

# Durch 5G verbesserte Mobile Robotik

## Applikations- und Netzwerkverteilung für unterschiedlich große Unternehmen

5G, die fünfte Generation von Mobilfunkkommunikation, wird eine wesentliche Rolle bei der Umsetzung der Industrie 4.0 einnehmen. Dank hochzuverlässiger und niedrig-latenter Kommunikation, ermöglicht 5G Verbesserungen an den aktuellen industriellen Anwendungen sowie die Einführung von neuen Anwendungen. Ein heute schon verfügbarer Anwendungsfall sind Fahrerlose Transportfahrzeuge (engl. AGV), die zum Beispiel in einer Fabrikhalle Güter transportieren. In diesem Artikel werden verschiedene Verteilungsmöglichkeiten für das 5G-System und die industriellen Anwendungen am Beispiel der AGVs präsentiert. Für jede Verteilungsmöglichkeit werden die Vorteile, die Nachteile und die potenziellen Risiken, die eine Ausführung der jeweiligen Anwendung verhindern könnten, analysiert.

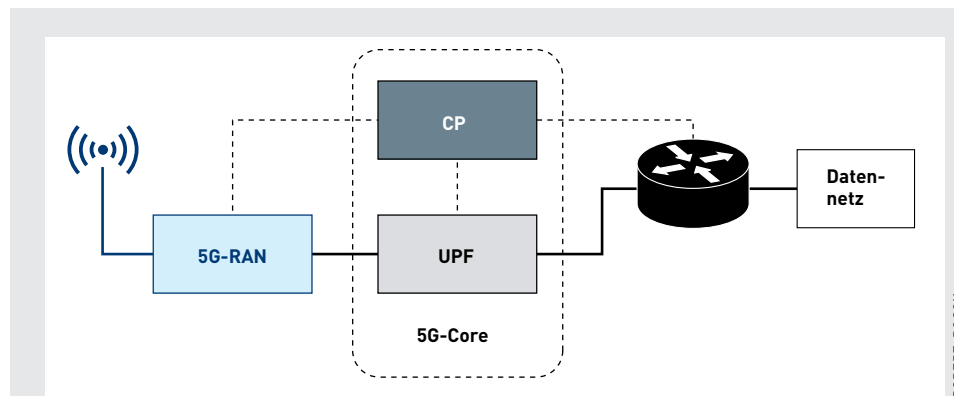
Obgleich bereits AGVs eingesetzt werden, besteht noch erhebliches Optimierungspotential, da angewendete Drahtlossysteme in der Regel nicht für die sehr schwierigen Funkausbreitungsbedingungen des Industriebereiches entworfen wurden. Die Anwendung von 5G-Technologien verspricht eine bessere Anpassung an die Gegebenheiten, hohe Robustheit und hohe Verfügbarkeit, wodurch auch industrielle Anwendungsfälle unterstützt werden können.

Eine wesentliche Herausforderung für die Nutzung von 5G in der Industrie ist die angemessene Implementierung der 5G-Systemarchitektur. Eine Lösung für große Unternehmen mit einer großen Informationstechnologie-Infrastruktur muss nicht unbedingt gut zu kleinen Unternehmen mit weniger verfügbaren Ressourcen passen. Deshalb ist es von entscheidender Bedeutung, die Verteilung des 5G-Systems (Funktionen und Infrastruktur) und der industriellen Anwendungen an die Besonderheiten der spezifischen Szenarien anzupassen.

