtzeitübertragung</b>	Echtzeitübertragung nur bei stationären Anwendungsfällen möglich	Keine garantierte niedrige Reaktionszeit, daher nur unkritische Echtzeitübertragung möglich	Niedrige Reaktionszeit garantiert, daher auch mobile, stationäre und kritische Echtzeitübertragung möglich
<b>Datenhoheit</b>	Eingeschränkte Datenhoheit, da Daten auf eigenem Campus bleiben, aber die Frequenz nicht lizenziert ist	Eingeschränkte Datenhoheit, da die lizenzierte Frequenz auch von anderen Teilnehmern genutzt wird	Eigene lizenzierte Frequenz ermöglicht volle Kontrolle über die Teilnehmer und lokale Datenverarbeitung
<b>Sicherheit</b>	Geringste Sicherheit – mit wenig technischem Aufwand Einfluss von außen auf das Netzwerk möglich	Mittlere Sicherheit – Mobilfunk resilienter als WiFi, Einfluss Dritter innerhalb des Netzwerks über Provider möglich	Höchste Sicherheit, da mögliche Störer nicht Teilnehmer des privaten Netzwerks sind
<b>Konfigurierbarkeit</b>	Konfiguration des Netzes möglich, aber nur mit Limitierungen wie z.B. Sendeleistung	Kein Einfluss auf die Konfiguration des Netzes	Maßgeschneiderte Netzwerkconfiguration je nach Anwendungsfall
<b>Versorgungsbereiche</b>	Kleinere Indoorflächen	Großflächig outdoor verfügbar	Großflächig indoor und outdoor skalierbar
<b>Datenmengen/ Netzauslastung</b>	Übertragung großer Datenmengen ohne Limitierung möglich	Übertragung großer Datenmengen je nach Mobilfunk-Tarif und Netzauslastung möglich	Übertragung großer Datenmengen ohne Limitierung möglich
<b>Fazit</b>	Geeignet für kleinere Flächen und stationäre Anwendungsfälle	Geeignet für unkritische Daten vor allem im Outdoor-Bereich	für stationäre + mobile Use cases, stabile Übertragung kritischer Echtzeitdaten im In- und Outdoor-Bereich

<sup>2</sup> Quelle: „Private 5G-Netze in Unternehmen: schnell, sicher, zuverlässig“; Lufthansa Industry Solutions, Marketing & Communications; 4, 2023

## 2.3. Standortfaktoren

### 2.3.1. Allgemeine Betrachtung

Für den erfolgreichen Aufbau eines 5G-Campusnetzes sind folgende Standortbedingungen wichtig:

- **Frequenzlizenzierung:** die Nutzung eines exklusiven Frequenzspektrums (z. B. 3,7–3,8 GHz) muss bei der Bundesnetzagentur beantragt werden
- **Infrastruktur:** Glasfaseranbindung und Antennensysteme sind essenziell für hohe Bandbreiten und geringe Latenzzeiten. Rechenzentren sollten maximal 20–30 km entfernt sein, um optimale Leistung zu gewährleisten
- **Technische Planung:** Erstellung von 3D-Gebäudemodellen zur Funkausbreitung und Integration in bestehende IoT-Netzwerke
- **Flexibilität und Sicherheit:** ein eigenständiges Campusnetz bietet volle Kontrolle über Daten und Netzmanagement, ist unabhängig vom öffentlichen Mobilfunknetz und ermöglicht sichere Datenübertragung
- **Kooperationen:** Zusammenarbeit mit Mobilfunkanbietern oder anderen Unternehmen kann Kosten senken und technische Expertise erweitern

Diese Faktoren sichern die Effizienz und Skalierbarkeit des Campusnetzes sowie die Anpassung an spezifische Unternehmensanforderungen.

### 2.3.2. Geografische Anforderungen

Geografische Anforderungen wie Höhen, Gewässer oder Bewuchs spielen für den Aufbau eines 5G-Campusnetzes eine untergeordnete Rolle, können aber die Netzplanung beeinflussen:

- **Höhenunterschiede:** Topografische Gegebenheiten wie Hügel oder Berge können die Funkabdeckung beeinträchtigen. Eine sorgfältige Standortwahl für Antennen ist nötig, um Signalabschattung zu vermeiden
- **Gewässer:** große Wasserflächen können Funkwellen reflektieren oder streuen, was zu Störungen führen kann. Dies erfordert angepasste Antennenkonfigurationen.
- **Bewuchs:** dichte Vegetation, insbesondere Bäume mit Laub, kann die Signalstärke dämpfen. Abhilfe schaffen höhere Sendeleistungen oder zusätzliche Antennen.

Eine präzise Funknetzplanung unter Berücksichtigung dieser Faktoren ist essenziell, um eine optimale Netzabdeckung und -leistung sicherzustellen. Es empfiehlt sich, im Rahmen einer zu erstellenden Anforderungsspezifikation alle standortbezogenen Auffälligkeiten mitzubedenken.

#### AUS DER PRAXIS

Beispiel Technologiepark Ostfalen (TPO): Baustein aus Anforderungsspezifikation:

„Im TPO Barleben gibt es praktisch keine Anforderungen aus der natürlichen Geländemorphologie. Es gibt innerhalb des TPO praktisch keine Geländeerhebungen oder topologische Herausforderungen.“

Für den Lizenzprozess sollten Sie Ihr Gelände gut kennen und ausmessen. Räumliche Ausdehnungen und Entfernungen müssen präzise angegeben werden. Dabei hilft ein Online-Tool:

#### **AUS DER PRAXIS**

Beispiel TPO: Die Räumliche Ausdehnung ist

- 3,44 km in der Nordost – Südwest Diagonale (A2 AS Ebendorf bis B189 AS Barleben Nord) und
- 2,00 km in der Nordwest – Südostdiagonale (Bahndamm/Schieß-Stand bis A2 AK Magdeburg Zentrum)

Vom IGZ als zentral gedachten Punkt sind die Maximalentfernungen:

- Richtung Südosten 1,7 km bis A2 AK Magdeburg Zentrum
- Richtung Südwesten 2,21 km bis A2 AS Ebendorf
- Richtung Nordosten 1,37 km bis B189 AS Barleben Nord
- Richtung Nordwesten 1,16 km bis Bahndamm / Schieß-Stand

Und auch die genaue Position der anzuschließenden Standorte sollten Sie kennen:

#### **AUS DER PRAXIS**

Hier Beispiel TPO

- 434 m LoS Schweißtechnische Lehranstalt
- 196 m LoS Horiba Fuelcon Haus 1
- 435 m LoS Horiba Fuelcon Neubau
- 141 m LoS IKAM
- 105 m Fraimtec (Inhaus Verbindung IGZ Haus 1 – Haus 2)

Und auch die vorhandene und möglicherweise geplante zukünftige Bebauung hat möglicherweise netztechnische Auswirkungen:

#### **AUS DER PRAXIS**

Hier Beispiel TPO:

Höhe der zentralen Station

Als zentraler Antennenstandort ist das IGZ Gebäude 1 vorgesehen.

Höhe der Gebäude der Nutzer

...noch zu erfragen

Mögliche Funkschatten

Nach jetziger Kenntnis nicht zu erwarten

Möglichkeiten der Mehrwegeausbreitung

Aufgrund der geringen Bebauungsdichte nicht zu erwarten

### 2.3.3. Bewuchs

#### AUS DER PRAXIS

Hier Beispiel TPO:

Neben straßenbegleitenden Bäumen und parkähnlichen Strukturen mit loser Bepflanzung mit Büschen und vereinzelt Bäume gibt es keine zusammenhängenden Bewuchszonen (Wald o.ä.). Allerdings wurde bereits bei Services mit gerichtetem WLAN bei Kunden mit eingeschossigen Gebäuden die Erfahrung gemacht, dass auch einzelne Bäume durchaus die Servicequalität beeinträchtigen bzw. zunichte machen können.

Die projektbeteiligten Unternehmen verfügen jedoch alle über mehrgeschossige Gebäude.

### 2.3.4. Wasserflächen

#### AUS DER PRAXIS

Hier Beispiel TPO: Größere und somit signifikante Wasserflächen sind nicht zu beachten. Es gibt den Steinbruch (Maximalausdehnung 150 m) an der Peripherie des TPO sowie die ‚Rinnsale‘ Kleine Sülze und Telzgraben.

## 3. Netztopologische Anforderungen

### 3.1. Outdoor / Indoor Varianten

#### AUS DER PRAXIS

Nachfolgend werden wünschenswerte Kombinationen von Outdoor- und Indoor Anbindungen aufgeführt, die im Projektverlauf von Relevanz sein könnten und entsprechend getestet werden sollen

#### 3.1.1. Outdoor to Outdoor

##### AUS DER PRAXIS

Hierbei sollen an den teilnehmerseitigen Gebäuden Außenantennen angebracht werden, die dann an das Kundennetz angeschlossen werden oder (-> Outdoor-Indoor Bridging) mit Indoor 5G Netzen verbunden werden. Die Outdoor-Outdoor Variante stellt den Standard der Kundenanbindung dar.

Zusätzlich dazu können ohnehin im Outdoorbereich platzierte Netzwerk-Teilnehmer wie z.B. Fahrzeuge oder Transportsysteme mit der Outdoor-Outdoor Variante angebunden werden.

#### 3.1.2. Direct Outdoor to Indoor

##### AUS DER PRAXIS

In Konstellationen, die diese Möglichkeiten bieten, kann die Anbindung von 5G-Endgeräten im Indoor-Bereich auch direkt erfolgen. Dies ist allerdings abhängig von den konstruktiven Eigenschaften der jeweiligen Gebäude. Erfahrungsgemäß stellen Stahlbeton, beschichtete Wärmeschutzfenster oder Metallelemente in Fassaden ein Problem dar – dies ist im vorliegenden Fall insbesondere von den Gebäuden des IGZ zu erwarten.

### 3.1.3. Outdoor Indoor – Bridging

#### AUS DER PRAXIS

Aufgrund der vorstehend aufgezeigten Probleme bei einer direkten Versorgung von Indoor-Komponenten soll die Möglichkeit des Outdoor-Indoor Bridging ebenfalls projektiert und getestet werden. Vermutlich wird dies insbesondere bei der 5G-Experimentalfläche des IGZ sowie beim Hallen-Neubau von HORIBA-Fuelcon sinnvoll und notwendig sein.

Hierbei wird das mit einer Outdoor-Antenne empfangene Signal auf eine per Glasfaser angebundene Indoor-Antenne übertragen und von dort ausgestrahlt (bzw. vice versa).

### 3.1.4. Indoor-Indoor – Bridging

#### AUS DER PRAXIS

Bei bestimmten Gebäudekomplexen (hier außerhalb des Projektes: ThyssenKrupp Presta oder MTU Reman) kann es sich als notwendig erweisen, einzelne Indoor-Bereiche miteinander zu vernetzen. Auch hierfür muss eine Variante erprobt werden.

## 3.2. Campusvarianten

### 3.2.1. No Campus

No Campus beschreibt Punkt zu Punkt Verbindungen - Internet-Verbindungen. Es ist zwar nicht das Ziel des Projektes, ‚gewöhnliche‘ Punkt-zu-Punkt Verbindungen zu erproben, gleichwohl wird es immer auch notwendig und mitunter einfach kommerziell angebracht sein, ‚Glasfaser-Ersatz‘ oder die ‚letzte Meile‘ über 5G zu realisieren.

### 3.2.2. Single Campus

Single Campus ist die interne Unternehmensvernetzung eines Kunden auf einem Campus. Die durchaus bekannte Variante der Unternehmensvernetzung kommt vor allem auf Werksgeländen großer monolithischer Unternehmen zum Einsatz und muss hier nicht weiter besprochen werden. Alle Teilnehmer eines Campus-Netzes befinden sich hier in einem zusammenhängenden Kundennetz.

### 3.2.3. Shared Campus

Als Shared Campus bezeichnet man eine disjunkte interne Unternehmensvernetzung mehrerer Kunden/Unternehmen innerhalb eines Campus. Eine andere Anforderung ergibt sich, wenn mehrere verschiedene Teilnehmer sich ein Campus-Netz virtuell ‚teilen‘ und in ihrer Wahrnehmung verschiedene virtuelle Kunden-Campus-Netze auf einem tatsächlichen Campus-Netz ko-existieren, OHNE dass es dabei eine Verbindung zwischen den einzelnen teilnehmerbezogenen Campusnetzen gibt.

