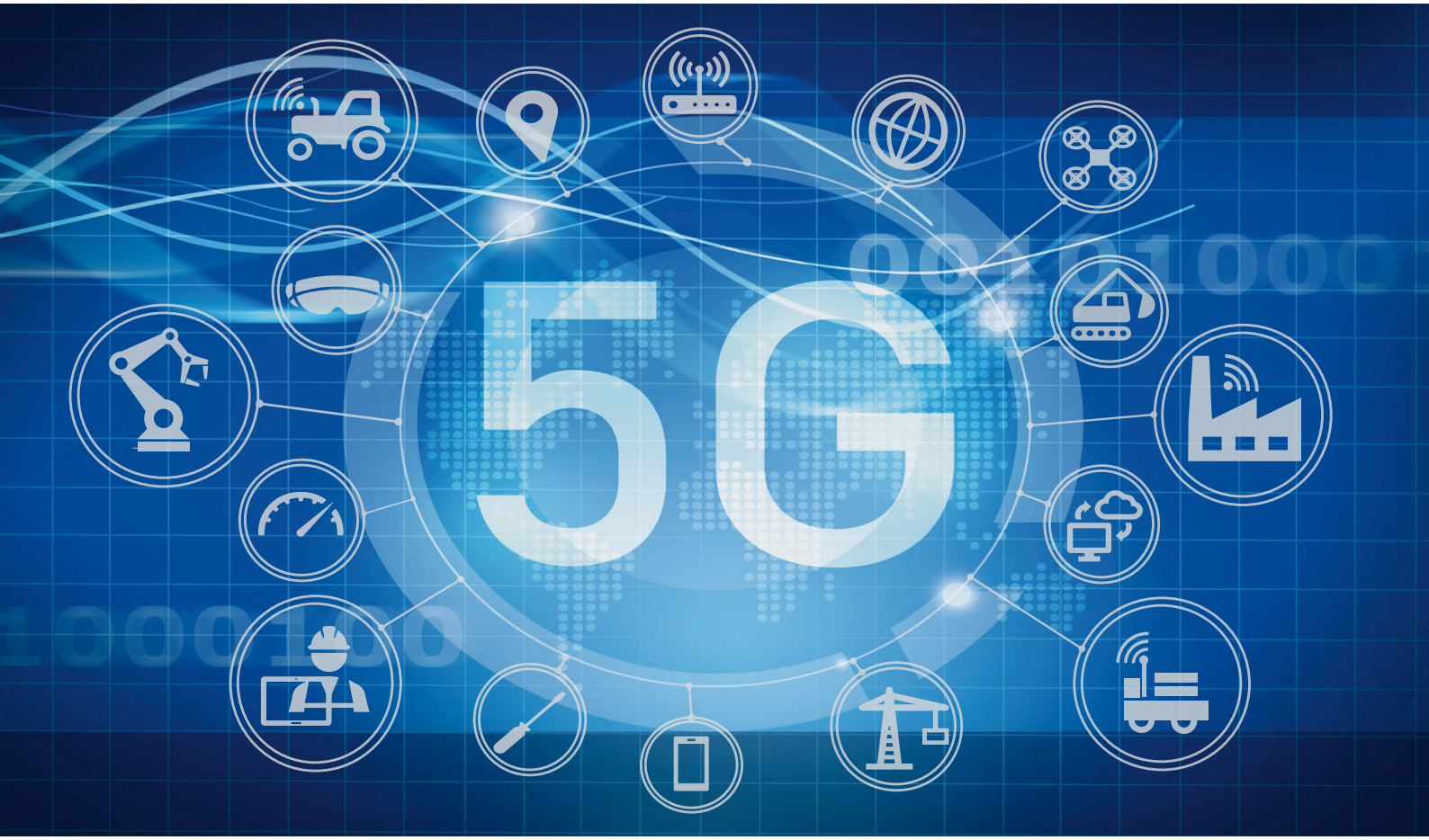
KION GROUP/STILL | SEW-EURODRIVE | FRAUNHOFER IIS