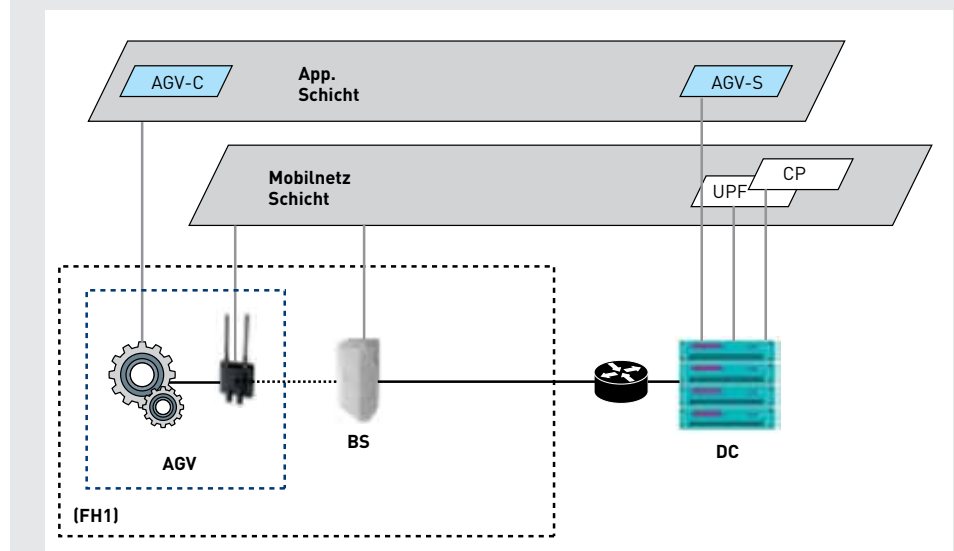
### Fahrerlose Transportsysteme

Um die Produktion am Laufen zu halten, muss der Transport und die rechtzeitige Auslieferung der Güter garantiert werden. AGVs sind eine

1) Anerkennung: Dieser Artikel basiert auf Ergebnissen, welche im Rahmen des BMBF-geförderten Projektes TACNET 4.0 (16KIS0714, 16KIS0716 und 16KIS0724) entstanden sind.



1 Vereinfachte 5G-Systemarchitektur



2 Zentralisierte Verteilungsstrategie (beispielhaft für FH1)

Vorstufe der mobilen Roboter, die für diese Transportfunktion entworfen wurden. Die Verteilung von Transportaufträgen und die gemeinsame Verwaltung von allen AGVs finden durch eine Leitsteuerung auf einem örtlich entfernten Server statt. Dieser entfernte Controller kommuniziert mit den AGVs auf den letzten Metern über drahtlose Technologien wie IEEE 802.11.

Mit der Einführung von 5G wird eine hochzuverlässige, niedrig-latente Kommunikation (engl. URLLC) realisiert, die eine Verbesserung des Betriebs von industriellen Applikationen erlaubt. Leistungskennzahlen für den Anwendungsfall Mobile Robotik erfordern Zykluszeiten in der Größenordnung von zehn Millisekunden und Nachrichtenfehlerraten von  $10^{-7}$ [1]. Wenn diese Leistungskennzahlen erreicht werden, sind dichter fahrende Flotten von AGVs und die

entsprechende Reduzierung der Transportzeit von großen Gütermengen denkbar.

### Vereinfachte 5G-Systemarchitektur

Eine vereinfachte 5G-Systemarchitektur ist in Bild 1 gezeigt, wo der Funkzugang (engl. RAN) und das Kernnetzwerk (engl. Core) als die zwei Hauptkomponenten des 5G-Systems dargestellt sind. Auf einem hohen Abstraktionsniveau beschrieben ist das 5G-RAN für den drahtlosen Zugang der Nutzer über die Basisstation verantwortlich, während das 5G-Core zum einen das Gesamtsystem steuert (Control Plane (CP)) und zum anderen Daten im drahtgebundenen Netz verteilt (User Plane Function (UPF)). 5G-RAN und 5G-Core enthalten mehrere Funktionen,

die in dedizierter physikalischer Hardware oder teilweise in virtualisierten Umgebungen implementiert werden können. Darüber hinaus kann die Host-Hardware vor Ort auf dem Gelände des Unternehmens oder in weiter entfernten Orten mit Konnektivität zur Fabrikhalle lokalisiert sein [2].

### Verteilungsoptionen

Es wird das in Bild 2 gezeigte generische Szenario betrachtet, in dem drei Fabrikhallen (FH) und ein Datacenter (DC) Teil eines industriellen Campus sind. Für die Beschreibung der Verteilungsoptionen nehmen wir an, dass die

Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) Infrastruktur alle Gebäude abdeckt. Die Anwendung der mobilen Robotik ist ebenfalls in Bild 2 dargestellt. Die blauen AGVs bleiben innerhalb einer einzelnen FH, während die grünen AGVs durch mehrere FH fahren, um Güter zu transportieren. Die AGV-Anwendung folgt einem Client-Server Prinzip, bei dem der AGV-Client (AGV-C) im AGV implementiert ist und der AGV-Server (AGV-S) von den AGVs entfernt zu finden ist.

### Zentralisierte Verteilung

In dieser Verteilungsoption werden die Applikation und alle Netzwerkfunktionen im DC implementiert. Die im DC verfügbaren IKT-Ressourcen werden daher verwendet, was die Implementierungskosten des 5G-Systems reduziert.

