



WHITE PAPER

Industrielle Sensorik mit 5G

PADERBORN 2020

| VERSION 1.1

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Industrielles
Internet



Taktiler
Internet

Inhalt

01 Einführung.....	4
02 Sensorik mit 5G.....	6
03 5G Campusnetze	8
04 Bewertung und Alternativen	10
05 Fazit	11
06 Glossar	12
07 Notizen	14
08 Impressum	15

Autoren:

Thomas Mager | Fraunhofer IEM

Michael Kemkes | InnoZent OWL e.V.

Dr. Simon Oberthür | Universität Paderborn / SICP

Dr. Lutz Stobbe, Fraunhofer IZM

Hinweis:

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen **16KIS0564K** gefördert.

Die Inhalte wurden im Rahmen der Fachgruppen der „Informationsplattform für 5G“ und des Forschungsschwerpunktes „5G – Industrielles Internet“ des BMBF-Förderprogramms „IKT 2020 – Forschung für Innovationen“ erörtert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

01 Einführung

Die Digitalisierung hat ein neues Kapitel in der Geschichte des technologischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Wandels eröffnet. Ein wesentlicher Bestandteil dieses Wandels ist die Industrie 4.0, die vernetzte Fabrik. Für die vollständige Umsetzung der Vision Industrie 4.0 gilt der neue Mobilfunkstandard 5G als Schlüsseltechnologie. Diese Studie untersucht die Möglichkeiten aber auch die Barrieren für den industriellen Einsatz von 5G und arbeitet damit ein differenziertes Bild der Zukunftstechnologie heraus.

Key Findings

- Industriebetriebe sollten eine Investition in 5G für jeden Einzelfall sorgfältig prüfen. Die komplexe Technologie mit schwer abzuschätzenden Abhängigkeiten, verschiedensten Betreibermodellen und einer unzureichenden Infrastruktur macht den Einsatz von 5G zu einer organisatorischen und finanziellen Herausforderung.
- 5G ist insbesondere für großflächige, unternehmensweite oder unternehmensübergreifende Lösungen interessant und bietet hier auch viele Potentiale für eine einheitliche Netzabdeckung mit großen Reichweiten und neuen Geschäftsmodellen.
- Je nach Anwendungsfall können alternative Netzwerktechnologien allerdings eine pragmatischere, aufwandsärmere Lösung darstellen, die somit insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen attraktiv sind.
- 5G bietet mit seinen neuen Performanceparametern sowie der Integration von Speicher- und Rechenressourcen zusätzliches Potential für weitere Anwendungsfälle als reine Funknetze, die sich lediglich auf den Netzwerkzugang konzentrieren.

Stand der Forschung

Europa ist derzeit noch 5G Testgebiet. Die politische und wirtschaftliche Bedeutung der Technologie wird durch eine Reihe geförderter Initiativen für die 5G Forschung und Entwicklung deutlich. Bei der Vernetzung drahtloser Sensorsysteme hängt die Wahl des Funkverfahrens je nach Einsatzzweck von Kriterien wie Echtzeitfähigkeit (Latenzzeit) oder Gesamtdatenvolumen ab. Der Funksektor der Internationalen Fernmeldeunion (ITU-R) hat sowohl 5G Mindestanforderungen (Mindestdatenrate von 100 Mbit/s für Endnutzer im Downlink, Latenzzeit ≤ 1 ms) als auch 5G Anwendungsgebiete (Anwendungen mit sehr hohen Datenraten, Vernetzung von Gegenständen, sicherheitskritische Anwendungen) definiert. Nach dem derzeitigen Wissensstand gibt es weder validierte Anwendungen für industrielle Lösungen im realen Umfeld noch großflächige Tests der 5G Spezifikationen.

Experten datieren den kommerziellen Start der Technologie frühestens auf das Jahr 2020, eine industrielle Umsetzung von 5G wird auf frühestens 2022 geschätzt.