Ortung und Kommunikation in der Logistik



VDMA
Elektrische Automation
VDMA Verlag
Fraunhofer IIS

Ortung und Kommunikation in der Logistik

Ortung von mobilen Flurförderzeugen

KION GROUP/STILL / SEW-EURODRIVE / Fraunhofer IIS

In modernen Betriebsanlagen kooperieren eine Vielzahl unterschiedlicher Systeme miteinander. Dabei gibt es sowohl gänzlich autonome als auch fahrerbehaftete Systeme, die zusätzlich noch mit Personen oder Personengruppen interagieren. In der Regel haben die Systeme die Aufgabe Güter zwischen verschiedenen Positionen zu bewegen oder Anlagen mit Material oder Halbzeugen zu beschicken. Um dies reibungslos zu gewährleisten und zusätzlich noch ein gewisses Maß an Transparenz und Sicherheit garantieren zu können, ist die Information über die Position der Systeme notwendig. Hierbei werden Relativpositionen der Systeme zueinander oder absolute Positionen im Raum benötigt, wobei die Relativpositionen besonders bei Sicherheitssystemen zum Tragen kommen, da dort der Abstand zwischen zu schützendem Objekt und dem sich bewegen System von hoher Relevanz sind. Die Qualität und Verlässlichkeit der Positionsbestimmung sind hierbei von hoher Bedeutung. Sehr präzise Ortungssysteme decken in der Regel alle möglichen Anwendungsfälle innerhalb eines Betriebes ab, ziehen aber typischer Weise hohe Investitionskosten nach sich. Förderlich sind auch Systeme, die sowohl den Innen- als auch den Außenbereich abdecken und die möglichst latenzfrei in beiden Bereichen arbeiten. Es werden nachfolgend erst einmal Use Cases mit einer mittleren Genauigkeit von 0,3 - 0,5 m betrachtet.

Abbildung 8 Beispielhafte Darstellung von Use Case 1 (Positionierung im dynamischen Blocklager) Quelle: Still

Use Case 8 Positionierung im dynamischen Blocklager

Es werden Objekte mit der **Größe von mindestens einer Palette** getrackt und die Position, an der Sie aufgenommen oder abgestellt werden in ein begleitendes Warenwirtschaftssystem übernommen.

Use Case 9 Sicherheit auf dem Betriebsgelände

Es werden **alle Positionen von allen Beteiligten auf dem Betriebsgelände lokalisiert und an die aktiven Systeme zur Kollisionsvermeidung übertragen**. Hier ist ausschlaggebend, dass die Positionen latenzfrei und hoch verlässlich sind.

Use Case 10 Leitsteuerung

Mit der Lokalisierung wird eine grobe Positionierung der Systeme unterstützt (Fahraufträge zu auftragsbezogenen Positionen auf dem Betriebsgelände). Die **Feinpositionierung wird durch zusätzliche Systeme übernommen (z. B. Laser-basiert)**.

Wichtige beteiligte Akteure

- Beteiligte Akteure an Prozessen für den Umschlag von Produktionsgütern und Materialien sowie Personen die mit den Maschinen kollaborieren
- Unterschiedliche Informationsströme, Datenverarbeitungsanlagen und deren beteiligte Akteure:
  Kommunikation zwischen Inventur- und Bewegungsberichten, Kommunikation zwischen Warenwirtschaftssystemen und beliebigen Scanvorrichtungen zur Identifizierung des Transportguts, Kommunikation zwischen den Systemen zum Austausch von Positionsdaten, Kommunikation mit allen Arten von Systemsupervisoren
- Kommunikation mit allen Arten von internen Sicherheitssystemen und erweiternden Positionierungssystemen
- Beteiligte Akteure bei der Nutzung von Technologien für aktive / passive Sicherheit, Datenmanagement, Identifikation von Gütern, Bildgebung, Gütertransfer (Kommissionierung, Verpackung, etc.)

Grundannahmen

Mehrere mobile autonome Roboter und / oder sonstige mobile Flurförderzeuge (fahrerbehaftet) bewegen sich auf einem Betriebsgelände im Innen- und Außenbereich. Es besteht unter Umständen eine Kollaboration mit Personen oder Personengruppen. Auf dem Betriebsgelände finden Warentransporte statt. Auf dem Gelände können sich Regalstrukturen befinden. Das Betriebsgelände kann auch einen Außenbereich beinhalten. Weitere Grundannahmen bestehen nicht.