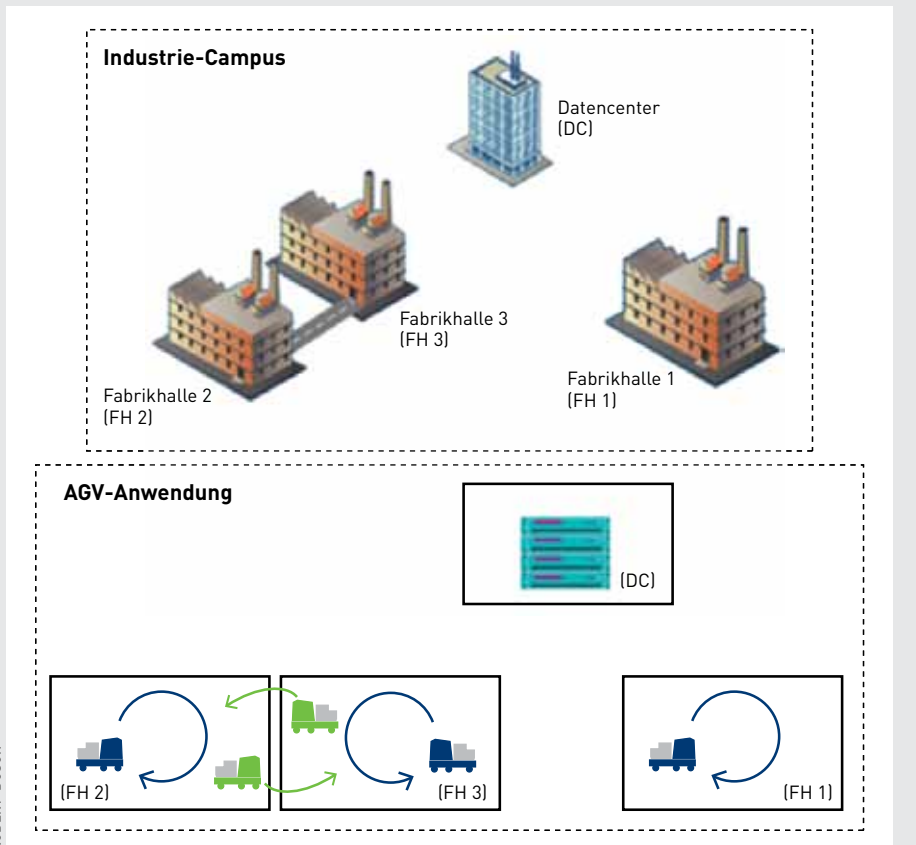
Bild 3 zeigt ein Beispiel der zentralisierten Verteilung für die FH1 des industriellen Campus. Die drahtlose Kommunikation findet über 5G-Basisstationen (BS) statt, welche innerhalb der FH verteilt sind, um die notwendige Abdeckung zu gewährleisten. Die zentrale UPF kann benutzt werden, um die Kommunikation von mehreren Applikationen und FH zu unterstützen. Damit wird der Verwaltungsaufwand im Sinne der Anzahl der Netzwerkelemente geringer. Dennoch müssen die verfügbaren Ressourcen sorgfältig dimensioniert sein, so dass die UPF kein leistungsbegrenzender Faktor der Applikation sein wird.

Die oben genannten Überlegungen setzen voraus, dass die IKT-Infrastruktur grundsätzlich in der Lage ist, die Kommunikationsanforderungen der Applikation zu unterstützen und dass es genug Rechenkapazität und Redundanz in dem DC gibt. Eine sorgfältige Analyse von diesen Annahmen wird dringend empfohlen, wenn man die zentralisierte Verteilungsoption auswählt.