### 3.2.4. Co-working Campus

Co-working Campus beschreibt die Vernetzung zwischen verschiedenen Kunden /Unternehmen auf einem Campus. Eine weitere Komplexitätsstufe wird erreicht, wenn innerhalb des oben beschriebenen Shared-Campus Ansatzes Verbindungen aufgebaut werden sollen, die punktuell und anlassbezogen Verbindungen der vordem disjunkten Netze realisieren und sichern sollen.

## 3.3. Betreibermodelle

Es gibt verschiedene Betreibermodelle zur Umsetzung von Anwendungsszenarien und Use Cases. Sie unterscheiden sich durch die Aufteilung von 5G-Netzfunktionen und deren Betrieb zwischen dem 5G-Campusnetzbetreiber und öffentlichen Mobilfunknetzbetreibern (Architektur und Anbindung). Es folgen einige Aspekte und Modelle, die für die Auswahl wichtig sein können. Jede Variante hat spezifische Vor- und Nachteile, abhängig von den Anforderungen an Sicherheit, Kosten und Performance.

### 3.3.1. Separates 5G-Netz (Eigenbetrieb)

Bei einem separaten 5G-Campusnetz wird der Campus-Betreiber zum lokalen, privaten 5G-Netzbetreiber. Aufbau und Betrieb des separaten 5G-Campusnetzes liegen in der eigenen Verantwortung des Campusbetreibers. Es besteht keine Integration mit dem öffentlichen Mobilfunknetz. Diese kostenintensive Variante bietet sich für besonders sicherheitskritische Anwendungen an. Sie bietet die höchste Datensicherheit und minimale Latenz. Man spricht auch von einem „standalone“ oder „isoliertem“ Campusnetz.

### 3.3.2. Virtual Slice

In einem vollständig im Netz eines öffentlichen Mobilfunkbetreibers integrierten Einsatzszenario eines 5G-Campusnetzes wird mittels einer sogenannten „Network Slice“ ein logisch eigenes Netz innerhalb des öffentlichen 5G-Netzes des Mobilfunkbetreibers eingerichtet. Eine ausreichende Funk-Abdeckung durch das öffentliche 5G-Netz des Mobilfunkanbieters ist Grundvoraussetzung. Es ist keine eigene Infrastruktur erforderlich. Demzufolge ist es kosteneffizient, bietet jedoch eingeschränkte Kontrolle und hat höhere Latenzen.

### 3.3.3. Slice mit lokaler User Plane

Diese Variante basiert ebenfalls auf der Sendeinfrastruktur eines MNO-Netzes, das aber durch Vor-Ort-Komponenten ergänzt wird, insbesondere wird eine lokale User Plane (UPF) bereitgestellt. Dadurch kann auch eine mobile Edge Cloud (MEC) lokal eingebunden werden, die dediziert für den Campusbetreiber Rechenleistung bereitstellt. Dabei bleiben die Nutzerdaten im Bereich des Campus, nur die Steuerung und das Management des 5G-Campusnetzes erfolgen extern aus dem MNO-Netz heraus.

### 3.3.4. Hybrides Campusnetz (Dual Slice)

Zahlreiche Mischformen zwischen den beiden genannten Betreibermodellen „völlig eigenständig“ und „völlig virtuell“ sind umsetzbar. Solche hybriden 5G-Campusnetze werden in der Regel von großen MNOs zur Verfügung gestellt. Sie bestehen aus Anlagen vor Ort, aber auch externen 5G-Core-Netzen in Rechenzentren. Diese Anlagen verbinden die Vorteile des örtlichen 5G-Campusnetzes (eine völlig eigenständige Kommunikationsinfrastruktur) mit dem Komfort eines extern gemanagten Systems. So laufen sicherheitskritische Anwendungen im privaten Netz, während das öffentliche Netz für externe Kommunikation genutzt wird. Diese Variante reduziert Hardwarebedarf und Kosten, bietet aber weniger Kontrolle.

**Tabelle: Vereinfachte Bewertung der verschiedenen Modelle<sup>3</sup>**

	Separates Netz/Eigenbetrieb	Virtual Slice	Slice mit lokaler User Plane	Hybrid
<b>Kriterien</b>	Dediziertes, eigenständiges 5G-Campusnetz	5G-Campusnetz innerhalb des öffentl. Netzes eines MNO	5G-Campusnetz mit lokaler User Plane und Netzelementen innerhalb des öffentl. Netzes eines MNO	Kombination aus lokalen und durch MNO bereitgestellten Komponenten und Services (shared RAN / small Cells)
<b>Umsetzungsdauer</b>	-	+	0	0 / 0
<b>Aufbaukosten</b>	hoch	gering	gering bis mittel	mittel / mittel

<sup>3</sup> Quelle: BMWi „Leitfaden 5G-Campusnetze – Orientierungshilfe für kleine und mittelständische Unternehmen“, S. 29 ff., 2020



<b>Personalkompetenz beim Campusbetreiber</b>	hoch	gering	mittel	mittel / gering
<b>Datenhoheit</b>	++	0	+	+ / 0
<b>Netz-Sicherheit</b>	hoch	hoch	hoch	hoch / hoch
<b>Sicherheitszertifikate</b>	Flexibel: branchenübliche (non-3GPP) oder SIM	SIM (SIM-Karte oder eSIM)	SIM (SIM-Karte oder eSIM)	SIM (SIM-Karte oder eSIM)
<b>angfristig betreibbar (&gt;10 Jahre)</b>	++	+	+	+ / +
<b>flexibel anpassbar (räumlich, kapazitativ, technisch)</b>	++	-	0	0 / +
<b>Robustheit (Außen- u. Innenstörungen)</b>	+	+	0	0 / +
<b>hochverfügbar auslegbar</b>	++	0	+	0 / 0
<b>für hoch zeitkritische Anwendungen (TSN) auslegbar</b>	++	-	-	0 / 0
<b>Monitoring- u. Diagnosemöglichkeiten für Campusbetreiber</b>	++	-	-	0 / 0
<b>kommerziell verfügbar</b>	2020	2020	2021	2022+ / 2022+

## 4. Motivationen von Anwendungsszenarien

Die Wahl des Ansatzes hängt von den jeweiligen Projektzielen ab. Oft werden beide Ansätze kombiniert, um sowohl strategische als auch praktische Anforderungen zu erfüllen. Nachfolgend ein kurzer Vergleich:

Ansatz	Fokus	Vorteil	Nachteil
<b>Bottom up</b>	Spezifische Anwendungsfälle	Flexibilität und Nutzerorientierung	Weniger lokal angepasst
<b>Top down</b>	Strategische Branchenziele	Skalierbarkeit und langfristige Vision	Weniger lokal angepasst

### 4.1. Bottom-Up-Ansatz

Der Bottom-Up-Ansatz beginnt mit der Analyse spezifischer Anwendungsfälle und deren technischer Anforderungen, um Lösungen zu entwickeln:

- **Zielsetzung:** Entwicklung maßgeschneiderter Lösungen basierend auf realen Bedürfnissen.
- **Beispiele:** Optimierung einzelner Produktionslinien, lokale IoT-Anwendungen, Netzwerk-Slicing für spezifische Dienste.
- **Vorteil:** Hohe Anpassungsfähigkeit und direkte Verbindung zu den Bedürfnissen der Nutzer.
- **Nachteil:** Potenziell begrenzte Skalierbarkeit und weniger strategische Orientierung

### 4.2. Top-Down-Ansatz

Der Top-Down-Ansatz fokussiert sich auf strategische Ziele und die Identifikation von Schlüsselindustrien, die von 5G profitieren können. Dabei wird von den Anforderungen der Branche ausgegangen, um Lösungen zu entwickeln:

- **Zielsetzung:** Identifikation von übergeordneten Marktchancen und langfristigen Trends.
- **Beispiele:** Industrie 4.0, Smart Cities, autonome Fahrzeuge, Gesundheitswesen.
- **Vorteil:** Klare strategische Ausrichtung und Fokus auf Skalierbarkeit großer Projekte.
- **Nachteil:** Weniger Flexibilität bei der Anpassung an spezifische lokale Anforderungen.

Wir haben mit unserem Förderprojekt folgende Vision verfolgt: die Schaffung einer 5G-ready-Umgebung innerhalb des Technologieparks Ostfalen, um mit dieser Voraussetzung Ansiedlung zu stimulieren, einen Mehrwert zu schaffen und letztlich auch innovative Unternehmen anzulocken. Es gibt in der Praxis Beispiele, so Chungwa in China, oder der Gewerbepark Troisdorf.

### 4.3. 5G-ready – was ist das eigentlich?

**5G-ready** ist ein Begriff, der verwendet wird, um zu beschreiben, dass eine Technologie, ein Gerät, eine Infrastruktur oder ein System so entwickelt oder aktualisiert wurde, dass es mit den Anforderungen und Funktionen von 5G-Netzwerken kompatibel ist. Dies bedeutet, dass das betreffende Element die technischen

Voraussetzungen erfüllt, um 5G-Dienste zu nutzen oder zu unterstützen, auch wenn das 5G-Netzwerk möglicherweise noch nicht vollständig verfügbar oder aktiviert ist.

Es folgen die wichtigsten Aspekte, die **5G-ready** im Detail bedeuten:

#### 4.3.1. Hardware-Kompatibilität

- **Modems und Chipsätze:** Geräte, die als **5G-ready** bezeichnet werden, enthalten Modems und Chipsätze, die für die Kommunikation mit 5G-Netzwerken ausgelegt sind.
- **Antennen:** Ausgestattet mit fortschrittlichen Antennensystemen, die Millimeterwellen (mmWave) und Sub-6 GHz-Frequenzen unterstützen, welche für 5G typisch sind.

#### 4.3.2. Netzwerktechnologie und -protokolle

- **NR (New Radio):** Unterstützung der 5G NR (New Radio)-Standards, die von der 3GPP (3rd Generation Partnership Project) spezifiziert wurden.
- **Dual Connectivity:** Fähigkeit, gleichzeitig mit 4G- und 5G-Netzwerken zu arbeiten, um eine nahtlose Übergabe und bessere Abdeckung zu gewährleisten.

#### 4.3.3. Software und Firmware

- **Betriebssysteme und Treiber:** Aktualisierte Betriebssysteme und Treiber, die die neuen 5G-Funktionen unterstützen
- **Netzwerkmanagement:** erweiterte Software-Tools für das Management und die Optimierung von 5G-Verbindungen

#### 4.3.4. Endgeräte (z.B. Smartphones, Tablets)

- **Leistungsfähigkeit:** Höhere Download- und Upload-Geschwindigkeiten, geringere Latenzzeiten und verbesserte Kapazitäten im Vergleich zu 4G
- **Zukunftssicherheit:** bereit für die zukünftige Verfügbarkeit von 5G-Netzwerken und -Diensten.

#### 4.3.5. Netzwerkinfrastruktur (z.B. Router, Basisstationen)

- **Skalierbarkeit:** Fähigkeit, die hohen Anforderungen von 5G-Datenraten und Kapazitäten zu bewältigen.
- **Interoperabilität:** Sicherstellung der Kompatibilität mit bestehenden 4G-Netzwerken und nahtloser Übergang zu 5G

#### 4.3.6. Industrielle Anwendungen

- **Echtzeitkommunikation:** Unterstützung von Anwendungen, die extrem niedrige Latenzzeiten erfordern, wie autonome Fahrzeuge, Industrieautomation und Telemedizin.
- **Massive IoT (Internet of Things):** Kapazität zur Verbindung und Verwaltung einer großen Anzahl von IoT-Geräten.

#### 4.4. Vorteile von 5G-ready

- **Zukunftssicherheit:** Investitionen in **5G-ready**-Technologien sind langfristig geschützt, da sie für zukünftige 5G-Netzwerke geeignet sind.
- **Optimierte Leistung:** Nutzung der Vorteile von 5G, sobald es verfügbar ist, ohne zusätzliche Hardware-Upgrades.
- **Wettbewerbsvorteil:** Früher Zugang zu den Verbesserungen und neuen Möglichkeiten, die 5G bietet, wie höhere Datenübertragungsraten und bessere Netzwerkkapazität.

