Bei diesem Beitrag handelt es sich um einen wissenschaftlich begutachteten und freigegebenen Fachaufsatz („reviewed paper“).

doi.org/10.37544/1436–4980–2024–04–13

5G für mobile Robotik: Drahtlose Kommunikation in der Intralogistik 4.0

5G-Campusnetze: Kommunikationstechnologie für mobile Roboter?

T. Lackner, J. Hermann, C. Kuhn, D. Palm

ZUSAMMENFASSUNG Mobile Roboter sind entscheidend für die automatisierte Intralogistik der Industrie 4.0. Eine sichere drahtlose Anbindung an Flottenmanager oder Steuerungssysteme ist essenziell. Private 5G-Campusnetzwerke mit lizenzierten Frequenzen gelten als vielversprechende Lösung. Aus diesem Grund beleuchtet der Beitrag die Grundlagen der 5G-Technologie für mobile Roboter sowie die aktuelle Leistungsfähigkeit von privaten 5G-Campusnetzwerken anhand erhobener Messungen.

STICHWÖRTER

Industrieroboter, Logistik, Technologietransfer

5G Campus Networks: Communication Technology for Mobile Robots?

ABSTRACT Mobile robots enable the automated intralogistics of Industry 4.0. Prerequisite is a secure wireless connection to fleet managers or control systems . Private 5G campus networks with licensed frequencies are a promising solution. For this reason, this article examines the basics of 5G technology for mobile robots and the current performance of private 5G campus networks based on measurements.

1 Einleitung

Das Produktionsvolumen in der Fördertechnik und Intralogistik ist in Deutschland laut Studien des Statistischen Bundesamtes und des VDMA [1] stetig gestiegen und wird in den nächsten Jahren auf einem Rekordniveau gesehen. Diese Entwicklung ist nicht zuletzt auch auf die Digitalisierung und Automatisierung des Mittelstands zum Beispiel im Maschinen- und Anlagenbau zurückzuführen. Ein Innovationstreiber der Automatisierung in der Intralogistikbranche sind fahrerlose Transportsysteme, welche bis heute kontinuierlich weiterentwickelt werden und in vielen Unternehmen zum Einsatz kommen.

Laut einer Befragung aus 2018 [2] bewerten mehr als 75 % der befragten Logistikexperten autonome Transportsysteme als mittelmäßig bis sehr relevant für ihr Unternehmen (**Bild 1**).

Die Marktanalyse-Plattform „Mordor Intelligence“ schätzt das Marktwachstum fahrerloser Transportsysteme zudem auf mehr als 15,6 % zwischen 2024 und 2029 [3]. Grundsätzlich können bodengebundene, fahrerlose Transportsysteme in zwei Gruppen klassifiziert werden: (1) Spurgebundene Transportsysteme (englisch: Automated Guided Vehicle, AGV) und (2) frei-navigierende Transportsysteme (englisch: Autonomous Mobile Robots, AMR).

Der Einsatz von fahrerlosen Transportsystemen – ob spurgebunden oder freinavigierend – bringt den Unternehmen diverse Vorteile wie etwa der kosteneffiziente Transport von Produkten oder Produktionsteilen zwischen Quelle und Senke, welche zum

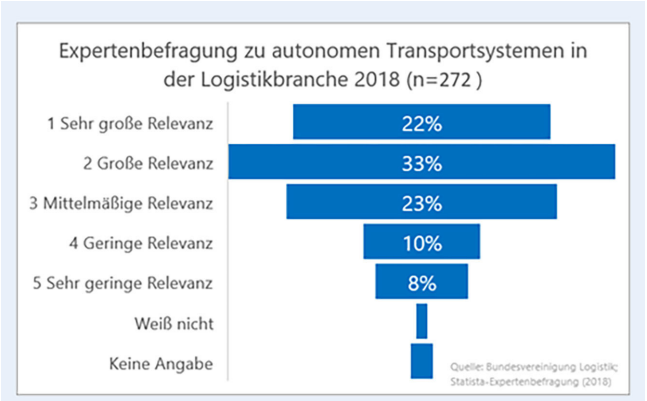

Bild 1. Expertenbefragung zu autonomen Transportsystemen in der Logistikbranche. *Grafik: Statista [2]*

Beispiel zur Reduktion von Transport- und Durchlaufzeiten führen können. Ob sich Unternehmen für spurgebundene oder freinavigierende Transportsysteme entscheiden, hängt von diversen Faktoren ab, wie etwa dem Einsatzgebiet, dem Anwendungsfall und dem Investitionsvermögen.

Ein weiterer Aspekt bei fahrerlosen Transportsystemen ist die Ausleuchtung des Einsatzgebietes durch eine Funktechnologie. Hier greifen bis heute die Hersteller von Transportsystemen überwiegend auf den Wi-Fi-Standard 802.11ac/ax zurück. Allerdings sind die Frequenzbänder dieses Standards im Bereich von

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-04-13 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