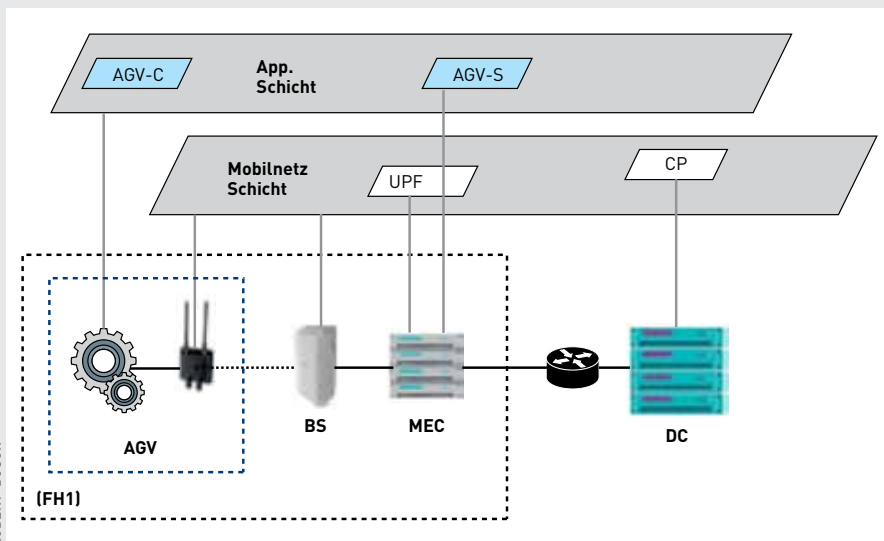
### Dezentralisierte Verteilung

Um die Abhängigkeit von der IKT-Infrastruktur und der Rechenkapazität im DC zu verringern, ist es möglich, zusätzliche Ressourcen innerhalb einer FH zu verteilen, die die Ausführung der UPF und/oder der AGV-S unterstützen. Ein Beispiel dieser Verteilungsstrategie ist für die FH1 im Bild 4 gezeigt, wo die UPF und der AGV-S in eine Mobile Edge Cloud (MEC) ausgelagert sind. Die CP ist immer noch zentral lokalisiert, um Campus-übergreifende Funktionen des 5G-Systems einfacher zu betreiben.

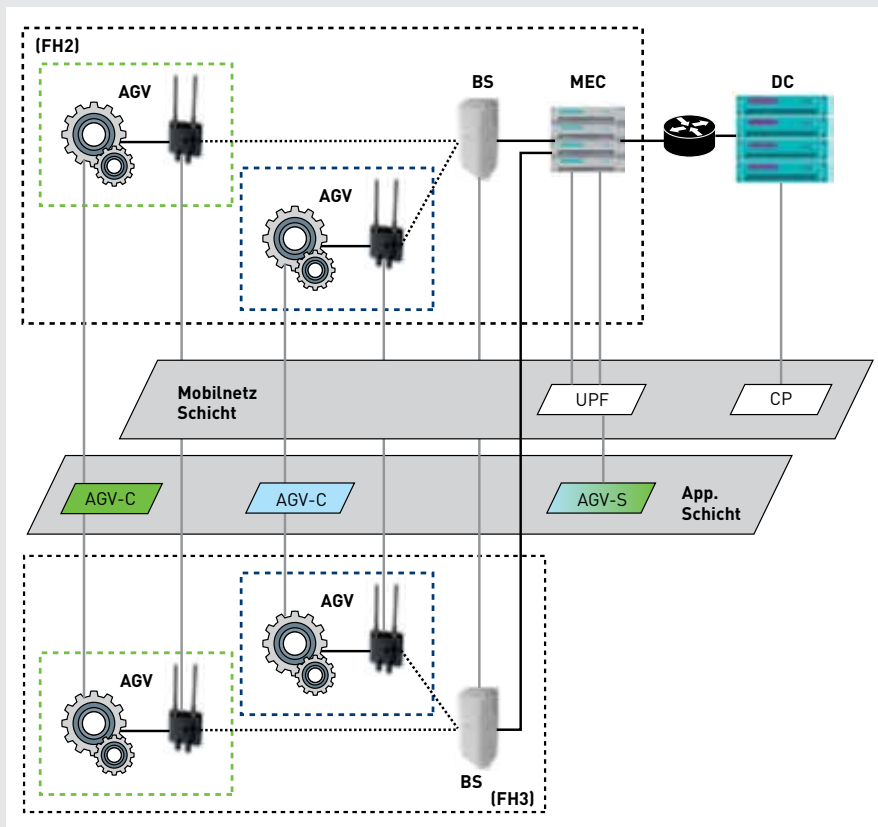
In Bezug auf die Verwaltung von Applikationsdaten kann eine dezentralisierte UPF sowie das damit verbundene 5G-RAN an die spezifischen Eigenschaften der FH angepasst werden. Zum Beispiel können mehrere BS in einer großen FH verteilt werden, während eine einzelne BS genügen kann, um die Abdeckung in einer kleineren FH zu leisten. Deshalb ist eine Szenario-spezifische Dimensionierung der UPF nutzbringend.