Vorbedingungen

Alle Systeme und Personen sowie ein etwaiges Kontrollsystem sind aktiv und mit dem 5G Netz verbunden. Die Kommunikation zwischen allen beteiligten Akteuren ist sicher, stabil, etabliert und ist aktiv. Das Gelände ist ausreichend funktechnisch ausgeleuchtet.

Beschreibung des Ereignisses (Start)

Abhängig von Use Case

Ablauf konkreter Szenarien

Use Case 8 Bewegung eines Objektes im Blocklager

Ein Transportauftrag wird an ein fahrerbehaftetes Flurförderzeug übermittelt. Der Fahrer sucht sich den Lagerort dynamisch gemäß dem Platzbedarf des transportierten Objektes und den vorhandenen Freiflächen im Lager aus.

Konkrete Lokalisierungs- und Kommunikationsaufgabe:
- Lokalisierung
- Das Flurförderzeug verfügt über eine 5G Kommunikationseinheit, die neben der Kommunikation auch die Basis für die Lokalisierung ist.
- Das Flurförderzeug wird zu jedem Betriebszeitpunkt mit der veranschlagten Genauigkeit lokalisiert. Die Positionsinformationen liegen dabei entweder lokal auf dem Flurförderzeug oder zentral auf einem Managementsystem vor. Zu bewegende Objekte werden grundsätzlich zwischen 2 Positionen (Aufnahme und Ablage) bewegt. Die Objektart wird über ein externes Zusatzgerät (z. B. Scanner) ermittelt. Zum Zeitpunkt der Objekt-Aufnahme und -Ablage werden die Positionsdaten an ein Warenmanagementsystem übermittelt und mit der Objektart verknüpft.
- Kommunikationsrichtung: Flurförderzeug zu Managementsystem
  - Positionsdaten
  - Objektdaten

Use Case 9 Sicherheit auf dem Betriebsgelände

Es werden zu jedem Zeitpunkt alle Akteure innerhalb eines Betriebsgeländes lokalisiert. Die Lokalisierung dient dem Erkennen von Gefahrensituationen und der adäquaten Reaktion.

Konkrete Lokalisierungs- und Kommunikationsaufgabe:
- Lokalisierung
- Alle Akteure (Personen, fahrerbehaftete und fahrerlose Flurförderzeuge, andersartige mobile Maschinen) verfügen über eine 5G Kommunikationseinheit, die neben der Kommunikation auch die Basis für die Lokalisierung ist.
- Alle Akteure werden zu jedem Zeitpunkt lokalisiert. Die Lokalisierung erfolgt auf einem entsprechenden Sicherheitslevel, so dass fehlende Informationen erkannt werden und zu einer zielgerichteten Reaktion führen (Warnung der Akteure, Reduzierung von Geschwindigkeiten etc.). Ein übergeordnetes Überwachungssystem ermittelt aus den Daten Richtung und Geschwindigkeit und kalkuliert mögliche Kollisionsszenarien.
- Kommunikationsrichtung Akteure zu Managementsystem:
  - Positionsdaten
  - Status Akteure
- Kommunikationsrichtung Managementsystem zu Akteure:
  - Warnmeldungen

Use Case 10 Leitstelle

Ein Transportauftrag inklusive der Zielposition wird an ein autonomes Flurförderzeug übermittelt. Das autonome Flurförderzeug navigiert mittels einer Sensorfusion aus der 5G Lokalisierung und dem Laser-SLAM zu seinem Bestimmungsort. Durch die Sensorfusion verringert sich der Rechenaufwand für das SLAM während der Fahrt deutlich. Gleiches gilt für den Umfang und die Genauigkeit des Kartenmaterials. Am Bestimmungsort übernimmt ein Feinpositionierungssystem, das ausschließlich auf SLAM basiert, um Objekte ein- oder auszulagern.