#### 4.5. Beispiele für 5G-ready-Technologien

- **Smartphones:** Modelle, die bereits mit 5G-Modems ausgestattet sind und 5G-Netzwerke nutzen können, wenn sie verfügbar sind.
- **Netzwerkinfrastruktur:** Basisstationen und Router, die für die Unterstützung von 5G entwickelt wurden, aber auch in 4G-Netzwerken arbeiten können.
- **Industriegeräte:** Maschinen und Sensoren in Smart Factories, die für die Kommunikation über 5G-Netzwerke vorbereitet sind.

#### FAZIT

5G-ready bedeutet, dass eine Technologie oder ein Gerät bereit ist, die Vorteile von 5G-Netzwerken zu nutzen, sobald diese verfügbar sind. Es stellt sicher, dass Investitionen in neue Technologien zukunftssicher sind und sofortige sowie langfristige Vorteile durch die neuen Möglichkeiten von 5G bieten.

#### 4.6. 5G Readyness – Check

Der Leistungsfähigkeit und Skalierbarkeit von 5G steht gegenüber, dass diese Kommunikationstechnologie im Vergleich zu anderen Funktechnologien (z.B. Wi-Fi) in ihrer Einrichtung und beim Betrieb zunächst komplexer ist. Der Weg hin zu einem 5G-Campusnetz erfordert deshalb einen umfassenden Prozess, der idealerweise in die Digitalisierungsstrategie Ihres Unternehmens eingebettet sein sollte. Wenn Unternehmen noch ganz am Anfang der Überlegungen zu 5G stehen, kann ein erster **5G-Readyness-Check** bei der Beantwortung der Frage hilfreich sein, ob es betriebswirtschaftlich geboten ist, sich intensiver mit 5G auseinanderzusetzen:

##### 5G-Readyness-Check

###### Digitalisierung und 5G-Anwendungen

Planen Sie, Anwendungen in Ihrem Unternehmen verstärkt zu digitalisieren?

Spielt bei der Digitalisierung Ihrer Anwendungen die Kommunikationsinfrastruktur (z.B. WLAN, Ethernet) eine hervorgehobene, kritische Rolle?

Erfordern diese Anwendungen vergleichbare technische Leistungsparameter, wie jene der in den Kapiteln 2.1 und ff vorgestellten Anwendungsfälle?

- Wie viele Anwendungsfälle, mit wie vielen zu vernetzenden Geräten pro m<sup>2</sup> haben Sie?
- Haben Sie entsprechend qualifiziertes Personal zur Verfügung, um sich mit 5G oder alternativen Technologien zu beschäftigen?
- Haben Sie ein Budget für entsprechende Planungen zur Verfügung?
- Können Sie mit anderen Unternehmen beim Thema 5G kooperieren, um Kosten und Personaleinsatz einzusparen? Können Sie regional mit anderen interessierten Unternehmen (z.B. in einem Gewerbegebiet) zusammenarbeiten?

War Ihr 5G-Readyness-Check erfolgreich? Wenn Sie entsprechende Anwendungen im eigenen Unternehmen haben oder planen und die personellen und finanziellen Ressourcen mitbringen, lohnt es sich, das Thema 5G weiterzudenken.

In einem zweiten Schritt bietet es sich an, eine detaillierte (Machbarkeits-)Analyse für einen erfolgreichen Aufbau eines 5G-Campusnetzes zu Fragen der

- Organisation
- Kosten
- Spezifischen Anwendungen und
- Alternativtechnologien

durchzuführen. Es gilt herauszufinden, welche funkgestützte Technologie welche betrieblichen Anwendungen technisch und betriebswirtschaftlich am besten unterstützen kann. Damit bedarf es der Betrachtung sämtlicher Aspekte von 5G: von der Technik über das Kommerzielle, die Realisierung bis zur Einbindung der Mitarbeiter.

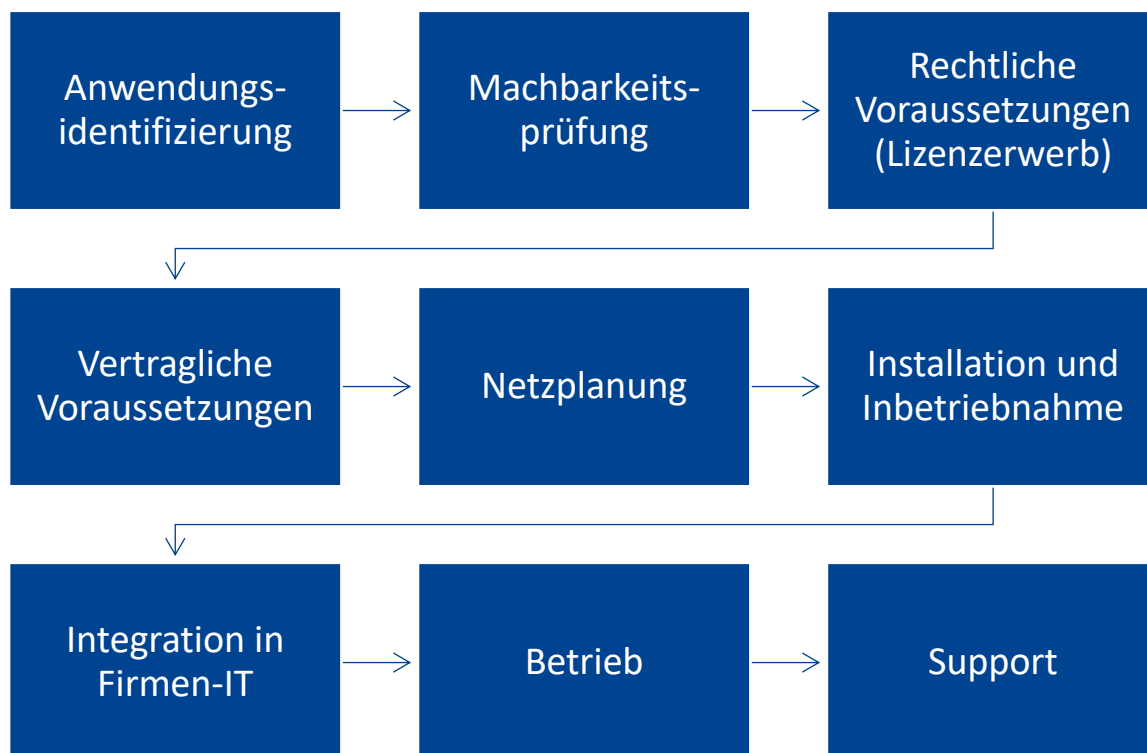
Es bedarf also einer strukturierten Prüfung, ob 5G auf dem Weg der Digitalisierung eine sinnvolle und zielführende Investition für Ihr Unternehmen ist.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Vgl. „Handreichung 5G – Ein Orientierungsleitfaden für die Mitgliedbetriebe der Industrie- und Handelskammern“

## 5. Aufbau und Betrieb von 5G-Campusnetzen

5G-Campusnetze sind ein komplexes IT-System. Nachfolgend geben wir einen kurzen Überblick über die erforderlichen Aufgaben für den Betreiber eines 5G-Campusnetzes – oder für einen von ihm beauftragten Dienstleister. Je nach Auswahl des gewünschten Betreibermodells unterscheiden sich die entsprechenden Aufgaben. In der folgenden Grafik betrachten wir die top-down-Vorgehensweise: die eigentliche Anwendung oder der Use Case steht im Mittelpunkt des Ansatzes. Im Förderprojekt 5GIWCoW haben wir den Bottom-up-Ansatz verfolgt, da wir den Technologiepark Ostfalen mit dem IGZ im Zentrum als 5G-ready-Areal angestrebt haben. Viel häufiger wird nach unserer Einschätzung vom eigentlichen Anwendungsfall ausgegangen und darauf die Errichtung eines 5G-Campusnetzes aufgesetzt.



### 5.1. Anwendungsidentifizierung

Der erste und notwendige Schritt auf dem Weg zu einer Entscheidungsvorlage für ein 5G Campusnetz ist die Beschreibung der geplanten Anwendungen mit ihren qualitativen, räumlichen und sicherheitsrelevanten Anforderungen sowie der zu erwartenden Verkehrsmengen. Wichtige Parameter für die Charakterisierung der geplanten Anwendungen sind:

- Zulässige Latenzzeiten
- Fehlerempfindlichkeit

- Verfügbarkeit
- Robustheit,
- Verkehrsaufkommen und -art
- Datensicherheit

## 5.2. Machbarkeitsprüfung

Bei der Abschätzung, ob der Betrieb eines 5G-Campusnetzes sinnvoll ist, spielen eine umfangreiche Kosten-Nutzen-Analyse und eine Standortanalyse eine wesentliche Rolle. Eine Machbarkeitsanalyse muss klären, ob die rechtlichen, zeitlichen und wirtschaftlichen Voraussetzungen erfüllbar sind:

- Räumliche Anforderungen
  - Äußere Bedingungen (Platz, Temperaturen, Feuchtigkeit, Topografie, Bebauung)
  - Innere Bedingungen (grundsätzliche Montagemöglichkeiten, Betriebsräume etc.)
- Rechtliche Anforderungen
  - Prüfung auf Sicherheit und Robustheit, erforderliche Zertifizierungen, Arbeitsschutz, Funklizenz)
- Organisatorische Anforderungen
  - Prozesse
  - Personal
  - Know-how-Aufbau
- Integratorische Anforderungen
  - Anbindung an MNO
  - Anbindung an interne IT
  - Anbindung an existierende industrielle Kommunikationsnetze

## 5.3. Rechtliche Voraussetzungen (Lizenzwerb)

Wenn eine lokale Funkfrequenz erworben werden soll, müssen die Rahmenbedingungen bzgl. Notwendigkeit und Verfügbarkeit nachgewiesen werden. Für das Antragsverfahren steht ein Online-Tool bereit, das die Antragstellung bei der Bundesnetzagentur (BNetzA) vereinfacht.

## 5.4. Vertragliche Voraussetzungen

Wenn der Aufbau und/oder der Betrieb des 5G-Campusnetzes an Dritte übertragen, müssen Leistungen, Qualität, Fristen etc. vertraglich vereinbart werden. In einigen Fällen kommen dann noch Service Level Agreements (SLAs) mit Mobilfunknetzbetreibern dazu, das hängt vom jeweiligen Betreibermodell ab.

## 5.5. Netzplanung

Neben der Planung der Funkausbreitung umfasst die Netzplanung auch zahlreiche Aufgaben der Anbindungsplanung, Netzdimensionierung und Integration in existierende Netze. Zu diesem **Bauplan** gehören folgende Aspekte:

- Funknetz
  - Funktechnische Ausleuchtung, abhängig von den Anwendungen und der Umgebung, der Einrichtung z.B. große Datenmengen > dichter Netzplan; wenig Sensordaten, die aber zeitkritisch sind > Vermeidung von Störungen der Funkfrequenzen mit hoher Zuverlässigkeit. Zu beachten sind auch Pflanzenbewuchs, Gebäude, Sichtkontakt, viele Metallregale. Absprachen mit benachbarten 5G-Campusnetzen sind zu treffen.
- Infrastruktur/Einbindung lokaler Systeme
  - Physische + logische Voraussetzungen zur Einbindung der 5G-Komponenten (Antennen)
  - Elektro- und Kabelnetzplanung (Sicherheit, Brandschutz, Dimensionierung, Router und Switches) sowie die mechanische Robustheit, Temperaturbereiche und Feuchtigkeit.
- Anbindung und Einbindung lokaler Systeme
  - Trifft nicht bei isolierten 5G-Netzen zu
  - Verfügbarkeit einer geeigneten Anbindung nach außen (zum 5G-Core oder MNO)
  - „Flaschenhals“, wenn Dimensionierung oder Redundanz nicht ausreichen, sonst können die eigentlichen 5G-Vorteile nicht zum Tragen kommen
  - Eine Überdimensionierung führt zu unnötigen Kosten, eine Unterdimensionierung führt nicht zum gewünschten Ergebnis. Große Bedeutung hat hier eine möglichst genaue **Anforderungsspezifikation**.
- Servicearchitektur
  - 5G-Campusnetz als Dienstebereitsteller
  - Bei der Netzplanung kann festgelegt werden, wie und wo geeignete Dienste ihre Berechnungen durchführen sollen und wie Zielsysteme anzusprechen sind (Datenbanken, Produktionssysteme)

## 5.6. Netz-Installation und Inbetriebnahme

Ein 5G-Campusnetz ist nicht per „Plug-and-Play“ zu installieren. Es ist aktuell noch so, dass im Aufbau und in der Implementierung noch sehr viele Anpassungen vorgenommen werden müssen. Vielleicht wird es zukünftig einfachere Lösungen geben.