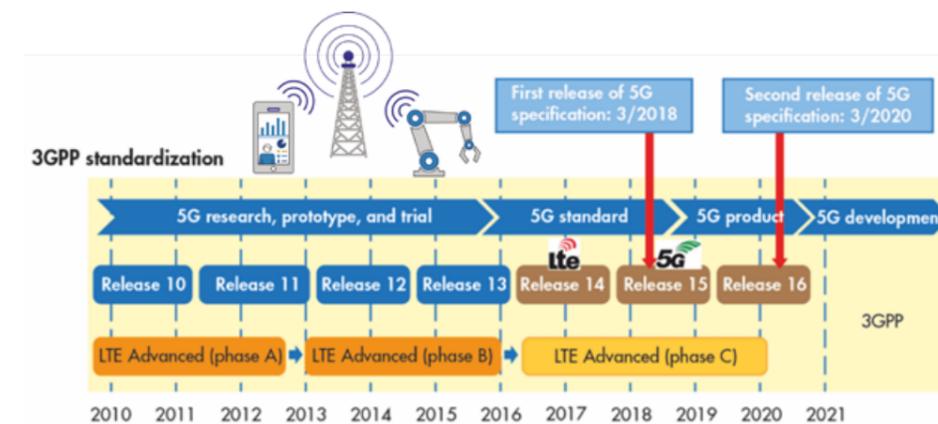


Abb. 1.01
5G Standardisierungs-
zeitleiste [3gpp19]

02 Sensorik mit 5G

2.1 Use Cases

Dieses Whitepaper betrachtet exemplarisch den Maschinen- und Anlagenbau. Anhand von drei typischen Anwendungsszenarien für den Mittelstand werden Potentiale und Grenzen von 5G aufgezeigt. Die Szenarien bestehen aus der Datenübertragung zwischen Sensor und Maschine (maximale Entfernung 30 Meter), zwischen Sensor und Access-Point in der Produktionshalle (maximale Entfernung 300 Meter) und der Datenerfassung innerhalb einer Produktionsstätte bzw. im Feld (über 300 Meter Entfernung). Je nach Use Case wirken unterschiedliche Störfaktoren auf die Datenübertragung.

2.2 Anforderungen an die Sensorik

Die nachfolgenden Anforderungen gehen aus Befragungen von Unternehmen im Bereich des Anlagen- und Maschinenbaus hervor. Ein Sensorsystem für Überwachungszwecke benötigt eine interne Sampling-Rate von 1 Hz bis max. 1 MHz. Die Übertragungshäufigkeit muss jedoch heutzutage häufig nur 6 Datenpakete pro Minute betragen. Die Latenz von 4 bis 10 ms ist in diesem skizzierten Anwendungsfall irrelevant, da die Daten nur alle 10 s übertragen werden!

Die Batterielaufzeit des Systems ist mit 7 bis 10 Jahren bei einer maximalen Masse von 100 g bautechnisch lösbar. Lediglich der geforderte Arbeitstemperaturbereich von -40 °C bis +120 °C wirkt sich speziell bei hohen Temperaturen aufgrund der höheren Selbstentladung einer Primärzelle negativ auf diese Anforderung aus und kann daher bei andauernder Exposition nicht erreicht werden.

Die Preisgestaltung von 50 bis 500 € für ein Sensorsystem ist für viele Anwendungsfälle angemessen. Die Mehrheit der Befragten fordert ein privates 5G Campusnetz für die Umsetzung. Die Einsatzdauer sollte bis zu 20 Jahre betragen, wobei die meisten der Befragten einen lokalen Update-Prozess einem OTA-Prozess vorziehen.

2.3 Anforderungen an die Entwicklung

Im Vergleich zu bestehenden Funktechnologien wird sich der Aufwand für 5G Testverfahren deutlich erhöhen. Um 5G Features zu testen und zu messen, werden Entwickler bzw. Hersteller von 5G Endgeräten sowohl in neue Hard- als auch Software sowie in entsprechend qualifiziertes Personal investieren müssen. Die Investitionskosten werden mindestens auf einen hohen sechsstelligen Bereich geschätzt.

Ein wichtiges Instrument für die Umsetzung von 5G Applikationen stellen sogenannte 5G Testbeds dar. Ein 5G Testbed ist eine eigenständige Kommunikationsinfrastruktur, die alle wesentlichen Komponenten und Bestandteile zum Betrieb eines 5G Netzwerkes abbildet. 5G Testbeds sind von großer Bedeutung, wenn es um die sichere Evaluierung und Erprobung von 5G Potentialen geht. Da industrielle Testbeds in der Bundesrepublik deutlich unterrepräsentiert sind, wird Deutschland seinem selbsterklärten Ziel als Vorreiter von Industrie 4.0 nicht gerecht. Es ist notwendig, die künftige 5G Qualifizierung und Validierung möglichst einfach und barrierearm zu gestalten, um 5G Anwendungen zum Erfolg zu führen.