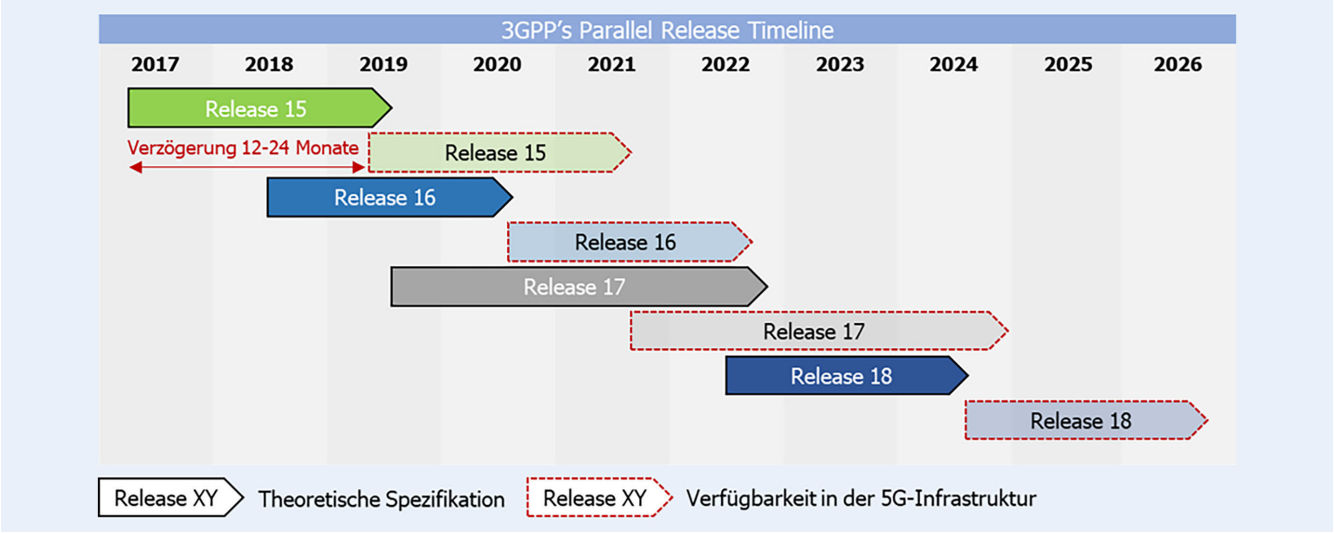

Bild 2. 3GPP's 5G Release Timeline im Vergleich mit der tatsächlichen Verfügbarkeit von Releases in der 5G-Infrastruktur. *Grafik: Eigene Darstellung*

2,4 und 5 GHz öffentlich zugänglich und werden von einer Vielzahl von Endgeräten wie etwa Smartphones genutzt. Wenn viele Endgeräte gleichzeitig Daten über diese Frequenzbänder senden, kann es zu Datenpaketverlusten kommen, was für industrielle Anwendungen ein einschränkender Faktor sein kann. Aus diesem Grund werden private 5G-Campusnetzwerke mit lizenzierten Frequenzen im Bereich von 3,7 bis 3,8 GHz und 24 GHz als vielversprechende alternative Kommunikationstechnologie für fahrerlose Transportsysteme betrachtet.

Deshalb wird in diesem Beitrag 5G auf die Praktikabilität als Kommunikationstechnologie für fahrerlose Transportsysteme untersucht. Es wird einerseits der theoretische Hintergrund zu 5G vorgestellt. Weiterhin ist ein praktisches Beispiel inkludiert, das zeigt, wie bestehende Fahrzeuge um ein 5G-Funkmodul aufgerüstet und in ein 5G-Campusnetzwerk integriert werden können. Zudem werden Messergebnisse des 5G-Handovers vorgestellt, die vor allem für mobile Roboter von großer Bedeutung bei einem Zellwechsel sind. Somit richtet sich dieser Beitrag einerseits an die Fahrzeughersteller, andererseits aber auch an Anwender von fahrerlosen Transportsystemen, welche eine erste Einschätzung und niedrigschwellige Anleitung zur Umrüstung von fahrerlosen Transportsystemen auf eine 5G-Variante benötigen.

2 Der Mobilfunkstandard 5G für industrielle Anwendungen

Dieses Kapitel umfasst zunächst den aktuellen Stand der 5G-Technologie und hebt in Kapitel 2.1 den Release-Prozess hervor. In Kapitel 2.2 werden insbesondere 5G-Campusnetzwerke als spezielle Form der 5G-Technologie beschrieben. Die Organisation 3rd Generation Partnership Project (3GPP) standardisiert die fünfte Generation des Mobilfunks (5G) als Dachorganisation, in der diverse Stakeholder wie etwa Mobilfunkanbieter, Telekommunikationsgremien, Politikvertreter sowie Experten aus Wissenschaft und Forschung beteiligt sind. Im Jahr 2015 hat 3GPP mit der Internationalen Telekommunikationsunion (ITU-R) drei Kernleistungen für 5G definiert [4]:

- Ein ausgeweitetes Breitband mit Datenübertragungsraten von bis zu 10 Gbit/s im Download und 1 Gbit/s im Upload.
- Ultrazuverlässige und niedrige Latenzen für zeitkritische, industrielle Anwendungen im Bereich von bis zu 1 ms.
- Massive Endgeräte-Konnektivität für IoT (Internet of Things)-Anwendungen von bis zu 1 Million Geräte pro Quadratkilometer.

Zusätzlich erlaubt 5G erstmals den Aufbau sogenannter privater 5G-Campusnetzwerke, welche speziell für industrielle Zwecke entwickelt werden. Private 5G-Netzwerke zeichnen sich aus durch einen dedizierten Frequenzbereich und ein hohes Maß an Konfigurierbarkeit für den Einsatzzweck [5]. Jedoch können 5G-Campusnetzwerke bisher nur bedingt das volle Potenzial ausschöpfen, da sich diverse Funktionalitäten und leistungssteigernde Features und Services noch in der Definitionsphase oder in der Entwicklungsphase befinden und somit noch nicht für den kommerziellen Markt verfügbar sind.