- Vortests und -abnahmen
  - Vorab-Testphase einplanen
- Installation der Systeme und Infrastruktur
  - Vorhandene Erfahrungen nutzen
  - SIM-Karten des Mobilfunkproviders müssen installiert und konfiguriert werden
- Diensteführung
  - Hohe Komplexität
  - Zeit für Einsatz von MEC (Mobile Edge Cloud) einplanen
  - Einbindung der Anwendungen > Prozesse anpassen bzw. aufsetzen
  - Umfangreiches Testen



## 5.7. Integration in die Firmen-IT-Infrastruktur

Das 5G-Campusnetz wird ein Teil der Firmen-IT-Infrastruktur bzw. der bisherigen industriellen Kommunikationsnetze.

- Rechte- und Dienste-Management abstimmen > Einbindung neuer und vorhandener Netznutzer
- Errichtung von Schnittstellen
- Sicherheit abstimmen

## 5.8. Betrieb

Bei unternehmenskritischen Anwendungen im 5G-Campusnetz bedarf es eines umfangreichen Netzbetriebs:

- Vollständiges FCAPS-Management und Servermonitoring
- SLA-Monitoring
- Betrieb lokaler 5G-Komponenten
- Betrieb und Monitoring Funknetz
- Wartung/Netzanpassungen und -erweiterungen

## 5.9. Support

Zum Support gehört die Anwenderbetreuung (inkl. Hotline und Trainings), der On-Site-Service sowie die Entstörung (Fehleranalyse und -behebung). Je nach Betreibermodell können unterschiedlich tiefe Supportvereinbarungen zum Tragen kommen.

### FAZIT

In Abhängigkeit von den jeweiligen Betreibermodellen für 5G-Campusnetze und den damit verbundenen Technologie-Architekturen und -Bausteinen gibt es unterschiedliche Kriterien zum Aufbau und Betrieb von 5G-Campusnetzen. Aus Unternehmenssicht ist es im Interesse jedes Unternehmens, die eigenen Anwendungsszenarien für eine Vernetzung zu identifizieren und daraus die spezifischen Anforderungen abzuleiten. Danach richtet sich die Ausprägung des 5G-Campusnetzes.

## 6. Kommunikationsinfrastruktur bei industriellen 5G-Anwendungen

Die Kommunikationsinfrastruktur für industrielle 5G-Anwendungen besteht aus einem gut integrierten System von Kernnetzwerk, Radio Access Network, Edge Computing, IoT-Geräten, Netzwerkslicing, Sicherheitsinfrastruktur und Netzwerkmanagement. Diese technischen Komponenten arbeiten zusammen, um die hohen Anforderungen an Geschwindigkeit, Zuverlässigkeit, Sicherheit und Flexibilität zu erfüllen, die in industriellen Anwendungen erforderlich sind. Die Implementierung von 5G-Technologien in industriellen Anwendungen erfordert eine sorgfältige Planung und die Berücksichtigung einer Vielzahl technischer Aspekte. Die nachfolgende Tabelle bietet einen Überblick:

	Funktion	Komponenten	Eigenschaften
<b>5G-Kernnetzwerk (5G Core)</b>	Herzstück der Infrastruktur; steuert die Netzwerkfunktionen, stellt Verbindung zwischen den Netzwerkelementen her.	AMF: Access- und Mobility Management Function; UPF: User Plane Function; SMF: Session Plane Function; NSSF: Network Slice Selection Function	Unterstützt Network slicing, ermöglicht die Erstellung virtueller Netze mit unterschiedl. Eigenschaften für verschiedene Anwendungen
<b>Radio Access Network (RAN)</b>	Stellt drahtlose Verbindung zwischen den Endgeräten (Maschinen, Sensoren und Fahrzeugen) und dem 5G-Netzwerk her	Basisstationen (gNodeBs) – verantwortlich für drahtlose Kommunikation	Bietet hohe Bandbreiten + niedrige Latenzzeiten, unterstützt massive Konnektivität + ultra-reliable low latency communication (URLLC)
<b>Edge Computing</b>	Verarbeitet Daten in der Nähe des Erfassungs-ortes, um Latenzzeiten zu reduzieren + Echtzeitanwendungen zu unterstützen.	Edge-Server, installiert in der Nähe der Produktionsstätte oder direkt in der Fabrikhalle	Ermöglicht schnelle Datenverarbeitung + Analyse, reduziert die Belastung des zentralen Netzwerks und verbessert Reaktionszeiten
<b>IoT-Geräte + industrielle Endgeräte</b>	Sensoren, Aktoren, Maschinen u.a. Geräte erfassen Daten + kommunizieren über 5G	5G-fähige Roboter, CNC Maschinen, autonome Fahrzeuge, Überwachungssensoren	Müssen robust, zuverlässig und in der Lage sein, mit hohen Datenraten + geringen Latenzzeiten zu arbeiten

<b>Netzwerkslicing</b>	Ermöglicht Erstellung mehrerer virtueller Netzwerke auf einer gemeinsamen physischen Infrastruktur, um verschiedene Anforderungen zu erfüllen	Netzwerk-Slices, die jeweils bestimmte Dienste + Anwendungen steuern, wie z.B. ein Slice für Echtzeitsteuerung und eines für Datenanalyse	Jedes Slice kann individuell konfiguriert + optimiert werden, um spezifische Bedürfnisse wie Latenz, Bandbreite und Zuverlässigkeit zu erfüllen.
<b>Sicherheitsinfrastruktur</b>	Gewährleistet Sicherheit + Integrität der Daten sowie den Schutz vor Cyberangriffen	Firewalls, Intrusion Detection Systems (IDS), Verschlüsselungsmechanismen + Authentifizierungssysteme	Muss robuste Sicherheitsprotokolle implementieren, um Datenintegrität und Vertraulichkeit zu gewährleisten und unautorisierte Zugriffe zu verhindern.
<b>Netzwerkmanagement + Orchestrierung</b>	Verwaltung + Überwachung des gesamten Netzwerks, inkl. der Konfiguration, Optimierung + Fehlerbehebung	Netzwerkmanagement-Plattformen, Orchestrierungssoftware, die automatische Skalierung + Anpassung der Netzwerkressourcen ermöglicht	Ermöglicht effiziente Verwaltung von Ressourcen + Netzwerkelementen, unterstützt automatisierte Prozesse + bietet Echtzeiteinblicke in die Netzwerkperformance

## 6.1. Netzwerkkarchitektur

- **Private vs. Public Networks:** entscheide, ob ein privates 5G-Campusnetzwerk (dedizierte Infrastruktur für ein Unternehmen) oder ein öffentliches 5G-Netzwerk genutzt wird. Private Netzwerke bieten bessere Kontrolle und Sicherheit, während öffentliche Netzwerke kostengünstiger und einfacher zu implementieren sind.
- **Edge Computing:** implementiere Edge Computing-Technologien, um Datenverarbeitung und -analyse näher an den Datenquellen durchzuführen. Das reduziert die Latenz und entlastet das zentrale Netzwerk.

## 6.2. Frequenzplanung und -nutzung

- **Frequenzbänder:** wähle geeignete Frequenzbänder aus. Niedrige Frequenzen (z.B. Sub-1 GHz) bieten größere Abdeckung und Durchdringung, während höhere Frequenzen (z.B. mmWave) höhere Datenraten und Kapazitäten ermöglichen.
- **Lizenzierung:** Achte auf die notwendigen Lizenzen und regulatorischen Anforderungen für die Nutzung von Frequenzen, insbesondere bei privaten 5G-Netzen.

### PRAXISBEISPIEL TPO:

Grundsätzlich ist hier von einem Zubringer-Netz und entsprechenden Funkzellen in den beteiligten Unternehmen zu unterscheiden.

In Anbetracht der o.g. Ausführungen und insbesondere in Anerkennung, dass die projektbeteiligten Unternehmen in sehr naher Entfernung zum zentralen Antennenpunkt IGZ positioniert sind, sollte die Anwendung von Frequenzen im Bereich 26 GHz geprüft und zügig eine Entscheidung erarbeitet werden.

## 6.3. Netzwerkkomponenten

- **gNodeB (5G-Basisstation):** installiere und konfiguriere die Basisstationen entsprechend den Anforderungen des industriellen Umfelds, z.B. hinsichtlich Reichweite, Kapazität und Robustheit.
- **User Equipment (UE):** stelle sicher, dass alle Endgeräte (z.B. Sensoren, Maschinen, Roboter) 5G-fähig sind und die notwendigen Kommunikationsprotokolle unterstützen.

## 6.4. Netzwerkslicing

- **Virtuelle Netze:** implementiere Netzwerkslicing, um verschiedene virtuelle Netzwerke auf einer gemeinsamen physischen Infrastruktur zu betreiben. Jedes Slice kann für spezifische Anforderungen (z.B. niedrige Latenz, hohe Zuverlässigkeit) optimiert werden.
- **Management und Orchestrierung:** Nutze spezialisierte Tools zur Verwaltung und Orchestrierung der Slices, um eine flexible und effiziente Ressourcenzuteilung zu gewährleisten.

## 6.5. Sicherheitsaspekte

- **End-to-End-Verschlüsselung:** implementiere eine durchgehende Verschlüsselung für die Datenübertragung, um die Vertraulichkeit und Integrität der Daten zu gewährleisten.
- **Authentifizierung und Zugangskontrollen:** setze robuste Authentifizierungsmechanismen und Zugangskontrollen ein, um sicherzustellen, dass nur autorisierte Geräte und Nutzer Zugang zum Netzwerk haben.
- **Intrusion Detection and Prevention Systems (IDPS):** implementiere Systeme zur Erkennung und Abwehr von Netzwerkangriffen und Sicherheitsvorfällen.

## 6.6. QoS (Quality of Service)

- **Latenz:** optimiere das Netzwerk für niedrige Latenzzeiten, insbesondere bei Anwendungen, die Echtzeitkommunikation erfordern, wie z.B. Robotersteuerung oder autonome Fahrzeuge
- **Zuverlässigkeit:** Stelle sicher, dass das Netzwerk hohe Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit bietet, um Produktionsausfälle und Betriebsunterbrechungen zu vermeiden.
- **Bandbreite:** Plane ausreichend Bandbreite für datenintensive Anwendungen, wie z.B. hochauflösende Videoüberwachung oder maschinelles Lernen.

## 6.7. Integration in bestehende Systeme

- **Interoperabilität:** stelle sicher, dass das 5G-Netzwerk nahtlos mit bestehenden IT- und OT-Systemen (Operational Technology) integriert wird. Dies erfordert die Kompatibilität von Protokollen und Schnittstellen.
- **Migration und Koexistenz:** plane die Migration bestehender Kommunikationsinfrastrukturen auf 5G und berücksichtige die Koexistenz mit älteren Netzwerktechnologien während der Übergangsphase.

## 6.8. Datenmanagement

- **Datenverarbeitung und -speicherung:** implementiere robuste Systeme zur Datenverarbeitung und -speicherung, die den Anforderungen hinsichtlich Geschwindigkeit und Kapazität entsprechen.
- **Datensicherheit:** stelle sicher, dass gespeicherte Daten sicher vor unbefugtem Zugriff und Manipulation geschützt sind.