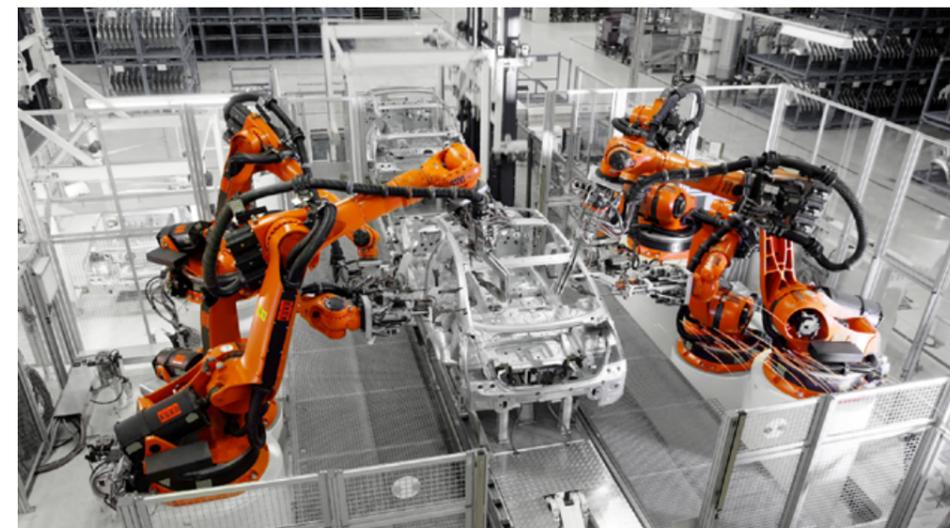


Abb. 2.01
Use Case 1: Maschinen /
Produktionssystem
[Kon19]

03 5G Campusnetze

Private bzw. exklusiv für Unternehmen errichtete 5G Netze werden als Campusnetze bezeichnet. Als Beweggründe für den Aufbau eines eigenen, nicht öffentlichen Campusnetzes gelten z. B. die stabile und zuverlässige Netzabdeckung, die vollständige Netzwerkkontrolle oder die Konfiguration individueller Leistungsprofile. Anwendern bieten sich vier verschiedene Varianten für den Aufbau eines 5G Campusnetzes, die vom jeweiligen Use Case, der geforderten Zuverlässigkeit, Datenhoheit, Flexibilität und vom Kostenrahmen abhängen.

3.1 Varianten

5G Campusnetze können in vier verschiedenen Varianten realisiert werden. Welche Varianten sich in der Praxis verwirklichen lassen, hängt, bis auf den vollständig isolierten Einzelbetrieb, natürlich von der Bereitschaft der jeweiligen Provider ab. Die hier vorgestellten Varianten orientieren sich am technisch Machbaren. Welche Variante am Ende die geeignetste ist, ergibt sich aus dem konkreten Use Case, der geforderten Zuverlässigkeit, Datenhoheit, Flexibilität und den Kosten. Folgende Varianten sind möglich:

- Vollständig isolierter Einzelbetrieb: Bei diesem Szenario wird das Campusnetz als vollkommen unabhängiges und isoliertes Einzelnetzwerk aufgebaut.
- Hybrides Netz – Shared RAN: Bei dieser Umsetzungsvariante werden Teile des Radio Access Networks (RAN) gemeinsam vom öffentlichen Netz und vom privaten Campusnetz genutzt.
- Hybrides Netz – Shared RAN + Control Plane: Die dritte Variante basiert auf der vorherigen Variante, teilt sich jedoch zusätzlich die Control Plane mit dem öffentlichen Netz. Die Control Plane ist für die Netzsteuerung verantwortlich.
- Providerbetriebenes Campusnetz: Bei dieser Variante nutzen sowohl das private Firmennetzwerk als auch das öffentliche Netz die gleiche öffentliche Netzinfrastruktur, die vom Netzwerkprovider als Eigentümer betrieben wird.

3.2 Timeline und Rollout

Voraussichtlich im ersten Quartal 2020 veröffentlicht das internationale Leitgremium für die Standardisierung von Telekommunikation 3GPP Standards für die Merkmale und Funktionen von 5G. Insbesondere die für den industriellen Einsatz interessanten und wichtigen Features werden dann aber noch nicht einsatzbereit und umsetzbar sein. Auch die notwendige technische Infrastruktur wird bis dahin nicht errichtet sein, da die Versteigerung der 5G Frequenzen im 26 GHz-Bereich zum Zeitpunkt der Studiererstellung weiterhin aussteht. In Europa soll die Verfügbarkeit des 26 GHz-Bandes frühestens Ende 2020 erfolgen. Ein konkreter Zeitplan liegt bisher nicht vor.