Konkrete Lokalisierungs- und Kommunikationsaufgabe:
- Lokalisierung
- Das Flurförderzeug verfügt über eine 5G Kommunikationseinheit, die neben der Kommunikation auch die Basis für die Lokalisierung ist.
- Das Flurförderzeug lokalisiert sich zu jedem Betriebszeitpunkt mit der veranschlagten Genauigkeit. Die Lokalisierungsdaten übermittelt das autonome Fahrzeug an die Leitstelle, wo diese mit der vom Betriebsgelände hinterlegten Karte abgeglichen wird. Mit diesen Daten unterstützt die Leitstelle die Navigation im Fahrzeug. Da für eine Objektaufnahme eine höhere Positioniergenauigkeit benötigt wird, übernimmt am Zielort ein kamera- oder lasergestütztes System, da die Lokalisierung mittels 5G für diese Aufgaben nicht ausreichend genau ist.
- Kommunikationsrichtung Flurförderzeug zur Leitstelle:
  - Positionsdaten
  - Status

- Kommunikationsrichtung Leitstelle zum Flurförderzeug:
  - Streckenabschnittsdaten
  - Status

Beschreibung des Ereignisses (Ziel)

Abhängig von Use Case

Nachbedingungen

Die Lokalisierung über 5G kann zur Unterstützung / Optimierung der Navigation verwendet werden, wenn:

- Die Lokalisierungsgenauigkeit nie außerhalb der Mindesterwartung von 0,5 m liegt
- Die Latenz ≤ 20 ms ist
- Eine fehlerhafte oder fehlende Lokalisierung einwandfrei erkannt wird

Tabelle für KPI zur Lokalisierung

Use Case/KPI		Lokalisierungsgenauigkeit (95 % confidence level; m)		Heading/ Bearing (°)	Verfügbarkeit (%)	Latenz (s)	Service Bereich und Geschwindigkeit		
		Horizontale Genauigkeit	Vertikale Genauigkeit				Service Bereich zur Lokalisierung (innen/außen)	Geschwindigkeit (km/h)	
								Außenbereich oder Tunnel	Innenbereich
8	**Blocklager**	< 0,5 m	k. A.	k. A.	99,9 %*	20 ms	innen/außen	4,6 m/s (16 km/h)	4,6 m/s (16 km/h)
9	**Sicherheit**	absolute Positionsgenauigkeit < 0,5 m relative Positionsgenauigkeit < 0,1 m	k. A.	k. A.	99,999 %*	10 ms	innen/außen	4,6 m/s (16 km/h)	4,6 m/s (16 km/h)
10	**Leitstelle**	< 0,3 m	k. A.	k. A.	99,9 %*	20 ms	innen	k. A.	2 m/s (7 km/h)

* Laut VDI muss die Gesamtverfügbarkeit einer Lösung für die Ortung von Flurförderzeugen bei 98 % liegen. Die Annahme für die Verfügbarkeit für den Baustein „Lokalisierung“ erfolgte auf dieser Basis.

Die Anzahl der Systeme pro km² variiert sehr stark aufgrund der unterschiedlichen Kundenumfelder. Die Anzahl schneller und agiler fahrerbehafteter Stapler (16 km/h) ist in der Regel deutlich geringer (2 - 5 pro km²) als bei autonomen und meist deutlich langsameren Systeme und reinen kleinen AGVs (< 100 pro km²).

Abgleich mit Technologien

Anmerkung

Die nachfolgende Bewertung der Use Cases ist eine erste Einschätzung und basiert auf Erfahrungswerten sowie theoretischen Berechnungen zu den jeweiligen Technologien. Für eine Bewertung im konkreten Anwendungsfall bedarf es einer erweiterten Analyse, insbesondere unter Einbezug der realen Umgebungsbedingungen im Unternehmen vor Ort.

Erläuterung zu den Tabellen

- Rot: Anforderungen des Use Cases werden von der entsprechenden Technologie nicht erfüllt.
- Gelb: Anforderungen des Use Cases werden von der Technologie nur unter bestimmten Voraussetzungen oder nur für bestimmte Ausprägungen der Anwendung erfüllt.
- Grün: Anforderungen werden von der entsprechenden Technologie erfüllt.