Zusätzlich integriert 5G verschiedene industrielle Dienste wie etwa Lokalisierung, die spezifische Anpassung einzelner Anwendungsfälle im selben Netzwerk mittels Software (Network Slicing) sowie die Kommunikation zwischen Fahrzeugen. Diese Dienste nutzen teilweise andere Standards und folgen eigenen Entwicklungs- und Zeitplänen, was den Freigabeprozess erheblich komplexer macht. Des Weiteren sind die 5G-Standards für öffentliche und private Netzwerke im Release-Prozess nicht klar voneinander abgegrenzt, was die Bewertung der Leistung von privaten 5G-Campusnetzen in den einzelnen Releases undurchsichtig macht. Dies erschwert die genaue Bewertung der Eignung von 5G für industrielle Anwendungen. Darüber hinaus können äußere Einflüsse wie Materialabschirmung in der Umgebung des 5G-Endgeräts und Interferenzen dazu führen, dass die tatsächliche Leistung von der theoretischen abweicht. Bisher gibt es nur wenige Langzeitmessungen in industrienahen Umgebungen, anhand derer die Eignung von 5G für industrielle Anwendungen rund um die mobile Robotik beurteilt werden kann. Ziel des Beitrags ist es, diese Forschungslücke zu schließen und anhand von Langzeitmessungen eines 5G-Campusnetzwerks in einer industrienahen Umgebung eine Bewertungsgrundlage für industrielle Anwendungsfälle der mobilen Robotik zur Verfügung zu stellen.

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-04-13 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

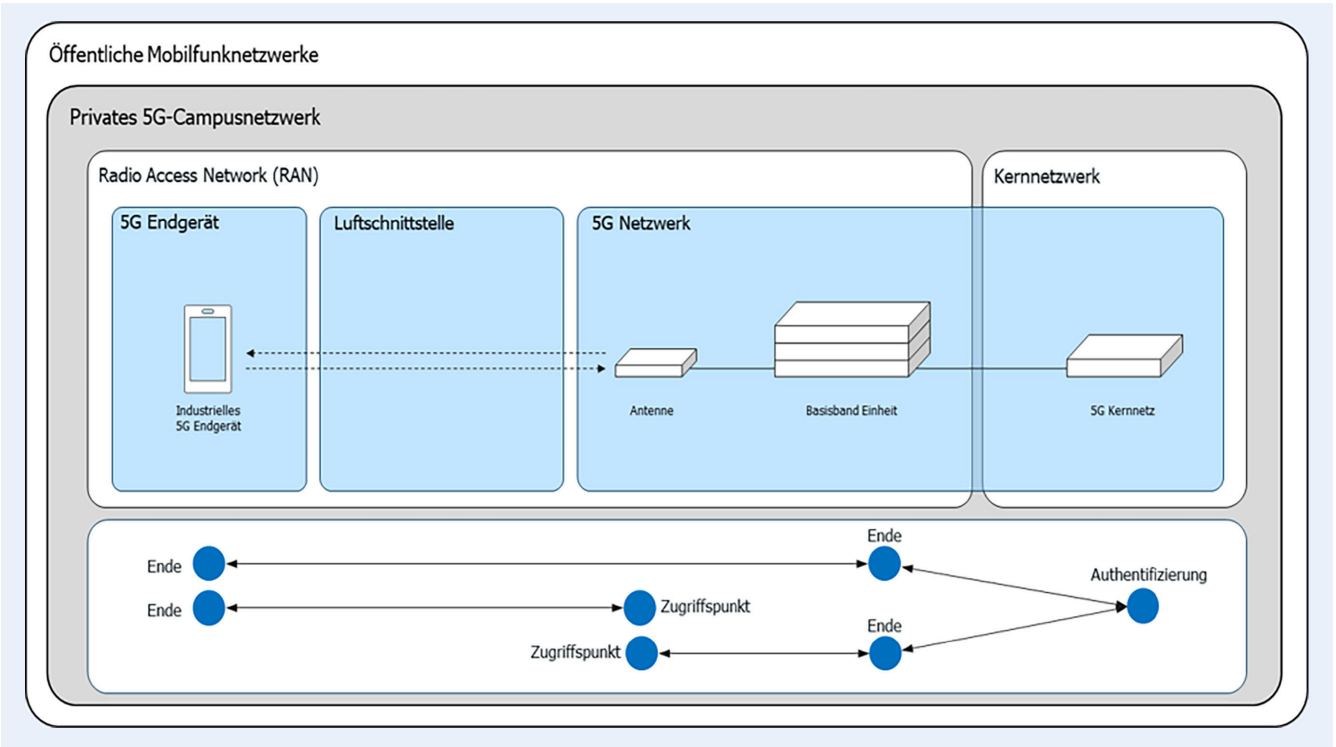

Bild 3. Architektur eines privaten 5G-Campusnetzwerkes. *Grafik: Eigene Darstellung*

2.1 Der 5G-Release-Prozess

5G wird in verschiedenen Releases im Rahmen eines kontinuierlichen Release-Prozesses spezifiziert [6]. Diese Releases sind über die Mobilfunkgenerationen hinweg durchnummeriert. Vor diesem Hintergrund wurde 2017 mit Release 15 der erste von vier 5G-Standards entwickelt und 2018 und 2019 in mehreren Standards veröffentlicht. Mit Release 16 (2020), Release 17 (2022) und Release 18 (2024) folgten kontinuierlich weitere Spezifikationen [6]. Diese Spezifikationen beziehen sich jeweils auf Funktionen des 5G-Netzwerkes, sind jedoch nach Veröffentlichung gemäß der Zeitleiste noch nicht verfügbar, sondern lediglich definiert (**Bild 2**).