## 6.9. Monitoring und Wartung

- **Netzwerküberwachung:** Implementiere Systeme zur kontinuierlichen Überwachung der Netzwerkperformance und -sicherheit, um Probleme frühzeitig zu erkennen und zu beheben.
- **Wartung und Updates:** Stelle sicher, dass regelmäßige Wartung und Software-Updates durchgeführt werden, um die Leistungsfähigkeit und Sicherheit des Netzwerks aufrechtzuerhalten.

## FAZIT

Die technischen Aspekte bei der Einführung von 5G in industriellen Anwendungen sind vielfältig und komplex. Eine sorgfältige Planung und Implementierung unter Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen des industriellen Umfelds sind entscheidend, um die Vorteile der 5G-Technologie voll auszuschöpfen. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen IT, OT- und Netzwerkspezialisten sowie kontinuierliche Anpassungen und Verbesserungen der eingesetzten Technologien und Prozesse.

## 7. Organisatorische Aspekte bei industriellen 5G-Anwendungen

Die Einführung und Nutzung von 5G-Technologien in industriellen Anwendungen erfordert nicht nur technische und rechtliche Überlegungen, sondern auch eine umfassende organisatorische Planung und Umsetzung. Hier sind die wichtigsten organisatorischen Herausforderungen<sup>5</sup> zusammengefasst:

### Organisation 5G-Campusnetz

- 5G-Campusnetze müssen bei der Bundesnetzagentur lizenziert werden, dabei fallen Lizenzkosten an. Für die Lizenzierung ist ein begründeter Antrag einzureichen.
- Die Lizenzen werden für ein festes Areal ausgestellt, auf dem das Netz betrieben werden darf. Über dieses Areal muss der Antragsteller die Verfügungsgewalt haben. Ein schnelles Verlegen des Netzes an einen nicht lizenzierten Ort ist nicht möglich.
- Je Gebiet kann es grundsätzlich nur einen Lizenznehmer geben.
- Die Einrichtung und der Betrieb eines 5G-Campusnetzes ist komplex und technisch anspruchsvoll, was entsprechendes Know-how zu IT-Technik und zu Mobilfunktechnik erfordert, insbesondere wenn Teile der Aufgaben nicht durch einen externen Dienstleister erledigt werden sollen.
- Die Investitionskosten sind signifikant höher gegenüber herkömmlichen Drahtloslösungen. Es ist spezielle Hardware erforderlich. Die Anzahl der Hersteller entsprechender Technik ist klein.

### 7.1. Projektmanagement und Implementierung

- **Projektplanung:** Eine detaillierte Projektplanung ist unerlässlich. Dies umfasst die Festlegung von Zielen; Meilensteinen, Zeitplänen und Ressourcen.
- **Stakeholder-Management:** Identifiziere und involviere alle relevanten Stakeholder frühzeitig. Dazu gehören Führungskräfte, IT-Abteilungen, Produktionsteams und externe Partner.
- **Pilotprojekte:** Beginne mit Pilotprojekten, um die 5G-Technologie zu testen und erste Erfahrungen zu sammeln, bevor sie großflächig im Unternehmen eingeführt wird.

### 7.2. Team und Verantwortlichkeiten

- **Spezialistenteam:** stelle ein Team von Spezialisten zusammen, das über das notwendige Wissen in den Bereichen 5G-Technologie, IT-Sicherheit, Netzwerkmanagement und industrielle Anwendungen verfügt.
- **Klare Verantwortlichkeiten:** Definiere klare Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten innerhalb des Projekts. Ein Projektleiter sollte die Gesamtverantwortung tragen und als Hauptansprechpartner fungieren.
- **Schulung und Weiterbildung:** Sorge für die kontinuierliche Schulung und Weiterbildung der Mitarbeiter, um sicherzustellen, dass sie mit den neuen Technologien und deren Anwendungen vertraut sind.

---

<sup>5</sup> Vgl. BSI [www.bsi.bund.de](http://www.bsi.bund.de) „Vorteile und Herausforderungen der 5. Mobilfunkgeneration“, abgerufen im Januar 2025

### 7.3. Infrastruktur und Ressourcen

- **Technologische Ausstattung:** Beschaffe und installiere die notwendige Hardware und Software für das 5G-Netzwerk, einschließlich Basisstationen, Router, Server und Endgeräte.
- **Netzwerkintegration:** Plane die Integration des 5G-Netzwerkes in die bestehende IT- und OT-Infrastruktur (Operational Technology). Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen IT- und Produktionsabteilungen.
- **Ressourcenmanagement:** Stelle sicher, dass ausreichende finanzielle und personelle Ressourcen zur Verfügung stehen, um das Projekt erfolgreich umzusetzen und zu betreiben.

### 7.4. Sicherheits- und Datenschutzmaßnahmen

- **Sicherheitsstrategie:** Entwickle eine umfassende Sicherheitsstrategie, die den Schutz der Daten und Systeme gewährleistet. Dies umfasst Firewalls, Verschlüsselung, Zugangskontrollen und regelmäßige Sicherheitsüberprüfungen.
- **Datenschutzkonzept:** Implementiere ein Datenschutzkonzept, das den Anforderungen der DSGVO entspricht. Dazu gehören Maßnahmen zur Sicherstellung der Datenintegrität und Vertraulichkeit.
- **Notfallmanagement:** Erstelle Pläne für den Umgang mit Sicherheitsvorfällen und Notfällen, einschließlich Maßnahmen zur schnellen Reaktion und Wiederherstellung.

### 7.5. Prozesse und Abläufe

- **Prozessoptimierung:** Analysiere und optimiere bestehende Geschäftsprozesse, um das Potenzial der 5G-Technologie voll auszuschöpfen. Dies kann beispielsweise die Automatisierung von Produktionsprozessen umfassen.
- **Change Management:** Implementiere ein effektives Change Management, um sicherzustellen, dass alle Mitarbeiter den Wandel akzeptieren und unterstützen. Dies umfasst Kommunikation, Schulungen und Unterstützung bei der Anpassung an neue Arbeitsweisen.
- **Kontinuierliche Verbesserung:** Etabliere Prozesse zur kontinuierlichen Verbesserung und Anpassung der 5G-Anwendungen an sich verändernde Anforderungen und technologische Entwicklungen.

### 7.6. Compliance und Regulierung

- **Regulatorische Einhaltung:** Stelle sicher, dass alle regulatorischen Anforderungen und Standards eingehalten werden. Dies umfasst nicht nur Datenschutz und IT-Sicherheit, sondern auch branchenspezifische Vorschriften.
- **Dokumentation:** Dokumentiere alle Prozesse, Maßnahmen und Entscheidungen im Zusammenhang mit der Einführung und Nutzung von 5G. Dies dient der Nachweisbarkeit und erleichtert die Einhaltung von Compliance-Anforderungen.



## 7.7. Kooperationen und Partnerschaften

- **Externe Partner:** Arbeite eng mit externen Partnern, wie Telekommunikationsanbietern, Technologielieferanten und Beratungsunternehmen, zusammen. Diese können wertvolle Unterstützung und Expertise bieten.
- **Forschung und Entwicklung:** Kooperationen mit Forschungsinstituten und Universitäten können helfen, innovative Lösungen zu entwickeln und aktuelle Entwicklungen in die Praxis umzusetzen.

### FAZIT

Die organisatorischen Aspekte bei der Einführung und Nutzung von 5G in industriellen Anwendungen sind vielfältig und erfordern eine sorgfältige Planung und Umsetzung. Durch ein strukturiertes Vorgehen und die Einbeziehung aller relevanten Bereiche und Stakeholder kann sichergestellt werden, dass die 5G-Technologie erfolgreich integriert und genutzt wird. Dies ermöglicht es Unternehmen, die Vorteile der Technologie voll auszuschöpfen und gleichzeitig Risiken zu minimieren.

## 8. Kaufmännische Aspekte bei industriellen 5G-Anwendungen

Die Einführung von 5G-Technologien in industriellen Anwendungen erfordert nicht nur technische und organisatorische Überlegungen, sondern auch eine sorgfältige kaufmännische Planung. Hier sind die wichtigsten kaufmännischen Aspekte zusammengefasst:

### 8.1. Investitionskosten und Budgetplanung

- **Anschaffungskosten:** Hier sind die Kosten für die Anschaffung der notwendigen Hardware (Basisstationen, Router, Endgeräte) und Software (Netzwerkmanagement- und Sicherheitslösungen) zu berücksichtigen.
- **Implementierungskosten:** Kosten für Installation und Integration der 5G-Infrastruktur, einschließlich der Kosten für externe Dienstleister und Berater
- **Laufende Betriebskosten:** Regelmäßige Betriebskosten, wie Wartung, Updates, Energieverbrauch und Gebühren für Frequenzlizenzen

### 8.2. Finanzierung und Fördermittel

- **Finanzierungsstrategien:** Entwicklung geeigneter Finanzierungsstrategien (Eigenkapital, Fremdkapital oder Leasingmodelle, um die Investitionen zu decken....
- **Fördermittel und Subventionen:** Über mögliche Förderprogramme und Subventionen informieren, die von staatlichen oder europäischen Institutionen angeboten werden, um die Einführung von 5G-Technologien zu unterstützen

### 8.3. Kosten-Nutzen-Analyse

- **ROI (Return on Investment):** ROI berechnen, um die Wirtschaftlichkeit der Investition zu bewerten. Sowohl direkte Einsparungen (z.B. durch effizientere Prozesse) als auch indirekte Vorteile (z.B. höhere Produktionsqualität)
- **Kosten-Nutzen-Vergleich:** Detaillierte Kosten-Nutzen-Analyse durchführen, um die Vorteile der 5G-Technologie (z.B. höhere Geschwindigkeit, niedrigere Latenz ) gegen die Kosten abzuwägen.....

### 8.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse

- **TCO (Total Cost of Ownership):** Berücksichtigung aller anfallenden Kosten über den gesamten Lebenszyklus der 5G-Infrastruktur, einschließlich Anschaffung, Betrieb, Wartung und Entsorgung
- **Break-Even-Analyse:** Zeitpunkt bestimmen, ab dem die Investition in die 5G-Technologie profitabel wird

### 8.5. Vertragsmanagement

- **Vertragsverhandlungen:** Günstige Konditionen mit Anbietern und Dienstleistern verhandeln, um die Kosten zu optimieren und langfristige Partnerschaften zu sichern

- **Service Level Agreements (SLAs):** Sicherstellen, dass SLAs klare Regelungen zu Verfügbarkeit, Leistung und Entschädigungen bei Nichterfüllung enthalten
- **Lizenzverträge:** Darauf achten, dass alle notwendigen Lizenzen und Rechte für die Nutzung der 5G-Technologie ordnungsgemäß erworben und dokumentiert sind.

## 8.6. Risikomanagement

- **Risikoanalyse:** Potenzielle Risiken identifizieren, die mit der Einführung von 5G-Technologien verbunden sind, wie technische Ausfälle, Sicherheitsbedrohungen oder rechtliche Herausforderungen
- **Risikobewältigungsstrategien:** Entwicklung von Strategien zur Minderung dieser Risiken, z.B. durch Versicherungen, Sicherheitsmaßnahmen oder alternativer Planungen

## 8.7. Marktanalyse und Wettbewerb

- **Marktpotenzial:** Analyse des Marktpotenzials und der Nachfrage nach 5G-Technologien in der Branche, potenzielle Einsatzbereiche und Geschäftsmöglichkeiten identifizieren
- **Wettbewerbsanalyse:** Untersuchung der Aktivitäten und Strategien von Wettbewerbern im Bereich 5G, um Wettbewerbsvorteile zu identifizieren und zu nutzen

## 8.8. Geschäftsmodellinnovation

- **Neue Geschäftsmodelle:** Entwicklung neuer Geschäftsmodelle, die durch 5G-Technologie ermöglicht werden, wie z.B. datenbasierte Dienstleistungen, Fernüberwachung und -steuerung oder vorausschauende Wartung
- **Value Proposition:** Definition des Mehrwerts, den 5G-Anwendungen den Kunden bieten, um Marktakzeptanz zu erhöhen und Wettbewerbsvorteile zu schaffen

## 8.9. Mitarbeiterschulung und Change Management

- **Schulungskosten:** Berücksichtigung von Kosten für Schulung und Weiterbildung von Mitarbeitern, um sicherzustellen, dass sie mit den neuen Technologien und Prozessen vertraut sind
- **Change Management:** Planung und Budgetierung von Maßnahmen zur Unterstützung des organisatorischen Wandels, einschließlich Kommunikation, Schulungen und Unterstützung bei der Anpassung an neue Arbeitsweisen

### FAZIT

Die kaufmännischen Aspekte bei der Einführung von 5G in industriellen Anwendungen sind vielfältig und erfordern eine sorgfältige Planung und Analyse. Eine umfassende Betrachtung der Investitions- und Betriebskosten, der Finanzierungsmöglichkeiten, Wirtschaftlichkeitsanalysen und Risikomanagementstrategien ist entscheidend, um die Vorteile der 5G-Technologie effektiv zu nutzen und langfristigen wirtschaftlichen Erfolg zu sichern.