Use Case 8: Blocklager

Technologie/ Use Case		**Verfügbarkeit** (Lokalisierung; %)	**Latenz** (Lokalisierung; s)	**Reichweite pro Funkzelle** (typisch; m)	**Datendurchsatz** (DL; Mbit/s)	**Max. Geschwindigkeit des UEs** (km/h)	**Frequenzen** (Europa)	**Bandbreite** (MHz)	**UE pro Zelle/AP**	**Lokalisierungsgenauigkeit** (Innenbereich, typisch; m)
Use Case 8 "Blocklager"		99,9 %	20 ms	k. A.	k. A.	16 km/h	k. A.	k. A.	≤ 1 (Stapler) - ≤ 1 (AGV)*	< 0,5 m
5G	**Release 15**	nicht spezifiziert	unter 30 s	10-50 m (Gebäude, Femtozelle), ca. 0,5-2 km (Werksgelände, Mikrozelle)	typischerweise bis zu 2,4 Gbit/s Gesamtdurchsatz im Uplink und bis zu 4 Gbit/s im Downlink bei 100 MHz Bandbreite	bis zu 500 km/h	3,4-3,7 GHz (öffentlich) 3,7-3,8 GHz (NPN) 26 GHz (in Planung)	100 MHz (FR1); 400 MHz (FR2)	mehrere tausend	bis zu 20 m
	Release 16	nicht spezifiziert	Ziel: unter 1 s							Ziel: unter 3 m
	Release 17	noch nicht spezifiziert Mögliches Ziel: 99,9 %	Ziel: 10 ms für IIOT; 100 ms andere Anw.							Ziel: 0,2 m für IIOT; 1 m andere Anw.
	Release 18	noch nicht spezifiziert	noch nicht spezifiziert, mögliches Ziel: unter 10 ms							noch nicht spezifiziert, mögliches Ziel: wenige dm
LTE und LTE sTTI		k. A.	unter 30 s	10-50 m (Fabrikhalle) 0,5-2 km (Werksgelände)	bis zu 1 Gbit/s (4x4) bis zu 4 Gbit/s (8x8)	bis zu 300 km/h	700, 800, 900 MHz 1,8/ 1,5/ 2,1/ 2,6 GHz	20 MHz; 100 MHz	bis zu 1000	Bis zu 20 m
WLAN**		k. A.	bis zu 2 s (RSS-FP) bis zu 10 ms (NGP)	10-20 m (komplexe Industrieumgebung) bis zu 30 m (Lager) 30-50 m (Büro) bis zu 300 m (Freifläche)	bis zu 9,6 Gbit/s (theoretisch) bis zu 1,733 Gbit/s (industrielles WLAN)	k. A.	2,4 GHz 5 GHz	20-160 MHz	bis zu 250	< 5 m (RSS-FP) 1 m (NGP)
BLE		k. A.	bis zu 2 s (RSS-FP) bis zu 100 ms (AoA)	Innenbereich: 10 m (typisch) -50 m (max.) Außenbereich: bis zu 300 m	bis zu 2 Mbit/s	k. A.	2,4 GHz	1-2 MHz	k. A.	5-2 m (RSS-FP) bis zu 0,85 m (AoA)
RFID (UHF)		k. A.	k. A.	1-10 m	bis zu 50 kbit/s	k. A.	433 MHz 868 MHz	1,74 MHz 2 MHz	bis zu 500 pro s	bis zu 1 m (RTLS)
UWB		bis zu 99,9 % (Lokalisierung)	bis zu 10 ms (Lokalisierung)	10-50 m	bis zu 27,24 Mbit/s	bis zu 50 km/h	3,1-10,6 GHz	mind. 500 MHz	bis zu 5500	2 m bis 0,03 m

* Berechnung auf Grundlage eines Dense Deployments mit einem Abstand von max. 20 m - 50 m zwischen den Basisstationen, siehe auch unter „indoor factory scenario" in 3GPP TR 38.901 (V. 16.1.0).