Aus diesem Grund repräsentieren die 5G-Releases theoretische Standards für die Funktionalität von 5G. Für die Umsetzung verantwortlich sind die Mobilfunkanbieter und 5G-Netzwerkhersteller. Es liegt an den Netzwerkherstellern, die theoretisch definierten Funktionen aus den Releases in die 5G-Infrastruktur zu integrieren. Dies führt zu einer Verzögerung von etwa 12 bis 24 Monaten zwischen der Veröffentlichung des theoretischen Release-Standards durch 3GPP und der tatsächlichen Verfügbarkeit der Release-Funktionalität in der 5G-Infrastruktur. Außerdem obliegt nach Veröffentlichung eines weiteren 5G-Standards die Interpretation sowie die Umsetzbarkeit einzelner Funktionen den Netzwerkherstellern. Daraus ergibt sich, dass oft nur jene Funktionen umgesetzt werden, die den Netzbetreibern wirtschaftlichen Mehrwert bringen. Deshalb ist es für Anwender von 5G-Campusnetzwerken wichtig, die Verfügbarkeit benötigter Funktionen im Vorhinein zu prüfen.

2.2 Private 5G-Campusnetzwerke

Eine wichtige Entwicklung im Bereich 5G für industrielle Anwendungen sind private 5G-Campusnetzwerke. Diese bieten Unternehmen die Möglichkeit, dedizierte 5G-Netzwerke in ihren eigenen Betriebsstätten zu implementieren, um eine zuverlässige und sichere Kommunikation zu gewährleisten. Das eigenständige private Netzwerk ist vollständig von der öffentlichen Version getrennt, und alle Datenströme und Netzwerkfunktionen (Benutzerebene sowie Steuerebene) finden innerhalb der Organisation statt [5]. Im Gegensatz zu öffentlichen 5G-Netzwerken erlauben private Campusnetzwerke eine größere Kontrolle über die Netzwerkressourcen und bieten zusätzliche Sicherheitsfunktionen, die für industrielle Umgebungen entscheidend sind [5]. Ein privates 5G-Campusnetzwerk besteht typischerweise aus einer Kombination von drahtlosen und drahtgebundenen Komponenten, die speziell auf die Anforderungen eines bestimmten Unternehmens zugeschnitten sind.

Die Architektur umfasst drei grundlegende Elemente: (1) ein 5G-Endgerät, (2) die Luftschnittstelle und (3) das 5G-Netzwerk bestehend aus Basisstationen (Antennen), die auf dem Gelände des Unternehmens installiert sind und eine drahtlose Verbindung zu 5G-Endgeräten herstellen. Die Antennen sind typischerweise über Glasfaserkabel mit einer zentralen Recheneinheit bestehend aus Basisbandeinheit (englisch: Base Band Unit, BBU), Server und Speicher verbunden, welche die 5G-Services bereitstellen und für die Authentifizierung der Geräte im Kernnetzwerk verantwortlich sind [7]. **Bild 3** stellt eine vereinfachte Architektur eines privaten Campusnetzwerkes dar. Zudem können private 5G-Campusnetzwerke auch lokale Edge-Computing-Ressourcen umfassen, um die Latenzzeiten weiter zu reduzieren und Echtzeit-Anwendungen zu unterstützen.

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-04-13 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

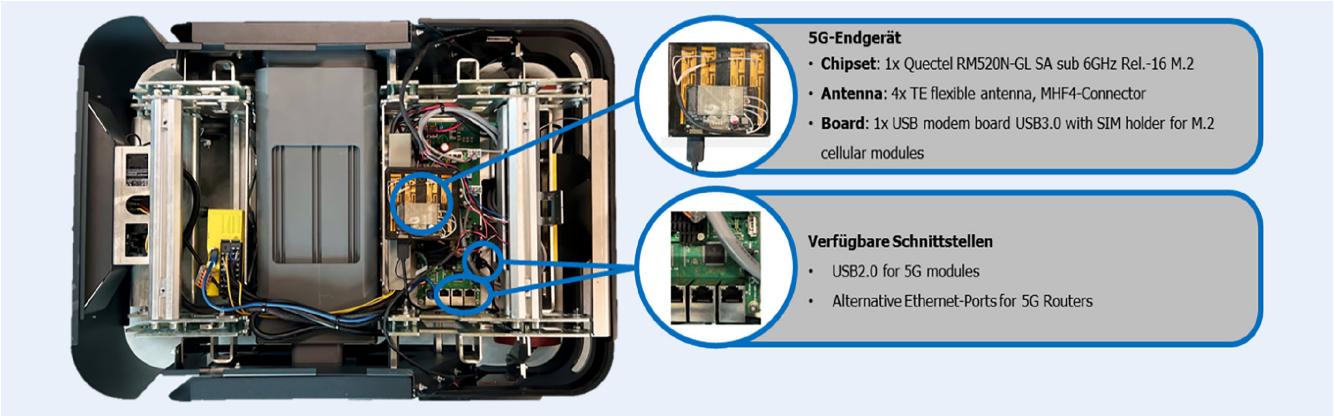

Bild 4. Mobile Roboterplattform mit integriertem 5G-Funkmodul. *Foto: Thorge Lackner*

Die Luftschnittstelle als Medium zwischen 5G-Endgerät und 5G-Netzwerk ist hierbei ein wichtiges Element, da durch externe Faktoren wie Abschirmung durch Materialien in der Umgebung, elektromagnetische Wellen und diversen physikalischen Effekte, wie etwa der Wellenüberlagerung, großer Einfluss auf das Signal genommen werden kann.