## 9. Rechtliche Aspekte bei industriellen 5G-Anwendungen

Die Einführung und Nutzung von 5G-Technologien in industriellen Anwendungen ist mit einer Reihe von rechtlichen Anforderunegn und Aspekten verbunden. Diese betreffen unter anderem Datenschutz, Sicherheit, Frequenznutzung und Haftung. Nachfolgend sind die wichtigsten rechtlichen Aspekte zusammengefasst:

### 9.1. Datenschutz und Datensicherheit

- **Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO):** Unternehmen müssen sicherstellen, dass sie die Vorgaben der DSGVO einhalten. Dies beinhaltet die Sicherstellung der Rechte betroffener Personen, die Datenminimierung, die Einhaltung von Transparenzpflichten und die Implementierung geeigneter technischer und organisatorischer Maßnahmen zum Schutz personenbezogener Daten.
- **Einwilligung und Rechtsgrundlage:** Jede Datenverarbeitung muss auf einer gültigen Rechtsgrundlage beruhen. Oftmals wird hierfür die Einwilligung der betroffenen Personen oder die Erfüllung eines Vertrages herangezogen.
- **Sicherheitsmaßnahmen:** Unternehmen müssen gemäß Art. 32 DSGVO geeignete technische und organisatorische Maßnahmen ergreifen, um ein dem Risiko angemessenes Sicherheitsniveau zu gewährleisten.

### 9.2. Nutzungsrechte und Frequenzzuteilung

- **Frequenzzuteilung:** Der Betrieb von 5G-Campusnetzen erfordert die Zuteilung spezifischer Frequenzen. In Deutschland regelt die Bundesnetzagentur (BNetzA) die Vergabe und Nutzung von Frequenzen.
- **Lizenzierung:** Unternehmen müssen gegebenenfalls Lizenzen erwerben, um bestimmte Frequenzen nutzen zu dürfen. Dies kann nationale und europäische Regelungen umfassen.

### 9.3. Sicherheitsvorschriften

- **Cybersecurity:** Industrielle 5G-Anwendungen müssen den Anforderungen an die Netz- und Informationssicherheit entsprechen. Dazu gehört die Implementierung von Maßnahmen zum Schutz vor Cyberangriffen und die Einhaltung nationaler und internationaler Sicherheitsstandards.

Aktuelle Themen zur Cyberkriminalität sollte jedes Unternehmen, unabhängig von seiner Größe, ernst nehmen. Viele Sicherheitsvorfälle entstehen aus Unkenntnis oder mangelndem Problembewusstsein. Im Zuge einer zunehmenden Digitalisierung ist es daher unabdingbar, dass jedes Unternehmen seine Organisation und Prozesse inklusive zugehöriger Informationen sowie seine technische Sicherheitsarchitektur kennt und sie hinsichtlich der aktuellen Gefährdungslage anpasst. Hierzu sollte idealerweise ein ganzheitliches Informationssicherheitsmanagement-System (ISMS) aufgebaut werden.

Unternehmen in Deutschland sollten hinsichtlich der Informationssicherheit folgendes berücksichtigen:

- Schärfung des Problembewusstseins für Informationssicherheit über alle Ebenen
- VdS-Standard 10000 „Informationssicherheitsmanagementsystem für KMU“ als pragmatischer Ansatz
- BSI-IT-Grundschutz mit mehrstufigem Modell und Vorschlägen zur Implementierung

- Rechtliche Rahmenbedingungen: IT-Sicherheitsgesetz, EU-DSGVO.

Grundsätzlich sind 5G-Campusnetze nicht durch das BSIG oder das TKG reguliert. Unternehmen oder Behörden, die 5G-Campusnetze nutzen oder eine zukünftige Nutzung anstreben, sind somit nicht zur Umsetzung von technischen Richtlinien oder an Zertifizierungspflichten gebunden. Um dennoch seine Daten zu schützen und die Verfügbarkeit des 5G-Campusnetzes zu gewährleisten, herrscht eine hohe Nachfrage an Security-by-Design, um die gewählte Konnektivätslösung im eigenen Informationsverbund abzusichern.

Das BSI stellt für diesen Fall mit dem IT-Grundschutz ein erprobtes und anerkanntes Werkzeug für den Aufbau von IT-Sicherheit zur Verfügung. Um den Betrieb sowie die Integration von 5G-Campuslösungen mit erprobten Best-Practices so sicher wie möglich zu gestalten, hat das BSI zusammen mit Anwendern und Fachleuten aus der Wirtschaft IT-Grundschutz-Profile und benutzerdefinierte Bausteine entwickelt. Diese sollen Unternehmen und Behörden dabei unterstützen, ein 5G-Campusnetz sicher aufzubauen, zu betreiben und in den Unternehmensverbund zu integrieren. Für die nachfolgend genannten Betriebsmodelle stellt das BSI IT-Grundschutz-Profile und zugehörige benutzerdefinierte Bausteine bereit, die bei der Absicherung der 5G-Campusnetze unterstützen:

- IT-Grundschutz-Profil zur Absicherung von 5G-Campusnetzen im Fremdbetrieb
- IT-Grundschutz-Profil zur Absicherung von 5G-Campusnetzen im Eigenbetrieb
- Benutzerdefinierte Bausteine
  - Baustein INF.bd.1 Ortsveränderliche Einhausung für IT-Systeme und Kreuzreferenztafel
  - Baustein CON.bd.1 Verwaltung von SIM-Karten und Kreuzreferenztafel
  - Baustein NET.bd.1 Betrieb privater 5G-Campusnetze und Kreuzreferenztafel

Die IT-Grundschutzprofile werden regelmäßig dem aktuellen Stand der Technik angepasst. Ebenso werden bei Bedarf weitere IT-Grundschutz-Profile und benutzerdefinierte Bausteine entstehen, um verschiedene Einsatzszenarien von 5G-Campusnetzen so gut und übersichtlich wie möglich abzubilden und die Anwendung von sicherheitsbezogenen Best-Practices so einfach wie möglich zu gestalten.<sup>6</sup>

- **KRITIS-Verordnung:** In Deutschland müssen Betreiber kritischer Infrastrukturen (KRITIS) besondere Sicherheitsanforderungen erfüllen und ihre Systeme regelmäßig auf Sicherheitslücken überprüfen lassen.

Die „Verordnung zur Bestimmung Kritischer Infrastrukturen nach dem BSI-Gesetz (BSI-Kritisverordnung – BSI-KritisV)“ ist eine Rechtsverordnung des Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI), die festlegt, dass die Sektoren Energie, Wasser, Ernährung, Informationstechnik und Telekommunikation als Kritische Infrastrukturen (KRITIS) einzustufen sind. Später wurden die Bereiche Transport und Verkehr, Gesundheit und Finanz- und Versicherungswesen ergänzt.

Das IT-Sicherheitsgesetz richtet sich an Unternehmen sowie an das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI). Es regelt die Anforderungen an Kritische Infrastrukturen (KRITIS) neu: Unternehmen, die als kritisch gelten, müssen ihre IT-Systeme nach dem aktuellen Stand der Technik absichern und ihre Informationssicherheit mindestens alle zwei Jahre überprüfen lassen. Für weitere Unternehmen mit sensiblen Daten sieht auch die DSGVO seit 2018 diese Standards vor. Statt einer zweijährigen Überprüfung wird in der

---

<sup>6</sup> „IT-Grundschutz-Profil zur Absicherung von 5G-Campusnetzen“, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, Version 1.0, Edition 2022

DSGVO eine Art Managementsystem gefordert. So will der Staat die Bereiche besser schützen, deren Funktionsfähigkeit für unsere moderne Gesellschaft unverzichtbar sind.

Danach ist das BSI verpflichtet,

- Informationen zur Abwehr der Gefahren für die IT-Sicherheit von KRITIS-Betreibern zu sammeln,
- Relevantes an die betroffenen Unternehmen und zuständigen Aufsichtsbehörden weiterzuleiten,
- Mindeststandards für die IT der Bundesverwaltung zu erarbeiten und
- in einem jährlichen Bericht die Öffentlichkeit über die aktuellen Gefahren der IT-Sicherheit informieren.

Neben Gesetzen und Rechtsverordnungen sorgen in der Praxis spezielle Normen, Grundsätze und Sicherheitsstandards dafür, dass die Unternehmen den Anforderungen an die Informationssicherheit gerecht werden. Die BSI-Standards sind ein zentraler Bestandteil der IT-Grundschutz-Methodik in Deutschland. Darin festgehalten sind Methoden, Prozesse und geeignete Maßnahmen, um die Informationssicherheit im Unternehmen umzusetzen. Der BSI-Standard 200-1 beispielsweise definiert die Anforderungen an ein Informationssicherheitsmanagementsystem (ISMS), zeigt also, welche organisatorischen und technischen Maßnahmen Unternehmen ergreifen müssen, um ihre IT-Sicherheit zu schützen und zu verbessern.

- Ein ISMS legt auch fest, wie mit personenbezogenen Daten innerhalb des Geschäftsprozesses umzugehen ist. Der Schutz solcher Daten ist zentraler Bestandteil der Informationssicherheit eines Unternehmens. Mit der EU-Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) werden die Datenschutzniveaus in den Mitgliedsstaaten vereinheitlicht.

## 9.4. Haftung und Vertragsrecht

- **Haftung für Datenverluste und Sicherheitsvorfälle:** Unternehmen müssen sicherstellen, dass sie Haftungsrisiken für Datenverluste, Sicherheitsvorfälle und andere Betriebsunterbrechungen abdecken. Dies kann durch entsprechende Versicherungen und Haftungsklauseln in Verträgen erfolgen.
- **Service Level Agreements (SLAs):** Verträge mit Dienstleistern sollten klare Regelungen zu den erwarteten Serviceleistungen, Verfügbarkeiten und Entschädigungen im Falle von Ausfällen oder Nichterfüllung der Leistungen enthalten.
- **Vertragsverhandlungen:** Günstige Konditionen mit Anbietern und Dienstleistern verhandeln, um die Kosten zu optimieren und langfristige Partnerschaften zu sichern. >>> Kapitel: Kaufmännische Aspekte
- **Lizenzverträge:** Es ist darauf zu achten, dass alle notwendigen Lizenzen und Rechte für die Nutzung der 5G-Technologie ordnungsgemäß erworben und dokumentiert sind. >>> Kapitel: technische Aspekte

## 9.5. Compliance und Regulatorische Anforderungen

- **Branchenspezifische Vorschriften:** Je nach Branche können zusätzliche regulatorische Anforderungen gelten, beispielsweise im Gesundheitswesen, in der Automobilindustrie oder in der Energieversorgung.

- **Regularien für autonome Systeme:** Der Einsatz von 5G zur Steuerung autonomer Systeme (z.B. Fahrzeuge, Roboter) muss den gesetzlichen Vorgaben für die Sicherheit und Zulassung solcher Systeme entsprechen.

## 9.6. Internationale Regelungen und Standards

- **Internationale Harmonisierung:** Unternehmen, die in mehreren Ländern tätig sind, müssen sicherstellen, dass sie internationale Standards und rechtliche Anforderungen erfüllen. Dies betrifft insbesondere den grenzüberschreitenden Datenverkehr und die Einhaltung unterschiedlicher nationaler Datenschutzgesetze.
- **Standardisierung:** Die Einhaltung internationaler Standards, wie sie beispielsweise von der International Telecommunication Unit (ITU) oder dem European Telecommunications Standards Institute (ETSI) festgelegt werden, kann ebenfalls rechtliche Relevanz haben.