3.3 Beantragung

Nach dem vorab die verschiedenen Varianten von 5G Campusnetzen vorgestellt wurden, geht es im Folgenden um konkrete Handlungsempfehlungen zum Aufbau eines Netzes. Die auszufüllenden Dokumente zur Beantragung der Sendefrequenz und der Basisstation, zum Frequenznutzungskonzept sowie eine Formel für die Berechnung der Gebühren des künftigen 5G Netzes werden erläutert. Ist die Systemarchitektur des 5G Campusnetzes abgeschlossen, erfolgt als nächster Schritt die Beantragung einer Sendefrequenz für den Betrieb des 5G Netzes. Gemäß § 55 des Telekommunikationsgesetzes (TKG) bedarf jede Frequenznutzung einer vorherigen Frequenzzuteilung. Die Frequenzzuteilung erfolgt nach Maßgabe des Frequenzplans [BNAF19]. Zusätzlich zu den allgemeinen Angaben des Antragsstellers werden noch weitere Angaben zu folgenden Punkten erhoben:

- Fläche des Gebietes, in der das 5G Campusnetz betrieben werden soll,
- die Startfrequenz des benötigten Spektrums ($3,700\text{GHz} + n \cdot 10\text{MHz}$),
- die Bandbreite des Netzes als Vielfaches von 10 MHz,
- sowie die Befristung, falls der Genehmigungszeitraum kleiner als 10 Jahre ist.

Neben der Sendefrequenz muss zusätzlich auch der Betrieb der Basisstation beantragt werden.

Die wichtigsten Angaben beziehen sich auf die nachrichtentechnischen Parameter wie:

- Mittenfrequenz
- Bandbreite
- maximale Sendeausgangsleistung
- Dämpfungseigenschaften der Zuführung
- Dämpfungseigenschaften des Gebäudes (nur bei Indoor-Anwendungen notwendig)
- Antennencharakteristik
- Antennenstandort-Koordinaten

5G ist nicht die alleinige Lösung, wenn es um die Vernetzung und Erfassung von Sensordaten im industriellen Umfeld geht. Neben 5G gibt es diverse Netzwerktechnologien, welche die Use-Case-spezifischen Anforderungen teilweise oder gänzlich erfüllen. Anders als im Consumer-Bereich, wo die Kosten die primäre Rolle spielen, gelten im industriellen Einsatz Zuverlässigkeit, Erreichbarkeit und Sicherheit als maßgebliche Kriterien. Daher muss bei der Auswahl sehr genau bedacht werden, ob die aus dem Consumer-Bereich bekannten Systeme, wie z. B. WLAN oder Bluetooth, auch den höheren Anforderungen des industriellen Einsatzes gerecht werden bzw. ob es für die jeweilige Technologie speziell dafür optimierte Varianten gibt.

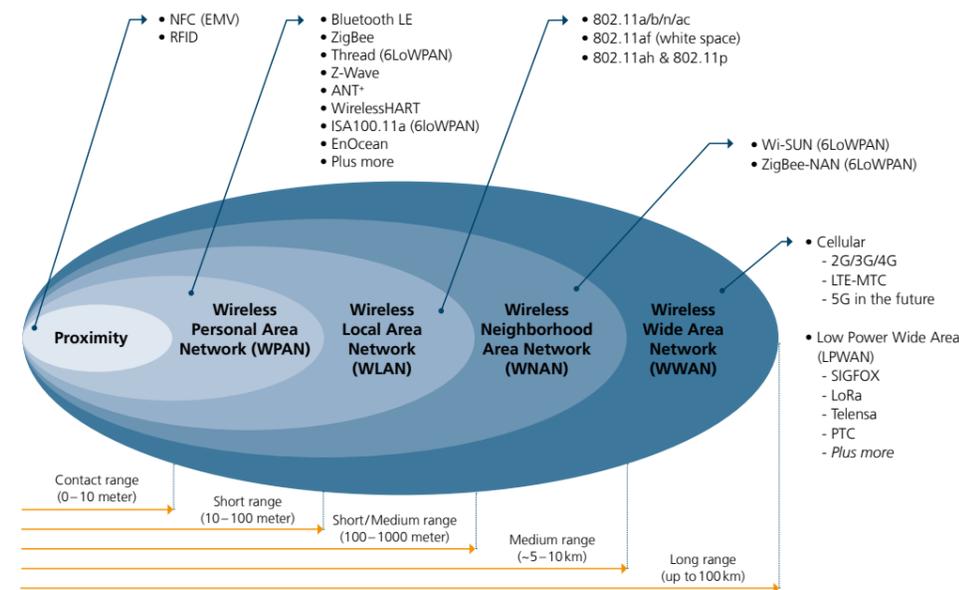


Abb. 4.01
Übersicht und Vergleich der verschiedenen drahtlosen Technologien [Dig18]