Durch den frühen Entwicklungsstand von privaten 5G-Campusnetzwerken fehlt es in der Literatur zur mobilen Robotik derzeit noch an Messungen im industriellen Umfeld sowie an konkreten Beispielen der Aufrüstung von Robotern um eine 5G-Variante. Speziell der – für mobile Roboter wichtige – Handover wurde in der Fachliteratur bisher nicht in einem realen Anwendungsszenario gemessen und veröffentlicht.

3 Integration mobiler Roboter in 5G-Campusnetzwerke

Die Integration mobiler Roboter in 5G-Campusnetzwerke wird im Werk150 der Hochschule Reutlingen exemplarisch durchgeführt. Das Werk150 ist eine 800 Quadratmeter große Lernfabrik für Produktion und Logistik, ausgestattet mit mobilen Arbeitsstationen, einem bodenebenen Lager und einer Lagerbühne. Aufgrund der flexibel anzuordnenden Arbeitsstationen – je nach Produktionsprozess und Produkt – wird für den Anwendungsfall ein freinavigierender AMR in das 5G-Campusnetz integriert.

Das Kapitel ist unterteilt in drei Abschnitte. Abschnitt 3.1 beschreibt die grundlegende Vorgehensweise sowie zu beachtende Punkte, um ein fahrerloses Transportsystem in ein 5G-Campusnetzwerk zu integrieren. Abschnitt 3.2 und 3.3 verdeutlicht anhand von Messreihen die derzeitigen Leistungen eines 5G-Campusnetzes und kann somit als Entscheidungshilfe für die Unternehmen und deren Anwendungsfall rund um die mobile Robotik hinzugezogen werden.

3.1 Vorgehensweise zur Integration mobiler Roboter in 5G-Campusnetzwerke

Für die Integration eines fahrerlosen Transportsystems in ein privates 5G-Campusnetzwerk müssen sowohl hardware- wie softwareseitige Anforderungen erfüllt sein. Hardwareseitig wird eine geeignete Schnittstelle auf dem Roboter benötigt, um das 5G-Funkmodul an das Fahrzeug anzuschließen. Dafür eignet sich zum Beispiel eine USB-3-Schnittstelle oder ein freier Ethernet-Port, abhängig von der Schnittstelle, die vom Funkmodul bereitgestellt wird.

Zudem muss sichergestellt werden, dass das Funkmodul kompatibel mit privaten 5G-Netzwerken ist. Dabei ist wichtig, dass das Funkmodul das n78-Band unterstützt, das für den Frequenzbereich von 3.7–3.8 GHz in Deutschland verwendet wird. **Bild 4** zeigt exemplarisch eine mobile, fahrerlose Roboterplattform aus der Vogelperspektive, aufgerüstet mit einem 5G-Funkmodul.

Softwareseitig ist entscheidend, dass für das verwendete Funkmodul ein Treiber existiert, welcher mit dem Betriebssystem des mobilen Roboters kompatibel ist. In der Robotik ist dies meist ein linux-basierter Treiber. Alternativ lässt sich das Endgerät über einen Modem-Manager oder einen qmi-Client ansteuern. Zudem muss das fahrerlose Transportsystem in der Lage sein, Nachrichten über ein Flottenmanagementsystem zu empfangen und zu interpretieren. Eine niedrige Latenzzeit bei der Kommunikation mit der 5G-Infrastruktur ist oft kritisch, während die Datenraten bei fahrerlosen Transportsystemen üblicherweise vernachlässigbar sind, da die Paketdatengröße im Kbit-Bereich liegt. Zudem ist für eine kontinuierliche Kommunikation eine vollständige Abdeckung des Fertigungsbereichs durch das private 5G-Netzwerk notwendig.

3.2 Leistungsmessungen eines 5G-Campusnetzwerkes

Das Werk150 der Hochschule Reutlingen ist im Besitz von zwei konventionellen 5G-Campusnetzwerken, die im Bereich von 3,7–3,8 GHz die volle Bandbreite von 100 MHz nutzen. Stetige Leistungsmessungen sind wichtig, da diese Rückschlüsse auf den aktuellen Release-Stand beziehungsweise Entwicklungsstand von 5G zulassen und durch die Leistungsmessungen ebenfalls eine Einschätzung zur Umsetzbarkeit von industriellen Anwendungsfällen erfolgen kann. Für die Leistungsmessungen wurde eine Messstation im Werk150 der Hochschule Reutlingen aufgebaut, welche kontinuierlich die Leistungen von drei 5G-Endergäten in verschiedenen Konfigurationen sowie einem Wi-Fi-6-Endgerät testet. Das private 5G-Netzwerk ist ein dediziertes Standalone-Netzwerk von Nokia. **Tabelle 1** stellt alle notwendigen Netzwerkkonfigurationen zum Zeitpunkt der Datenerhebung dar.

Für die Langzeitmessungen sind über 14 Tage Daten von drei 5G-fähigen Endgeräten und einem Wi-Fi-6-Modul erhoben worden. **Tabelle 2** zeigt die Ergebnisse zu Download und Upload, sowie zur durchschnittlichen und maximalen Round-Trip-Time (RTT) und der dazugehörigen Standardabweichung.

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-04-13 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY

Tabelle 1. Netzwerkkonfiguration des privaten 5G-Campsunetzwerkes im Werk150.

Netzwerkkonfiguration des 5G-Campusnetzwerks			
Charakteristik	**Konfiguration**	**Charakteristik**	**Konfiguration**
Technologie	5G New Radio	Software Release	Release 16
5G Netzwerk	Standalone	gNB/BBU Version	5G20A
Frequenzspektrum	3,7–3,8 GHz	Sendeleistung	50 mW (ca. 17 dBm)
Bandweite	100 MHz	Übertragungsmodus	Time-Division-Duplex
Band	n78	DL-to-UL Ratio	60% to 40%
Max. Datenrate	1000 Mbit/s	Subcarrier spacing	30 kHz

Tabelle 2. Messergebnisse der Datenrate und Latenz.