2 Industrieller Campus und AGV-Funktion



4 Dezentralisierte Verteilungsstrategie (beispielhaft für FH1)



ROBERT BOSCH

5 Hybride Verteilungsstrategie (beispielhaft für FH2 und FH3)

Tabelle 1 Zusammenfassung der Verteilungsstrategien

Verteilungsstrategie	Vorteile	Nachteile	Risiken
<b>Zentralisiert</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nutzung von verfügbarer IKT-Infrastruktur</li> <li>Begrenzter Netzwerkmanagement-aufwand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Starke Abhängigkeit von der verfügbaren IKT-Ressourcen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ressourcen der UPF könnten ein leistungs-begrenzender Faktor sein</li> </ul>
<b>Dezentralisiert</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Weniger Abhängigkeit von der verfügbaren IKT-Infrastruktur</li> <li>Angepasste UPF</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zusätzliche Netzwerkkomponenten notwendig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Unzureichende Ressourcen der MEC gefährden die Leistung der UPF und der Applikation</li> </ul>
<b>Hybrid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Implementierung von effizienter, umfangreicher Applikationen machbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zusätzliche Konnektivität zwischen Fabrikhallen ist erforderlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Komplexität der Applikation könnte schnell wachsen</li> </ul>

Die Ende-zu-Ende-Latenz der Applikation ist durch die örtlich nahe Implementierung des AGV-S auf der Mobile-Edge-Cloud reduziert. Wie stark die Reduzierung ist, hängt auch von der IKT-Infrastruktur innerhalb der FH ab. Trotz der oben erwähnten Vorteile steigen die Implementierungskosten dennoch an, weil man zusätzliche Ressourcen wie die Mobile Edge Cloud benötigt.

### Hybride Verteilung

Kombinationen der zwei Hauptverteilungsstrategien sind ebenso möglich. Zum Beispiel, weil AGVs zwischen FH2 und FH3 fahren (siehe Bild 2), ist es sinnvoll einen einzigen AGV-S zu verwenden, der alle AGVs in beiden Hallen verwaltet. Da nur ein einzelner AGV-S die Information von allen Fahrzeugen hat, kann die

Steuerung effizienter implementiert werden. Darüber hinaus ist es für die Verwaltung der Applikationsdaten aus beiden Hallen möglich, eine einzelne UPF zu nutzen, weil das 5G-Netz die gleiche Art von Kommunikation in beiden Fabrikhallen unterstützen muss.

Die hybride Verteilungsstrategie für FH2 und FH3 ist in Bild 5 gezeigt, bei der sich die MEC in FH2 findet. Eine Verbindung zwischen der MEC und der BS in FH3 ist notwendig. Die drei Verteilungsstrategien einschließlich der Vorteile, Nachteile und Risiken sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

### Zusammenfassung

In diesem Artikel wurden verschiedene Verteilungsoptionen der Applikations- und Netzwerkfunktionen diskutiert. Es gibt keine allgemeingültige, optimale Lösung für alle Campus-Szenarien. Deswegen wird für jeden Einzelfall eine sorgfältige Analyse der Anforderungen und verfügbaren Ressourcen benötigt. Insbesondere sollte jedes Unternehmen ein klares Verständnis von den Fähigkeiten ihrer IKT haben, weil sie sehr stark die Netzwerkskapazität und Latenz beeinflussen kann. Die in diesem Artikel gelisteten Vorteile, Nachteile und Risiken sollen ein Unternehmen bei der Entscheidungsfindung unterstützen.

### Literatur

[1] M. Gundall et al., "5G as Enabler for Industrie 4.0 Use Cases: Challenges and Concepts", 2018 IEEE 23rd Int. Conf. on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), pp. 1401-1408, 2018.  
 [2] A. Rostami, "Private 5G Networks for Vertical Industries: Deployment and Operation Models", 2019 IEEE 2nd 5G World Forum (5GWF), pp. 433-439, 2019

**Dr.-Ing. Oscar D. Ramos-Cantor,**  
 R&D Entwicklungsingenieur, Corporate Research, Robert Bosch GmbH



**Dr.-Ing. Monique Düngen,**  
 R&D Projektmanagerin, Corporate Research, Robert Bosch GmbH



**Dr.-Ing. Peter Rost,**  
 Forschung Projektmanager, Standardization & Research Lab, Nokia Bell Labs



**Dr.-Ing. Torsten Musiol,**  
 Gründer & Geschäftsführer, MECSware GmbH