Viele Faktoren, darunter die komplexe Technologie mit schwer abzuschätzenden Abhängigkeiten, verschiedenste Betreibermodelle, eine unzureichende Infrastruktur oder eine nicht immer neutral-fachliche Medienberichterstattung, machen das Abwägen einer Investition in 5G gerade für kleine und mittlere Unternehmen zu einer großen Herausforderung.

5G bietet als einziges System für alle drei in diesem Whitepaper betrachteten Use Cases Lösungen an und weist große Reserven und Potentiale hinsichtlich der möglichen Bandbreiten, Latenzen und erzielbaren Reichweiten auf. Die dynamische, skalierbare, softwarebasierte Architektur ermöglicht das Einrichten eines einheitlichen unternehmensweiten Funkstandards. 5G ist also insbesondere für großflächige, unternehmensweite oder -übergreifende Lösungen interessant. Darüber hinaus stellt 5G mehr als nur eine Zugangstechnologie dar. Durch die hohe „Softwareifizierung“ werden weitere neue Use Cases möglich, die beispielsweise die Vorverarbeitung von Sensordaten in EDGE-Cloud-Komponenten durchführen.

Gleichzeitig ist der Aufbau von 5G Lösungen mit nicht unerheblichen Investitionskosten verbunden und zieht je nach Betreibermodell nicht zu vernachlässigende Lizenz- und Betriebskosten mit sich. Je nach Anwendungsfall können alternative Netzwerktechnologien eine pragmatischere, aufwandsärmere Lösung bieten, die insbesondere für mittelständische Unternehmen attraktiver sind.

In jedem Fall sollten Unternehmen eine Investition in 5G Lösungen für jeden Einzelfall gesondert prüfen. Es ist ratsam, sich dabei an der Standardisierung der 5G Releases des 3GPP zu orientieren. So wird vermieden, dass in Lösungen und Komponenten investiert wird, die noch gar nicht einsetzbar sind. Die vorliegende Studie arbeitet alle für den erfolgreichen Einsatz von 5G relevanten Faktoren neutral heraus, zeigt Alternativen auf und bietet Unternehmen somit eine Entscheidungsgrundlage für den industriellen Einsatz der 5G Technologie.

06 Glossar

[5G NR]	5G New Radio ist der Name eines Standards für mobiles Internet und Mobiltelefonie.
[5GPPP]	5G Infrastructure Public Partnership ist eine gemeinsame Initiative der Europäischen Kommission und der europäischen ICT-Industrie (IKT-Hersteller, Telekommunikationsbetreiber, Dienstleister, KMU und Forschungseinrichtungen).
[6LoWPAN]	IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Network ist ein Kommunikationsprotokoll zur Funkdatenübertragung mit niedrigem Energieverbrauch für IoT- und M2M-Anwendungen. Diese Form des drahtlosen Sensornetzwerks sendet Daten als Pakete und unter Verwendung des IPv6-Protokolls.
[DECT ULE]	DECT Ultra Low Energy ist ein Kommunikationsstandard mit besonders niedrigem Energieverbrauch.
[E2E]	Bei End-to-End handelt es sich um eine Netzwerktechnologie, die z. B. zwischen zwei Endpunkten die Daten einkapselt und verschlüsselt, so dass auf dem Transport abgefangene Informationen nicht genutzt werden können.
[eMBB]	Enhanced Mobile Broadband ist ein 5G Übertragungsstandard für Anwendungen mit sehr hohen Datenraten.
[ET]	Envelope Tracking ist eine Stromversorgungstechnik zur Verbesserung der Energieeffizienz von Hochfrequenz-Leistungsverstärkern durch Verfolgung des Leistungsbedarfs. Diese dynamische Stromversorgung steht im Gegensatz zu heutigen Konstantstromsystemen.
[FR1]	Frequency Range 1: Frequenzbereich für Kommunikationsanwendungen von 450 – 7125 MHz
[FR2]	Frequency Range 2: Frequenzbereich für Kommunikationsanwendungen von 24,259 – 52,600 GHz
[GNSS]	Global Navigation Satellite System ist ein System zur Positionsbestimmung und Navigation auf der Erde sowie in der Luft, das Signale von Satelliten und Pseudoliten empfängt.
[IoT]	Das Internet of Things ist ein Sammelbegriff für Technologien einer globalen Infrastruktur der Informationsgesellschaften, die es ermöglicht, physische und virtuelle Gegenstände miteinander zu vernetzen und sie durch Informations- und Kommunikationstechniken zusammenarbeiten zu lassen.
[ISM]	Industrial, Scientific and Medical Bands sind Frequenzbereiche, die in der Industrie, Wissenschaft, Medizin, in häuslichen und ähnlichen Bereichen lizenzfrei genutzt werden können.
[LoRa]	Long Range Wide Area Network ist ein Kommunikationsstandard für Funkverbindungen mit großer Reichweite.
[LTE]	Long Term Evolution (LTE) ist der Mobilfunkstandard der dritten Generation und stellt eine Erweiterung von UMTS dar. Bei LTE-Advanced handelt es sich um den Mobilfunkstandard der vierten Generation.
[MAC]	Media Access Control ist eine vom Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) entworfene Erweiterung des OSI-Modells.