		Datenrate		Latenz		
		Ø Download	Ø Upload	Ø RTT	Max. RTT	2σ-Intervall
		(Mbit/s)	(Mbit/s)	(ms)	(ms)	(ms)
Quectel-RM520N	Release 16	444,8	238,2	10,9	20,6	+/- 3,9
Simcom-SIM8200 EA-M2	Release 15	462,9	163,9	9,5	20,3	+/- 3,5
Cradlepoint-R2100	Release 15	486,9	172,2	10,5	34,3	+/- 3,4
Wi-Fi 6 Asus-ax 56	n/a	268,3	320,5	3,5	505	+/- 1,5

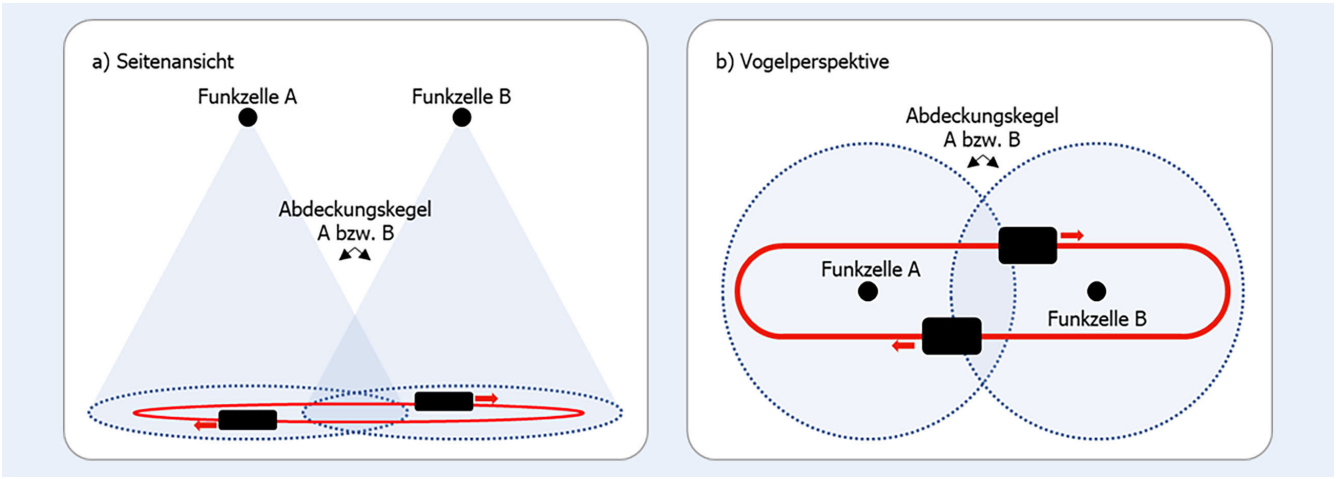

Bild 5. Darstellung des 5G-Handovers aus der a) Seitenansicht und b) Vogelperspektive. *Grafik: Eigene Darstellung*

Die 5G-Endgeräte weisen alle vergleichbare Datenraten auf, jedoch liegt die durchschnittliche Uploadrate noch deutlich unter dem durchschnittlichen Upload von Wi-Fi 6. Zur Latenz ist festzuhalten, dass Wi-Fi 6 mit durchschnittlich 3,5 ms deutlich geringere Latenzzeiten aufweist als die 5G-Endgeräte. Auch die Standardabweichungen von Wi-Fi 6 weisen in der Breite deutlich weniger gestreute Werte auf. Es gibt bei Wi-Fi 6 jedoch wesentlich höhere Ausreißer in den maximalen Werten der RTT mit bis zu 505 ms. Hier ist ein privates 5G-Netzwerk durch den eigenen Frequenzbereich wesentlich performanter mit maximal 34,3 ms. Im industriellen Kontext, vor allem bei zeitkritischen Anwendungen, sind Maximalwerte ein nicht zu vernachlässigender Faktor, da diese über die Praktikabilität einer Funktechnologie entscheiden können. Dabei spielen sowohl die Häufigkeit der Maximalwerte als auch die Werte an sich eine Rolle.

3.3 5G-Handover-Messungen von mobilen Robotern bei Funkzellenwechsel

Neben den Leistungsparametern der Datenrate und Latenz ist ein weiteres wichtiges Szenario im Falle von mobilen Robotern der Handover zwischen Funkzellen. Wie **Bild 5** zeigt, bewegt sich der mobile Roboter zum Beispiel in Werkshallen zwischen mehreren Funkzellen hin und her. Dabei wird die Verbindung während der Fahrt von Funkzelle A an Funkzelle B übergeben (Handover).