** Use Case wird bereits mit WLAN umgesetzt, aber mit niedrigerer Genauigkeit.

Use Case 9: Sicherheit

Technologie/ Use Case		**Verfügbarkeit** (Lokalisierung; %)	**Latenz** (Lokalisierung; s)	**Reichweite pro Funkzelle** (typisch; m)	**Datendurchsatz** (DL; Mbit/s)	**Max. Geschwindigkeit des UEs** (km/h)	**Frequenzen** (Europa)	**Bandbreite** (MHz)	**UE pro Zelle/AP**	**Lokalisierungsgenauigkeit** (Innenbereich, typisch; m)
Use Case 9 "Sicherheit"		99,999 %	10 ms	k. A.	k. A.	16 km/h	k. A.	k. A.	≤ 1 (Stapler) - ≤ 1 (AGV)*	< 0,5 m (absolut) < 0,1 (relativ)
5G	**Release 15**	nicht spezifiziert	unter 30 s	10-50 m (Gebäude, Femtozelle), ca. 0,5-2 km (Werksgelände, Mikrozelle)	typischerweise bis zu 2,4 Gbit/s Gesamtdurchsatz im Uplink und bis zu 4 Gbit/s im Downlink bei 100 MHz Bandbreite	bis zu 500 km/h	3,4-3,7 GHz (öffentlich) 3,7-3,8 GHz (NPN) 26 GHz (in Planung)	100 MHz (FR1); 400 MHz (FR2)	mehrere tausend	bis zu 20 m
	Release 16	nicht spezifiziert	Ziel: unter 1 s							Ziel: unter 3 m
	Release 17	noch nicht spezifiziert Mögliches Ziel: 99,9 %	Ziel: 10 ms für IIOT; 100 ms andere Anw.							Ziel: 0,2 m für IIOT; 1 m andere Anw.
	Release 18	noch nicht spezifiziert	noch nicht spezifiziert, mögliches Ziel: unter 10 ms							noch nicht spezifiziert, mögliches Ziel: wenige dm
LTE und LTE sTTI		k. A.	unter 30 s	10-50 m (Fabrikhalle) 0,5-2 km (Werksgelände)	bis zu 1 Gbit/s (4x4) bis zu 4 Gbit/s (8x8)	bis zu 300 km/h	700, 800, 900 MHz 1,8/ 1,5/ 2,1/ 2,6 GHz	20 MHz; 100 MHz	bis zu 1000	Bis zu 20 m
WLAN		k. A.	bis zu 2 s (RSS-FP) bis zu 10 ms (NGP)	10-20 m (komplexe Industrieumgebung) bis zu 30 m (Lager) 30-50 m (Büro) bis zu 300 m (Freifläche)	bis zu 9,6 Gbit/s (theoretisch) bis zu 1,733 Gbit/s (industrielles WLAN)	k. A.	2,4 GHz 5 GHz	20-160 MHz	bis zu 250	< 5 m (RSS-FP) 1 m (NGP)
BLE		k. A.	bis zu 2 s (RSS-FP) bis zu 100 ms (AoA)	Innenbereich: 10 m (typisch) -50 m (max.) Außenbereich: bis zu 300 m	bis zu 2 Mbit/s	k. A.	2,4 GHz	1-2 MHz	k. A.	5-2 m (RSS-FP) bis zu 0,85 m (AoA)
RFID (UHF)		k. A.	k. A.	1-10 m	bis zu 50 kbit/s	k. A.	433 MHz 868 MHz	1,74 MHz 2 MHz	bis zu 500 pro s	bis zu 1 m (RTLS)
UWB		bis zu 99,9 % (Lokalisierung)	bis zu 10 ms (Lokalisierung)	10-50 m	bis zu 27,24 Mbit/s	bis zu 50 km/h	3,1-10,6 GHz	mind. 500 MHz	bis zu 5500	2 m bis 0,03 m

* Berechnung auf Grundlage eines Dense Deployments mit einem Abstand von max. 20 m - 50 m zwischen den Basisstationen, siehe auch unter „indoor factory scenario" in 3GPP TR 38.901 (V. 16.1.0).

Use Case 10: Leitstelle

Technologie/ Use Case		**Verfügbarkeit** (Lokalisierung; %)	**Latenz** (Lokalisierung; s)	**Reichweite pro Funkzelle** (typisch; m)	**Datendurchsatz** (DL; Mbit/s)	**Max. Geschwindigkeit des UEs** (km/h)	**Frequenzen** (Europa)	**Bandbreite** (MHz)	**UE pro Zelle/AP**	**Lokalisierungsgenauigkeit** (Innenbereich, typisch; m)
Use Case 10 "Leitstelle"		99,99 %	20 ms	k. A.	k. A.	7 km/h	k. A.	k. A.	≤ 1 (Stapler) - ≤ 1 (AGV)*	< 0,3 m
5G	**Release 15**	nicht spezifiziert	unter 30 s	10-50 m (Gebäude, Femtozelle), ca. 0,5-2 km (Werksgelände, Mikrozelle)	typischerweise bis zu 2,4 Gbit/s Gesamtdurchsatz im Uplink und bis zu 4 Gbit/s im Downlink bei 100 MHz Bandbreite	bis zu 500 km/h	3,4-3,7 GHz (öffentlich) 3,7-3,8 GHz (NPN) 26 GHz (in Planung)	100 MHz (FR1); 400 MHz (FR2)	mehrere tausend	bis zu 20 m
	Release 16	nicht spezifiziert	Ziel: unter 1 s							Ziel: unter 3 m
	Release 17	noch nicht spezifiziert Mögliches Ziel: 99,9 %	Ziel: 10 ms für IIOT; 100 ms andere Anw.							Ziel: 0,2 m für IIOT; 1 m andere Anw.
	Release 18	noch nicht spezifiziert	noch nicht spezifiziert, mögliches Ziel: unter 10 ms							noch nicht spezifiziert, mögliches Ziel: wenige dm
LTE und LTE sTTI		k. A.	unter 30 s	10-50 m (Fabrikhalle) 0,5-2 km (Werksgelände)	bis zu 1 Gbit/s (4x4) bis zu 4 Gbit/s (8x8)	bis zu 300 km/h	700, 800, 900 MHz 1,8/ 1,5/ 2,1/ 2,6 GHz	20 MHz; 100 MHz	bis zu 1000	Bis zu 20 m
WLAN		k. A.	bis zu 2 s (RSS-FP) bis zu 10 ms (NGP)	10-20 m (komplexe Industrieumgebung) bis zu 30 m (Lager) 30-50 m (Büro) bis zu 300 m (Freifläche)	bis zu 9,6 Gbit/s (theoretisch) bis zu 1,733 Gbit/s (industrielles WLAN)	k. A.	2,4 GHz 5 GHz	20-160 MHz	bis zu 250	< 5 m (RSS-FP) 1 m (NGP)
BLE		k. A.	bis zu 2 s (RSS-FP) bis zu 100 ms (AoA)	Innenbereich: 10 m (typisch) -50 m (max.) Außenbereich: bis zu 300 m	bis zu 2 Mbit/s	k. A.	2,4 GHz	1-2 MHz	k. A.	5-2 m (RSS-FP) bis zu 0,85 m (AoA)
RFID (UHF)**		k. A.	k. A.	1-10 m	bis zu 50 kbit/s	k. A.	433 MHz 868 MHz	1,74 MHz 2 MHz	bis zu 500 pro s	bis zu 1 m (RTLS)
UWB		bis zu 99,9 % (Lokalisierung)	bis zu 10 ms (Lokalisierung)	10-50 m	bis zu 27,24 Mbit/s	bis zu 50 km/h	3,1-10,6 GHz	mind. 500 MHz	bis zu 5500	2 m bis 0,03 m

* Berechnung auf Grundlage eines Dense Deployments mit einem Abstand von max. 20 m - 50 m zwischen den Basisstationen, siehe auch unter „indoor factory scenario" in 3GPP TR 38.901 (V. 16.1.0).

** RFID ist für diesen Anwendungsfall kontinuierlicher Kommunikation auf einem bewegten Objekt nicht geeignet.