[MIMO]	Multiple Input Multiple Output bezeichnet in verschiedenen Bereichen drahtloser Übertragung in der Nachrichtentechnik ein Verfahren bzw. ein Übertragungssystem für die Nutzung mehrerer Send- und Empfangsantennen zur drahtlosen Kommunikation.
[mMTC]	Massive Machine Type Communication 5G ist ein Übertragungsstandard für die Vernetzung einer extrem hohen Anzahl an Gegenständen.
[NB-IoT]	Bei Narrow Band IoT handelt es sich um einen schmalbandigen Kommunikationsstandard für das Internet der Dinge.
[NFC]	Near Field Communication ist ein auf der RFID-Technik basierender internationaler Übertragungsstandard zum kontaktlosen Austausch von Daten per elektromagnetischer Induktion mittels loser gekoppelter Spulen über kurze Strecken von wenigen Zentimetern und einer Datenübertragungsrate von maximal 424 kBit/s.
[OTA]	Over the Air ist ein Standard für die funktechnische Übertragung von Informationen in Mobilfunksystemen. Die Standards für OTA-Updates wurden von der Open Mobile Alliance (OMA) festgelegt.
[PoE]	Power-over-Ethernet ermöglicht die elektrische Stromversorgung von netzwerkfähigen Geräten über das Ethernetkabel.
[QoS]	Quality of Service (QoS) oder Dienstgüte bezeichnet die Güte eines Kommunikationsdienstes aus der Sicht der Anwender. Es geht darum, wie stark die Güte des Dienstes mit deren Anforderungen übereinstimmt.
[RFID]	Radio Frequency Identification ist eine auf elektromagnetischen Wellen basierende Technologie für Sender-Empfänger-Systeme. Der Empfänger (TaG) wird hier bei passiven und semipassiven Systemen durch die Feldenergie des Senders (Reader) versorgt.
[Roaming]	Roaming ist die Fähigkeit eines Mobilfunknetz-Teilnehmers, in einem anderen Netzwerk als seinem Heimnetzwerk Anrufe zu empfangen oder zu tätigen, Daten zu schicken und zu empfangen oder Zugriff auf andere Mobilfunknetzdienste zu haben.
[SigFox]	Bei SigFox handelt es sich um ein französisches Telekommunikationsunternehmen, das ein eigenes, globales Funknetzwerk aufbaut, um Objekte mit geringem Energiebedarf drahtlos mit dem Internet zu verbinden.
[TSN]	Time-Sensitive Network (TSN) ist ein Netzwerk mit einer getakteten Ende-zu-Ende-Übertragung von Kommunikationsströmen mit harten Echtzeitanforderungen und damit festen, unverrückbaren Zeitobergrenzen.
[uRLLC]	Ultra-Reliable and Low-Latency Communication ist ein 5G Übertragungsstandard für die Vernetzung von sicherheitskritischen und echtzeitfähigen Anwendungen.
[WGS84]	Das World Geodetic System (WGS) ist ein globales Referenzsystem der Geodäsie und Navigation.
[WiFi]	Die WiFi-Alliance definiert das Funknetzwerk unter dem Standard IEEE-802.11, das umgangssprachlich als WLAN bezeichnet wird.
[Zigbee]	Das drahtlose Netzwerk mit geringem Datenaufkommen wird vor allem im Bereich Hausautomation (z.B. Lichttechnik) und Sensornetze eingesetzt.