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-04-13 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access -

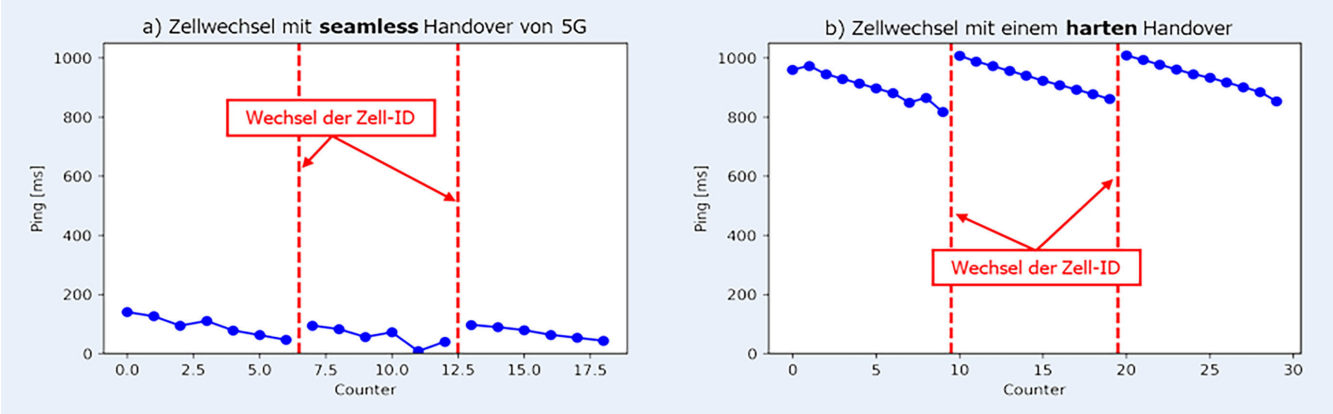

Bild 6. Vergleich der Ping-Zeiten von einem seamless Handover und einem harten Handover. *Grafik: Eigene Darstellung*

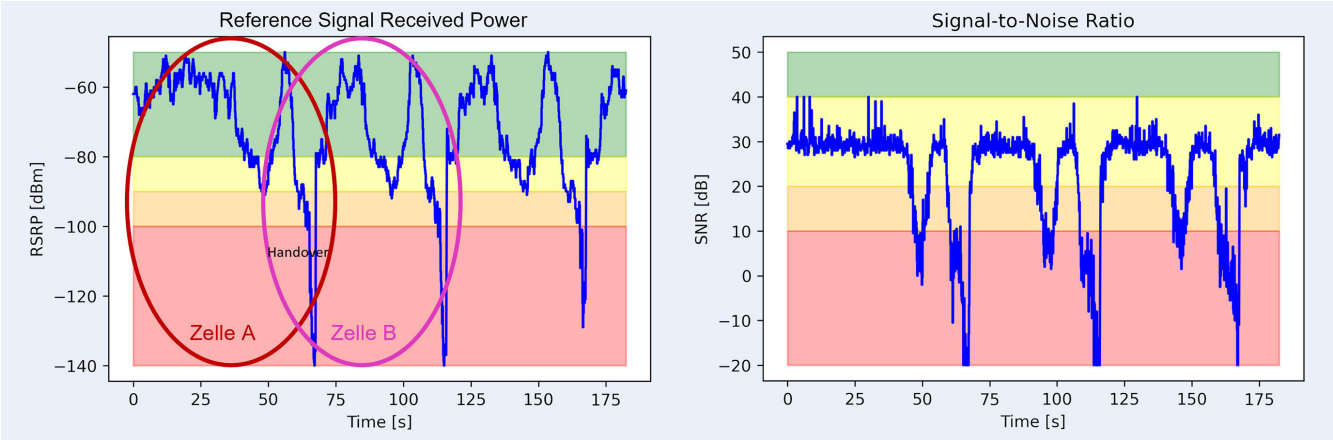

Bild 7. Darstellung des seamless Handover-Prozesses anhand der Reference Signal Received Power (RSRP)- und der Signal-to-Noise Ratio (SNR)-Kennzahlen. *Grafik: Eigene Darstellung*

Grundsätzlich gibt es zwei Arten von Handover-Prozessen. Viele Funktechnologien, teilweise auch Wi-Fi, verwenden den harten Handover. Hierbei sendet das Funkmodul des Roboters solange in Funkzelle A bis die Signalstärke einen definierten unteren Grenzwert erreicht. Danach loggt sich der Roboter aus Funkzelle A aus und sucht nach einer nahe gelegenen Funkzelle B mit stärkerem Signal. Während des harten Handovers gibt es deshalb einen Abbruch des Signals, der zu hohen Paketdatenverlusten führen kann.

Beim seamless oder soften Handover-Prozess hingegen sendet das Funkmodul solange in Funkzelle A, bis eine nahe gelegene Funkzelle B eine stärkere Signalstärke aufweist. Ist dies der Fall, loggt sich das Funkmodul zuerst in Funkzelle B ein, bevor die Verbindung zu Funkzelle A abgekoppelt wird. So kann mit dem seamless Handover-Prozess sichergestellt werden, dass zu jeder Zeit eine Funkverbindung besteht und die Latenzzeit (Ping) stabil bleibt. Der Handover kann zum Beispiel durch die Zell-ID ausgelesen werden.

Für den Versuchsaufbau ist ein mobiler 5G-fähiger Roboter circa 180 Sekunden zwischen zwei Funkzellen A und B hin und her gefahren. Hierbei wurden zum einen die Ping-Zeiten in Millisekunden sowie die Signalstärke-Kennzahlen Reference Signal Received Power (RSRP) und die Signal-to-Noise Ratio (SNR) aufgezeichnet. **Bild 6** zeigt anhand erhobener Messdaten, dass mit einem seamless Handover die Ping-Zeit unter 200 ms liegen, während bei hartem Handover Ping-Zeiten von 1000 ms erreicht werden können.

Bild 7 zeigt die erhobenen Daten des RSRP- und SNR-Wertes während der Messungen. Sowohl der RSRP-Wert als auch der SNR-Wert verdeutlichen den Vorgang des seamless Handover, der zwischen einer RSRP-Signalstärke von −120 dBm und −140 dBm stattgefunden hat.