## 9.7. Verbraucherschutz und Rechte der Endnutzer

- **Informationspflichten:** Unternehmen müssen sicherstellen, dass Endnutzer über die Erhebung und Verarbeitung ihrer Daten informiert werden und ihre Rechte wahrnehmen können.
- **Transparenz:** Die Nutzung und Verarbeitung von Daten sollte transparent gestaltet werden, um das Vertrauen der Nutzer zu gewährleisten.

### FAZIT

Die rechtlichen Aspekte bei der Nutzung von 5G-Technologien in industriellen Anwendungen sind vielfältig und komplex. Unternehmen müssen sicherstellen, dass sie die relevanten rechtlichen Anforderungen und Standards einhalten, um Risiken zu minimieren und die rechtliche Compliance zu gewährleisten. Dies erfordert eine sorgfältige Planung und kontinuierliche Überwachung der rechtlichen Rahmenbedingungen.

## 10. Prozesse und Richtlinien

### 10.1. Nutzerbezogene Umsetzung von Anforderungen on Demand für eine 5G-Dienstleistungsumgebung

Die nutzerbezogene Umsetzung von Anforderungen in einer 5G-Dienstleistungsumgebung erfordert einen strukturierten Prozess, der sicherstellt, dass spezifische Nutzerbedürfnisse effizient und effektiv erfüllt werden.

#### 10.1.1. Anforderungserhebung und -analyse

	Aktivität	Beteiligte	Werkzeuge
<b>Bedarfs-ermittlung</b>	Sammeln und Identifizieren der spezifischen Anforderungen der Nutzer	Kundenbetreuer, Projektmanager, technische Berater	Interviews, Umfragen, Workshops
<b>Anforderungs-analyse</b>	Analysieren der gesammelten Anforderungen, um technische und geschäftliche Bedürfnisse zu verstehen	Business-Analysten, technische Architekten	Anforderungsdokumente, Use-Case-Diagramme, Prozessmodelle

#### 10.1.2. Spezifikation der Anforderungen

	Aktivität	Beteiligte	Werkzeuge
<b>Erstellung Anforderungskatalog</b>	Dokumentieren der Anforderungen in einem strukturierten Format	Business Analysten, technische Autoren	Anforderungsspezifikationen, Lastenhefte
<b>Bewertung und Priorisierung</b>	Bewerten und Priorisieren der Anforderungen basierend auf Dringlichkeit und Wert	Produktmanager, Projektmanager	Priorisierungsmatrizen, SWOT-Analysen



### 10.1.3. Technische Umsetzung

Aktivität	Beteiligte	Werkzeuge
Design und Architektur	Entwerfen der Systemarchitektur und technischen Lösungen, um die Anforderungen zu erfüllen	Systemarchitekten, Netzwerkingenieure Architekturdiagramme, Design-Dokumente
Implementierung	Entwickeln und Konfigurieren der 5G-Dienstleistungen gemäß den spezifischen Anforderungen	Entwickler, Netzwerkadministratoren Entwicklungsumgebungen, Konfigurationsmanagement-Tools

### 10.1.4. Testen und Qualitätssicherung

Aktivität	Beteiligte	Werkzeuge
Testplanung	Erstellen eines Testplans, der alle Aspekte der neuen oder geänderten Dienstleistungen abdeckt	Testmanager, Qualitätssicherungsingenieure Testpläne, Testfall-Dokumentationen
Durchführung von Tests	Durchführen von Funktionstests, Belastungstests und Sicherheitstests	Testingenieure, QA-Teams Testautomatisierungstools, Testmanagement-Systeme
Fehlerbehebung und Optimierung	Identifizieren und Beheben von Fehlern sowie Optimieren der Leistung	Entwickler, Netzwerkadministratoren Debugging-Tools, Performance-Monitoring-Tools

### 10.1.5. Bereitstellung und Inbetriebnahme

Aktivität	Beteiligte	Werkzeuge
<b>Vorbereitung der Bereitstellung</b> Planen der Bereitstellung und Erstellung eines Rollout-Plans	Deployment-Manager, IT-Operations	Deployment-Pläne, Checklisten
<b>Rollout und Konfiguration</b> Ausrollen der 5G-Dienste in die Produktionsumgebung und Konfiguration gemäß den Anforderungen	IT-Operations, Netzwerkadministratoren	Deployment-Tools, Konfigurationsmanagement-Tools
<b>Inbetriebnahme</b> Überprüfen der Dienste auf ordnungsgemäße Funktion und Freigabe für den produktiven Betrieb	IT-Operations, Qualitätssicherung	Monitoring-Tools, Abnahmeprotokolle

### 10.1.6. Support und Wartung

Aktivität	Beteiligte	Werkzeuge
<b>Überwachung und Support</b> Kontinuierliches Überwachen der Dienste und Bereitstellen von technischem Support	IT-Operations, Support-Teams	Netzwerk-Monitoring-Tools, Helpdesk-Systeme
<b>Wartung und Updates</b> Regelmäßige Wartung und Implementierung von Updates und Patches	IT-Operations, Entwickler	Wartungspläne, Update-Management-Systeme

### 10.1.7. Rückmeldung und kontinuierliche Verbesserung

	Aktivität	Beteiligte	Werkzeuge
<b>Nutzerfeedback sammeln</b>	Einholen von Feedback der Nutzer zur Leistung und Zufriedenheit	Kundenbetreuer, Support-Teams	Umfragen, Feedback-Formulare
<b>Analyse und Verbesserung</b>	Analysieren des Feedbacks und Implementieren von Verbesserungen	Produktmanager, Entwickler	Analyse-Tools, Verbesserungspläne

#### FAZIT

Dieser Prozess stellt sicher, dass die spezifischen Anforderungen der Nutzer in einer 5G-Dienstleistungsumgebung effizient und effektiv umgesetzt werden. Durch strukturierte Schritte von der Anforderungserhebung bis zur kontinuierlichen Verbesserung wird eine hohe Qualität und Zufriedenheit der Nutzer sichergestellt.

## 10.2. Richtlinien zur Spezifikation von Dienstleistungsqualität in industriellen 5G-Anwendungen

Die 5G Alliance for Connected Industries and Automation (5G-ACIA) ist eine globale Initiative, die sich auf die Nutzung von 5G-Technologien in industriellen Anwendungen konzentriert. Die 5G-ACIA hat Richtlinien zur Spezifikation von QoS (Quality of Service) in 5G-Netzwerken für industrielle Anwendungen entwickelt. Nachfolgend werden einige der wichtigsten Parameter zur Spezifikation von QoS in 5G-Netzwerken beschrieben:

**Tabelle: Wichtige QoS-Parameter für industrielle 5G-Anwendungen**

Parameter	Definition	Anforderung
<b>Latenzzeit (Latency)</b>	Die Zeit, die ein Datenpaket benötigt, um vom Sender zum Empfänger zu gelangen.	Besonders kritisch für Echtzeitanwendungen wie Robotik und automatisierte Steuerungssysteme, wo Latenzzeiten von unter 1 ms erforderlich sein können.
<b>Zuverlässigkeit (Reliability)</b>	Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Datenübertragung erfolgreich abgeschlossen wird.	Hohe Zuverlässigkeit ist notwendig für industrielle Anwendungen, wobei Werte von 99,999 % (fünf Neunen) oder höher oft gefordert werden.
<b>Datenrate (Data Rate)</b>	Die Menge an Daten, die pro Zeiteinheit übertragen werden kann.	Anwendungen wie hochauflösende Videoüberwachung oder maschinelles Lernen benötigen hohe Datenraten, oft im Gbit/s Bereich.
<b>Verfügbarkeit (Availability)</b>	Der Prozentsatz der Zeit, in der das Netzwerk betriebsbereit und funktionsfähig ist.	Industrielle Anwendungen erfordern eine sehr hohe Verfügbarkeit, oft über 99,999%.
<b>Jitter</b>	Die Variation in der Latenzzeit bei der Übertragung von Datenpaketen.	Geringer Jitter ist wichtig für Echtzeitanwendungen, um gleichmäßige und vorhersehbare Kommunikationszeiten zu gewährleisten.

**Tabelle: Netzwerkarchitektur und QoS-Management**

Parameter	Konzept/Mechanismus	Anwendung
<b>Netzwerkslicing</b>	Ermöglicht die Erstellung mehrerer virtueller Netzwerke auf einer gemeinsamen physischen Infrastruktur, wobei jedes Slice unterschiedliche QoS-Parameter unterstützen kann.	Ein Netzwerkslice kann für extrem niedrige Latenz und hohe Zuverlässigkeit optimiert werden, während ein anderes Slice hohe Datenraten für Videoübertragung bereitstellt.
<b>Edge Computing</b>	Verarbeitet Daten nahe am Erfassungsort, um die Latenz zu reduzieren und Echtzeitanwendungen zu unterstützen.	Kritische Datenverarbeitung findet lokal statt, um schnelle Reaktionszeiten zu ermöglichen und die Netzwerkauslastung zu reduzieren.
<b>QoS-Klassen und Priorisierung</b>	Definiert verschiedene Klassen von QoS-Anforderungen, um den unterschiedlichen Bedürfnissen von Anwendungen gerecht zu werden.	Zeitkritische Daten erhalten eine höhere Priorität als weniger zeitkritische Daten, um sicherzustellen, dass wichtige Anwendungen bevorzugt behandelt werden.

## Technische Implementierung und Standards

### 3GPP-Standards

- **Einbindung:** Die QoS-Anforderungen der 5G-ACIA sind eng mit den Standards der 3rd-Generation Partnership Project (3GPP) verknüpft, die technische Spezifikationen für 5G-Netzwerke festlegen.
- **Relevanz:** 3GPP-Standards bieten die technischen Grundlagen und Mechanismen, um die spezifischen QoS-Anforderungen für industrielle Anwendungen zu unterstützen.

### Sicherheitsaspekte

- **Maßnahmen:** integrierte Sicherheitsmechanismen zum Schutz der Datenintegrität und -vertraulichkeit sowie zur Gewährleistung der Netzwerksicherheit
- **Anwendung:** Sicherheitsprotokolle und Verschlüsselungstechniken werden implementiert, um die industrielle Kommunikation vor Cyber-bedrohungen zu schützen.

## Praktische Anwendung und Überwachung

### QoS-Monitoring

- **Tools:** Einsatz von netzwerküberwachungstools, um die Einhaltung der QoS-Parameter kontinuierlich zu überwachen.

- **Anwendung:** Echtzeit-Überwachung und -analyse der Netzwerkperformance, um sicherzustellen, dass die festgelegten QoS-Kriterien erfüllt werden.

### Anpassungsfähigkeit

- **Mechanismen:** Dynamische Anpassung der Netzwerkkapazitäten und Ressourcenverteilung, um auf wechselnde Anforderungen und Bedingungen zu reagieren.
- **Anwendung:** flexibles Ressourcenmanagement zur Sicherstellung optimaler Leistung unter variierenden Lastbedingungen.

### FAZIT

Die Richtlinien und Spezifikationen der 5G-ACIA zur Dienstleistungsqualität in industriellen 5G-Anwendungen sind umfassend und detailliert. Sie decken alle wichtigen Aspekte ab, von spezifischen QoS-Parametern wie Latenz und Zuverlässigkeit bis hin zu Netzwerkarchitekturen und technischen Implementierungsstandards. Diese Richtlinien helfen Unternehmen dabei, die Vorteile von 5G-Technologien optimal zu nutzen und sicherzustellen, dass die spezifischen Anforderungen industrieller Anwendungen erfüllt werden.

## 11. Anhang

### 11.1. Links und Literaturquellen

BMW, [www.bmwi.de](http://www.bmwi.de), „Leitfaden 5G-Campusnetze – Orientierungshilfe für kleine und mittelständische Unternehmen“, April 2020

BSI, [www.bsi.bund.de/](http://www.bsi.bund.de/), IT-Grundschutz-Profil für die Absicherung von 5G-Campusnetzen“, 12.2023

Beantragung 5G Lizenzen

[https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/OeffentlicheNetze/LokaleNetze/lokalenetze-node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OeffentlicheNetze/LokaleNetze/lokalenetze-node.html)

IT-Grundschutz-Profile

<https://www.bsi.bund.de/dok/it-grundschutz-profile>

IT-Grundschutz-Profil zur Absicherung von 5G-Campusnetzen – Betrieb durch ein externes Dienstleistungsunternehmen, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, IT-Grundschutz-Kompendium, 2023, Version 2.0

[https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/5G-IT-GS-Profil\\_5G\\_Campusnetze\\_Fremdbetrieb.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/5G-IT-GS-Profil_5G_Campusnetze_Fremdbetrieb.pdf?__blob=publicationFile&v=4)

CON:Konzepte

CON.bd.1 Verwaltung von SIM-Karten

[https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/5G-Campusnetze/CON\\_bd\\_1.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/5G-Campusnetze/CON_bd_1.pdf?__blob=publicationFile&v=6)

INF:Infrastruktur

INF.bd.1 Ortsveränderliche Einhausung für IT-Systeme, 2022

<https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/5G-Campusnetze/INF-bd-1.html>

NET.bd.2.3 Betrieb privater Mobilfunknetze (5G-Campus), 2024

[https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/5G-Campusnetze/NET\\_bd\\_2\\_3.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/5G-Campusnetze/NET_bd_2_3.pdf?__blob=publicationFile&v=5)

1] Campusnetze erklärt: Vorteile, Kosten & Einsatz

Handyhase.de <https://www.handyhase.de/magazin/campusnetze/>

5G Campusnetze | Kosten, Nutzen & Anbieter <https://www.5g-anbieter.info/5g-anwendungen/campusnetze.html>

5G Campus Architekturmodelle - o2 Business <https://www.o2business.de/campus-networks/architekturmodelle/>

5G-Campusnetze: Lokale Mobilfunknetze für Unternehmen <https://www.o2business.de/magazin/5g-campusnetze/>

5G-Campus-Netze: Das nützen Sie Ihrem Unternehmen - Vodafone <https://www.vodafone.de/business/blog/5g-campusnetz-10718/>

Einfach erklärt: Was ist ein 5G Campusnetz? - MPC Service GmbH <https://www.mpcservice.com/was-ist-ein-5g-campusnetz/>

Mobiles 5G-Campusnetz <https://www.iis.fraunhofer.de/de/magazin/bereiche/lokalisierung-und-vernetzung/2022/5g-connect-forschende/mobiles-5g-campusnetz.html>

NET.bd.2.3 Betrieb privater Mobilfunknetze (5G-Campus) -

BSI [https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/5G-Campusnetze/NET\\_bd\\_2\\_3.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/5G-Campusnetze/NET_bd_2_3.pdf?__blob=publicationFile&v=5)

[PDF] Mit privaten 5G-Netzen in die Zukunft -

Controlware [https://www.controlware.de/fileadmin/controlware/presse/fachartikel/2024/controlware\\_comprofessional\\_5G\\_Campusnetze\\_bernd\\_reder\\_jens\\_mueller\\_veroeffentlichung\\_02\\_07\\_2024.pdf](https://www.controlware.de/fileadmin/controlware/presse/fachartikel/2024/controlware_comprofessional_5G_Campusnetze_bernd_reder_jens_mueller_veroeffentlichung_02_07_2024.pdf)

The Impact of 5G: Creating New Value across Industries and

Society <https://www.pwc.com/gx/en/industries/technology/publications/5g-use-cases.html>

[PDF] Report on 5G Preparedness and Relevant Use Cases in Africa.cdr <https://atuuat.africa/wp-content/uploads/2025/01/ATU-R-Report-005-0-Report-on-5G-Preparedness-and-Relevant-Use-Cases-in-Africa.pdf>

[PDF] The Impact of 5G: Creating New Value across Industries and

Society [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_The\\_Impact\\_of\\_5G\\_Report.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Impact_of_5G_Report.pdf)

[PDF] 5G Service Requirements and Operational Use Cases - metis-ii <https://metis-ii.5g-ppp.eu/wp-content/uploads/publications/2016/2016-06-EuCNC-5G-Service-Requirements-and-Operational-Use-Cases-Analysis-and-METIS-II-Vision.pdf>

A Bottom-Up Approach to 5G Network Slicing Security in User

... <https://militaryembedded.com/cyber/cybersecurity/a-bottom-up-approach-to-5g-network-slicing-security-in-user-equipment>

The Impact of 5G: Creating New Value across Industries and

Society <https://www.pwc.com/gx/en/about/contribution-to-debate/world-economic-forum/the-impact-of-5g.html>

5G - m3connect <https://www.m3connect.com/5g-info/>

A fresh perspective on 5G use cases | Kearney <https://www.kearney.com/industry/communications/article/a-nuanced-perspective-on-5g-use-cases>

Von meinem iPhone gesendet

Absicherung von 5G-Campusnetzen - BSI [https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Informationen-und-Empfehlungen/5-G/Absicherung-5G-Campusnetze/Absicherung-5G-Campusnetze\\_node.html](https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Informationen-und-Empfehlungen/5-G/Absicherung-5G-Campusnetze/Absicherung-5G-Campusnetze_node.html)

[PDF] Merkblatt zum Thema 5G Campus-

Netze [https://www.bznb.de/fileadmin/dokumente/5G\\_Leitfaden/2020\\_Merkblatt\\_Campusnetze.pdf](https://www.bznb.de/fileadmin/dokumente/5G_Leitfaden/2020_Merkblatt_Campusnetze.pdf)

Campusnetz - Wikipedia <https://de.wikipedia.org/wiki/Campusnetz>

[PDF] 5G-Campusnetze - Rittal [https://www.rittal.com/imf/none/3\\_8414/](https://www.rittal.com/imf/none/3_8414/)

5G-Campus-Netze: Das nützen Sie Ihrem Unternehmen - Vodafone <https://www.vodafone.de/business/blog/5g-campusnetz-10718/>

5G Campusnetze - BayFu <https://www.bayfu.de/5g-campusnetze>

[PDF] 5G-Campusnetze: digitaler Innovationsschub für Unternehmen und ... [https://pmev.de/wp-content/uploads/2023/03/CP01\\_03.pdf](https://pmev.de/wp-content/uploads/2023/03/CP01_03.pdf)

5G-Innovationswettbewerb – Projekte und Beschreibung -

BMDV <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/5g-innovationswettbewerb-tabelle.html>



## 11.2. Abkürzungen und Fachbegriffe<sup>7</sup>

2/3/4/5/6G	zweite/dritte/vierte/fünfte/sexste Mobilfunk-Generation
3GPP	3rd Generation Partnership Project: Globale Standardisierungsorganisation für Mobilfunknetze (Funknetz, Kernnetz, Dienste und Integration)
5G-ACIA	5G Alliance for Connected Industries and Automation: Internationale Allianz für die Unterstützung von 5G in der Industrieautomation und Industriekommunikation
5GC	5G Core network (5G-Kernnetz)
5GC-CP	5G Core network Control Plane: Steuerungs- und Managementfunktionen des 5G-Netzes im 5G-Kernnetz
AGV	Automated Guided Vehicle: automatisch geführtes, fahrerloses Transportfahrzeug
AR	Augmented Reality
BNetzA	Bundesnetzagentur: Deutsche Regulierungsbehörde
CAV	Communication in Automation for Vertical Domains: 3GPP-Arbeiten zu Anwendungsfällen und Dienstanforderungen von Automationsanwendungen
eMBB	enhanced mobile Broadband: sehr hohe Datenübertragungsraten (1Gbit/s und höher)
FCAPS	Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security (Management von Fehlern, Konfiguration, Abrechnung, Leistung und Sicherheit): verschiedene Bereiche des Kommunikationsnetzmanagements
GHz	Gigahertz: Maßeinheit für den Frequenzbereich
gNB	next generation Node B: 5G-Basisstation
GPS	Global Positioning System
IC4F	Industrial Communication for factories: vom BMW gefördertes Projekt, das sich mit 5G-Kommunikation in Industrieumgebungen beschäftigt
ID	Identifizier: Kennzeichnung, Bezeichnung
IIoT	Industrial IoT: Bezeichnung der 3GPP für Industriekommunikation mit hohen und besonderen Anforderungen wie z.B. Zeitsynchronisation
IoT	Internet of Things: Internet der Dinge
IP	Internet Protocol
IT	Informationstechnik
ITU	International Telecommunication Union (Internationale Fernmeldeunion): Agentur der Vereinten Nationen für Informations- und Kommunikationstechnologien

---

<sup>7</sup> Quelle: BMWI „Leitfaden 5G-Campusnetze – Orientierungshilfe für kleine und mittelständische Unternehmen“ (2020), S. 43-44

KI	Künstliche Intelligenz
KMU	Kleine und Mittlere Unternehmen
LAN	Local Area Network: locales Datennetz
LTE	Long Term Evolution: vierte Mobilfunk-Generation
MEC	Mobile Edge Cloud oder Multi-Access Edge Cloud
MES	Manufacturing Execution System
MHz	Megahertz: Maßeinheit für den Frequenzbereich
MIMO	Multiple Input Multiple Output: Funkschnittstelle mit mehreren gesteuerten Empfangsantennen und mit mehreren gesteuerten Sendeantennen
mMTC	massive Machine-Type Communications: hohe Dichte von 1 Mio. IoT-Endgeräten pro km <sup>2</sup>
MNO	Mobile Network Operator: Mobilfunknetzbetreiber (eines öffentlichen Mobilfunknetzes)
MTC	Machine-Type Communication: Kommunikation zwischen Maschinen, Sensoren, Aktoren usw.
NFV	Network Function Virtualization
NPN	Non-Public Network: Bezeichnung der 3GPP für private Netzwerke
NR	New Radio: neuartige 5G-Funktechnologie
NSA	Non-Stand-Alone: 5G-Mobilfunknetzarchitektur mit 5G-Funkkommunikation und LTE-Kernnetz
PNI-NPN	Public Network Integrated Non-Public Networks: Bezeichnung der 3GPP für private Netze, die in das öffentliche Mobilfunknetz integriert sind (z.B. hybride Betreibermodelle)
QoS	Quality of Service: Dienstgüte des Kommunikationsdienstes
RAN	Radio Access Network (Funknetz): funkbasierter Teil des Mobilfunknetzes vor Ort
SA	Stand-Alone: 5G-Mobilfunknetzarchitektur mit 5G-Funkkommunikation und LTE-Kernnetz
SA	Services and Architecture (Dienste und Architektur): Technische Spezifizierungsgruppe der 3GPP zu Diensten und Architektur von 3GPP-Kommunikationsnetzen
SDN	Software-defined Networking
SIM	Subscriber Identity Module: Hardware-Modul für die Benutzeridentität und 3GPP-Sicherheitszertifikate (SIM-Karte oder eSIM)
SLA	Service Level Agreement: Vereinbarung zwischen Netzbetreiber und Netznutzer
SNPN	Stand-alone Non-public Networks: Bezeichnung der 3GPP für separate private Netze (Eigenbetrieb)
Slice	Virtuelles 5G-Netz mit definierten Eigenschaften, z.B. Teil eines MNO-Netzes
TR	Technical Report (technischer Report): informeller technischer Bericht der 3GPP
TS	Technical Specification (technische Spezifikation): normativer technischer Standard der 3GPP

TSN	Time Sensitive Networking: Sammlung von IEEE 802.1/3-Standards für Zeitsynchronisation und zeitbasierte Kommunikation z.B. in der Industriekommunikation
UAV	Unmanned Aerial Vehicle: unbesetztes Luftfahrzeug oder Drohne
UDM	Unified Data Management: Nutzerdatenverwaltung
UE	User Equipment: Endgerät
UPF	User Plane Function: Schnittstelle für die Nutzerdaten
URLLC	Ultra-Reliable Low Latency Communication: Mobilfunkkommunikation mit sehr hoher Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit (99,999 %) und sehr geringer Latenzzeit (1 ms)
UWIN	Ultra-reliable Wireless Industrial Network
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
VR	Virtual Reality: Virtuelle Realität
WLAN	Wireless Local Area Network: drahtloses lokales Datennetz, basiert auf IEEE 802.11