Ist dieser Grenzwert erreicht und zugleich eine Funkzelle mit stärkerem RSRP-Wert in der Nähe, so wechselt das Funkmodul automatisch die Funkzelle und befindet sich wieder in einem als stabil eingestuften Referenzbereich von circa −60 dBm (grün). Wie in Bild 7 ersichtlich, geschieht dies ohne Abriss der Funkverbindung. Zusammenfassend ist für eine mobile Anwendung wie mobile Transportsysteme ein seamless Handover vor allem dann wichtig und zu berücksichtigen, wenn neben Fahrbefehlen zu Beginn der Route auch während der Fahrt Daten gesendet werden sollen. Hierfür gibt es diverse Anwendungen, zum Beispiel die Rückmeldung erkannter Hindernisse in eine globale Fabrikkarte oder die Rückmeldung von Fahrtdaten wie Geschwindigkeit oder Ladelast.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Beitrag beleuchtet sowohl Vorteile wie Nachteile von privaten 5G-Campusnetzwerken und stellt auf dieser Basis eine Entscheidungshilfe für mögliche Anwendungsbereiche rund um

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-04-13 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

die mobile Robotik dar. Hierfür wurden die wesentlichen Grundlagen zu 5G-Campusnetzwerken aufgezeigt. Ein weiterer Baustein waren die Messungen eines kommerziell verfügbaren 5G-Campusnetzes anhand verschiedener industrieller 5G-Endgeräte sowie dem 5G-Handover, um Transparenz in die derzeitig verfügbare Leistung von 5G-Netzwerken zu bringen.

Die Messungen zeigen, dass 5G bei Datenrate und Latenz in der Spitzenleistung noch nicht an konkurrierende Funklösungen wie Wi-Fi 6 herankommt. Bewertet man jedoch die Stabilität und Vorhersagbarkeit der Messungen anhand von Maximalwerten sowie dem 5G-Handover, so ist festzuhalten, dass 5G für Anwendungen mit kritischen Grenzwerten eine geeignete Technologie sein kann. Zu begründen ist dies vor allem mit den dedizierten Frequenzen, welche nicht durch andere industrielle Funkgeräte genutzt werden. Ein weiterer Faktor für den Einsatz von 5G kann eine sehr hohe Gerätekonnektivität sein, wie etwa der Betrieb von fahrerlosen Transportflotten.

Es ist davon auszugehen, dass durch Entwicklungsarbeit von Netzwerkherstellern und den Markteintritt weiterer Netzwerkhersteller die Leistung von 5G in den nächsten Jahren zunehmen wird. Zum jetzigen Stand müssen Unternehmen den technischen Nutzen von 5G sowie zum Beispiel die Kritikalität im Falle einer Überschreitung von Leistungsgrenzwerten der spezifischen Anwendungsfälle jedoch mit den wirtschaftlichen Faktoren wie Anschaffungs- und Betriebskosten eines 5G-Campusnetzwerkes abwägen. Zudem sind mögliche zukünftige Anwendungen wie beispielsweise die Steuerungsauslagerung mobiler Roboter in eine zentrale Edge-Cloud durch die Leistungsparameter von privaten 5G-Netzwerken noch nicht – außerhalb von Forschungseinrichtungen – realisierbar. Hierfür müssen vor allem die zeitkritischen Parameter wie Latenz, Paketdatenverluste, und Zeitsynchronisation weiterhin verbessert werden.

Die Frage, ob 5G eine geeignete Kommunikationstechnologie für fahrerlose Transportsysteme in der Intralogistik 4.0 ist, lässt sich nicht pauschal beantworten. Hierbei gilt, dass es auf den Anwendungsfall und dessen spezifische Anforderungen ankommt.

HINWEIS

Teile der Leistungsmessungen sind im Rahmen des Projekt 5G4KMU in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IPA Mannheim entstanden.

Literatur

[1] VDMA: Produktionsvolumen der Fördertechnik- und Intralogistikbranche in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2021. Stand: 2024. Internet: de.statista.com/statistik/daten/studie/420777/umfrage/umsatz-in-der-intralogistikbranche-in-deutschland/. Zugriff am 05.04.2024

[2] Statista: Relevanz von autonomen Transportsystemen in der Logistikbranche in Deutschland. Stand: 2024. Internet: de.statista.com/prognosen/943349/expertenbefragung-zu-autonomen-transportsystemen-in-der-logistikbranche. Zugriff am 05.04.2024

[3] Mordor Intelligence: Autonomous Mobile Robots Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts (2024 – 2029). Internet: www.mordorintelligence.com/industry-reports/autonomous-mobile-robot-market. Zugriff am 05.04.2024

[4] ITU-R: IMT-2020. Stand: 2024. Internet: www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx . Zugriff am 05.04.2024

[5] Aijaz, A.: Private 5G: The Future of Industrial Wireless. IEEE Industrial Electronics Magazine 14 (2020) 4, pp. 136–145

[6] 3GPP: Releases. Stand: 2024. Internet: www.3gpp.org/specifications-technologies/releases . Zugriff am 05.04.2024

[7] Rostami, A.: Private 5G Networks for Vertical Industries: Deployment and Operation Models. 2019 IEEE 2nd 5G World Forum (5GWF), Dresden, Germany, 2019, pp. 433–439, doi.org/10.1109/5GWF.2019.8911687

Thorge Lackner, M. Eng. & M. Sc.
Tel. +49 7121 / 271-3168
thorge.lackner@reutlingen-university.de
Foto: ESB Business School

Julian Hermann, PhD

Christian Kuhn, M.Sc.

Prof. Dr. techn. Daniel Palm

ESB Business School
Hochschule Reutlingen
Alteburgstr. 150, 72762 Reutlingen
www.rzi40.de

LIZENZ

Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-04-13 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY