Dynamische Spektrumssegmentierung in Netzwerken-in-Netzwerken für industrielle 6G-Kommunikation

Industrial Radio Day 2025

Magdeburg, 12.11.2025

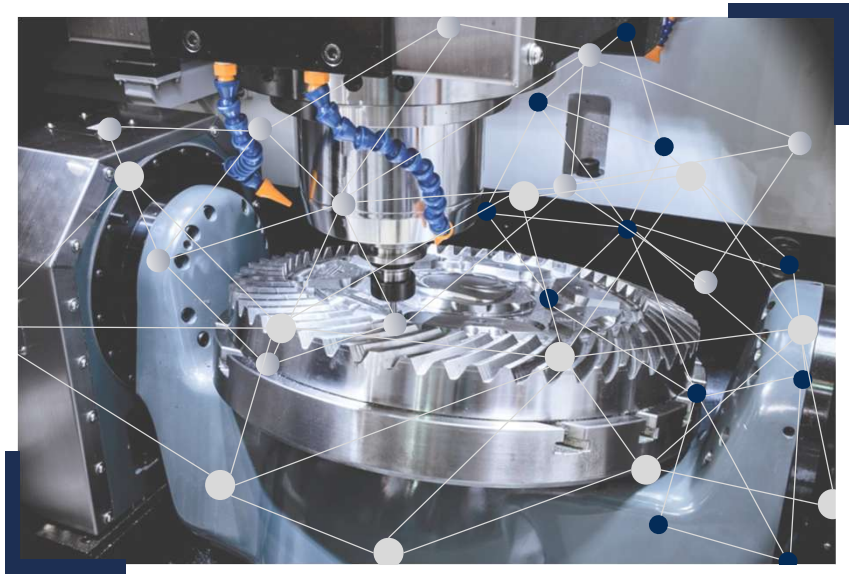
Marius Schmitz

RPTU, Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation

Open6GHub

Gefördert durch:

Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt



© RPTU in Kaiserslautern - FBK

Agenda

1	Motivation	3
2	Stand der Technik	4
3	Das 5G-Versprechen	5
4	Lösungsansatz: Kabellose Netzwerke in Netzwerken	7
5	Spectrum Sharing & Dynamic Spectrum Management	9
6	Fazit und Ausblick	12

© RPTU in Kaiserslautern - FBK

Motivation

Die schnelle Entwicklung im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnik verschiebt die Randbedingungen bestehender Produktionssysteme

Kabellose Netzwerke bieten bei vergleichbarer Zuverlässigkeit eine deutlich höhere Flexibilität als kabelgebundene Netzwerke

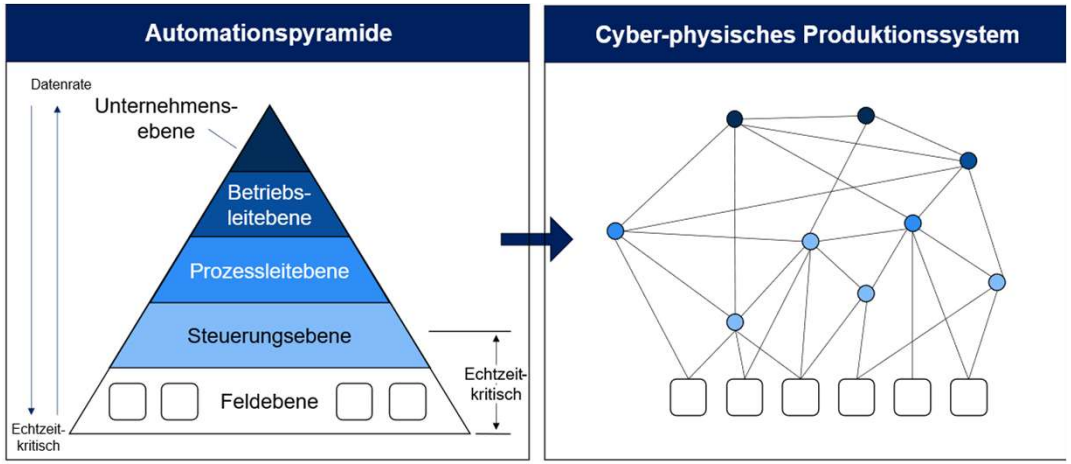
5G wurde entwickelt, um die Anforderungen moderner Produktion gerecht zu werden.
Potential: Neuartige Anwendungen von mobile Maschinensystemen, Sensornetzwerken und Steuerungskonzepten

Quality of Service Anforderungen sind hoch und variieren in Abhängigkeit von Anwendungsszenario. Simultane Optimierung kaum möglich.

Lösung: Aufteilung des Netzwerks in mehrere Use Case optimierte Subnetzwerke.

© RPTU in Kaiserslautern - FBK

Stand der Technik: Industrielle Kommunikation



Die industrielle Automatisierung stellt hohe Anforderungen an die Kommunikation

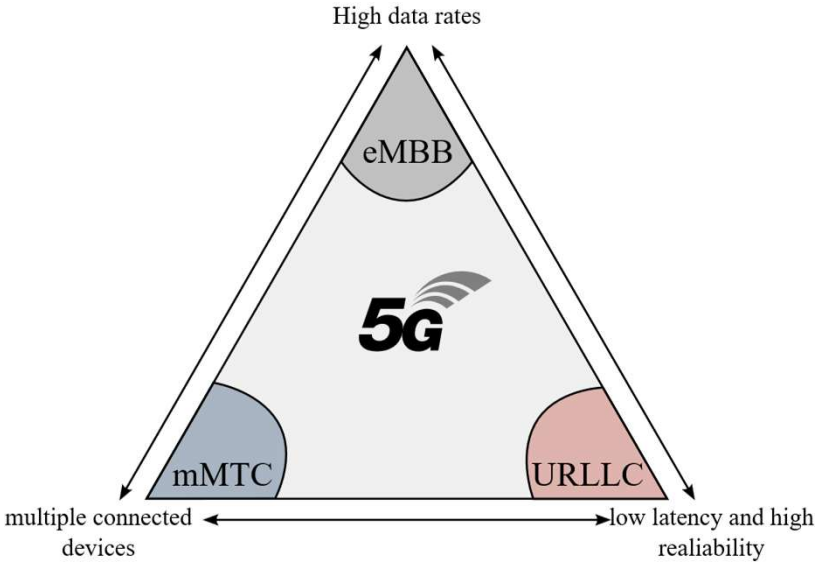
- Zuverlässigkeit
- Geringe Latenz
- Deterministische Kommunikationseigenschaften

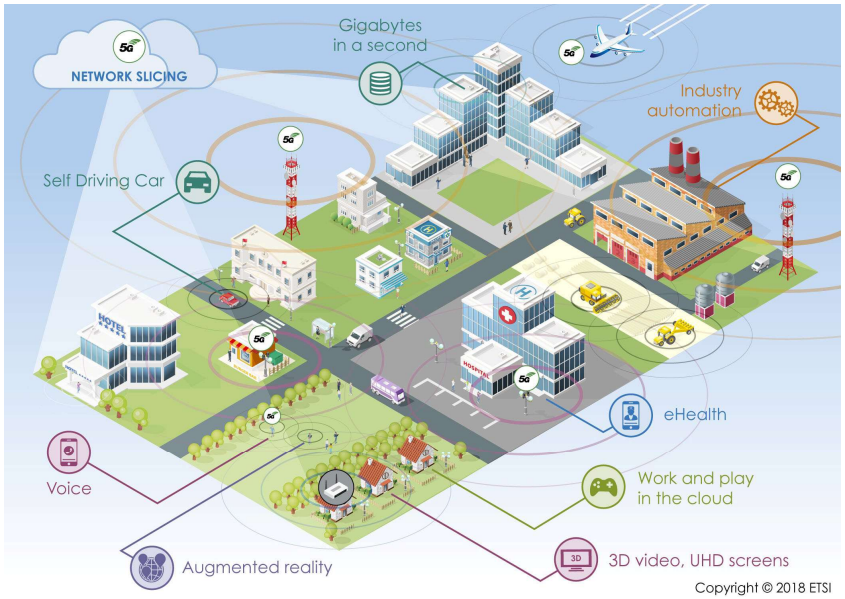
Anwendungs-szenario	Latenz	Verfügbar-keit	Zyklischer Betrieb	Daten-größe
Überwachung	~ 45 ms	> 99.9 %	Nein	variabel
Fernsteuerung	~ 45 ms	> 99.99 %	Nein	variabel
Closed-loop Regelung	0,5 – 5 ms	> 99.999 %	Ja	50 byte

© RPTU in Kaiserslautern - FBK

„Das 5G-Versprechen“

Was 5G versprochen hat:



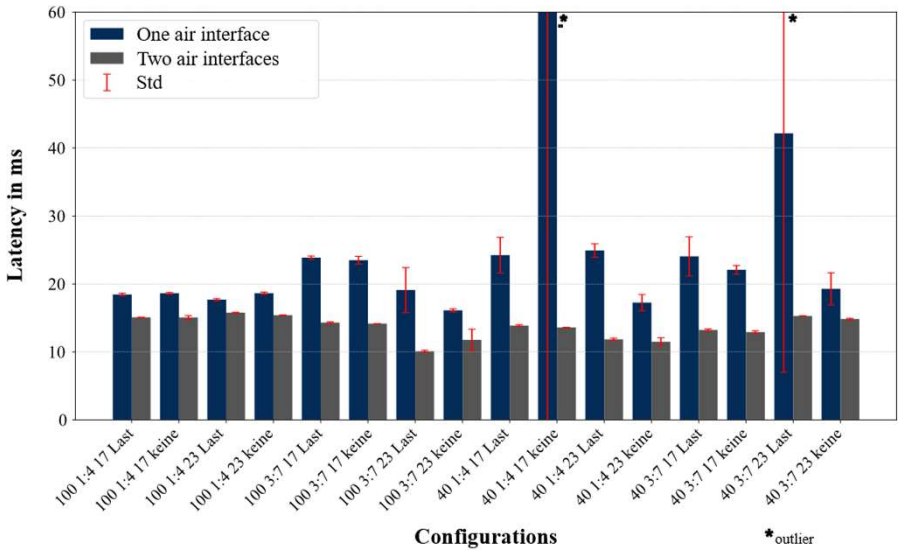


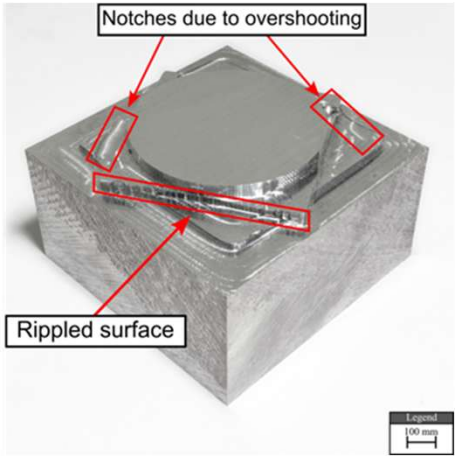
5G soll überall alles miteinander verbinden

© RPTU in Kaiserslautern - FBK

„Das 5G-Versprechen“

Was 5G wirklich leistet;





Eine Einheitslösung ist für die industrielle Automatisierung nicht sinnvoll!

DOI: https://doi.org/10.1016/j.dte.2024.100024, https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2024.09.012

© RPTU in Kaiserslautern - FBK

Kabellose Netzwerke in Netzwerken

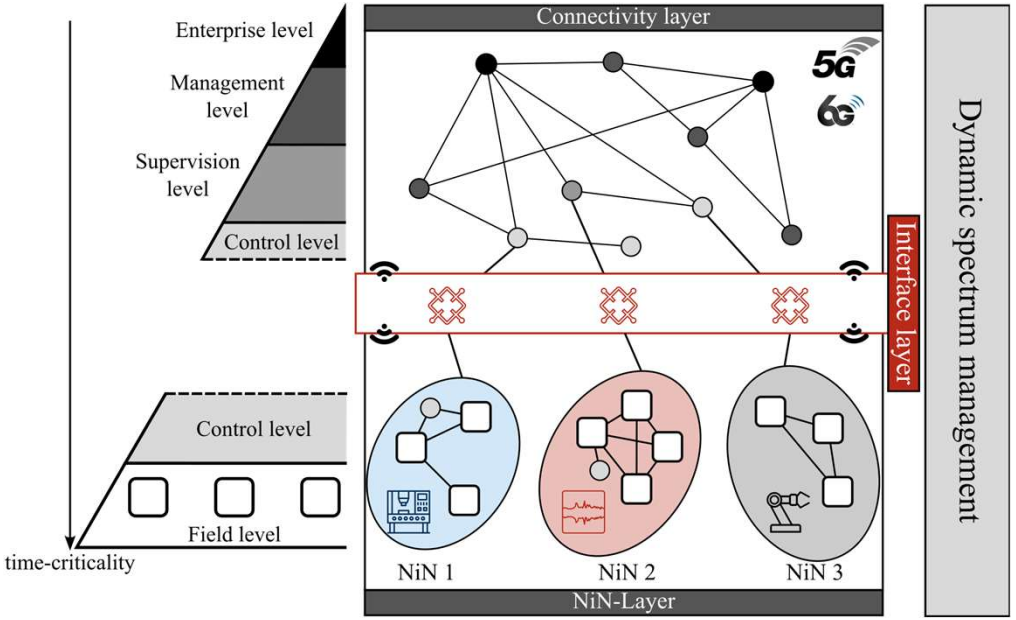
Lösung: Netzwerke in Netzwerken

- Integration mehrerer Subnetzwerke in Kommunikationsinfrastruktur.
- Sieht 3GPP konforme und nicht-konforme Technologien vor.

Ziel:
- Dynamische Erfüllung spezifischer Quality of Services
- Erhöhung von Flexibilität und Skalierbarkeit

Overlayer Netzwerk:
- Gewährleistet eine flächendeckende Versorgung der gesamten Produktion
- Nahtlose Datenübertragung und konsistenter Netzwerkbetrieb

Subnetze:
- Maßgeschneiderte Netzwerke für Anwendungsfälle mit spezifischen Leistungsanforderungen
- Unabhängiger Betrieb parallel zu anderen Kommunikationsstandards



© RPTU in Kaiserslautern - FBK

Kabellose Netzwerke in Netzwerken

Connectivity Layer

- (Overlayer) Netzwerk in lizensiertem Spektrum

Interface Layer

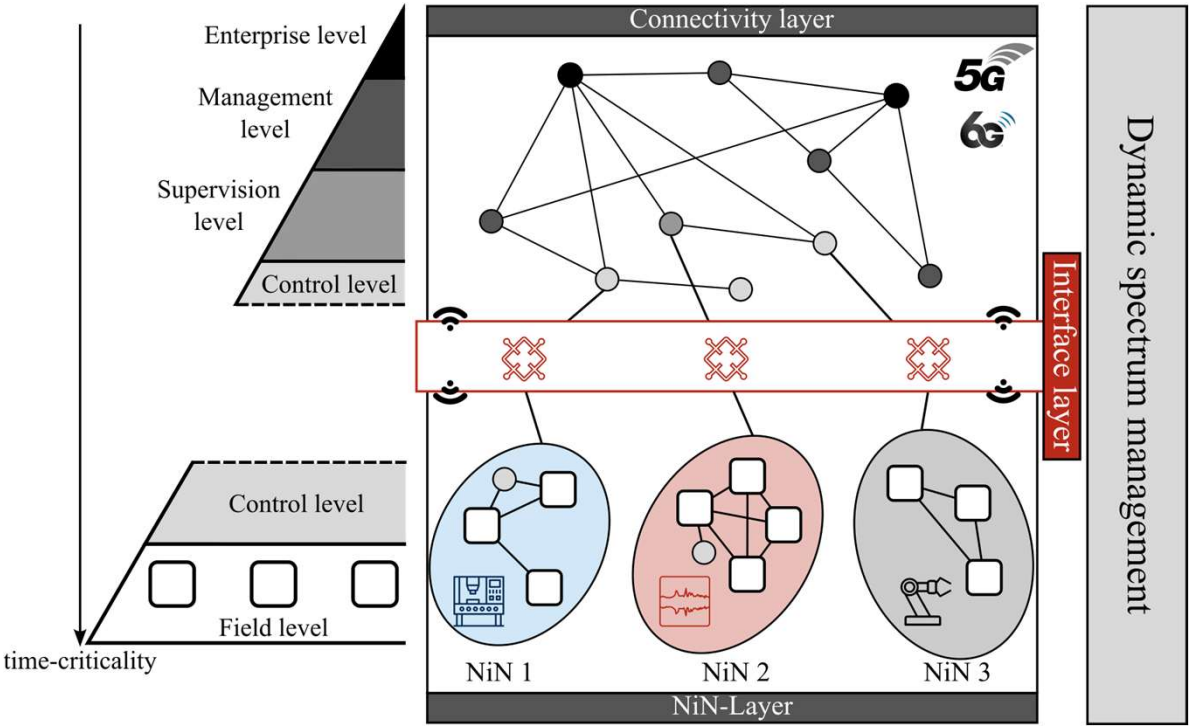
- Interkonnektivität zwischen den Layern
- Datenaustausch in geteiltem Spektrum

NiN Layer

- Dedizierte Subnetzwerke für definierte Anwendungsszenarien mit spezifischen Quality of Services

Dynamic Spectrum Management (DSM)

- Adaption der Spektrumallokation
- Veränderliche Konfigurationen und QoS Anforderungen



© RPTU in Kaiserslautern - FBK

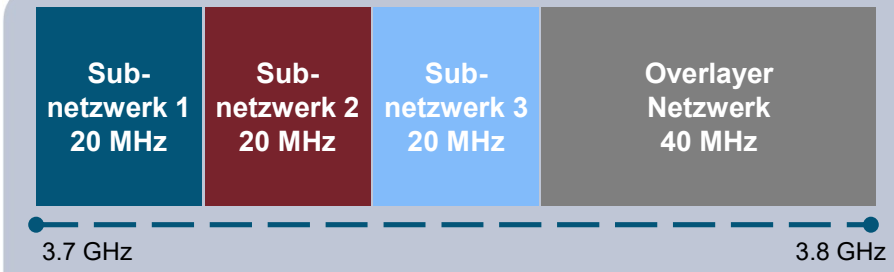
Spectrum Sharing & Dynamic Spectrum Management

Statische vs. dynamische Konfiguration:

- Größere Systeme mit dynamischeren Anwendungen erfordern ein automatisiertes Netzwerkmanagement.
- Master-Knoten von Subnetzen fordern an bestimmten Standorten Spektrum vom DSM an

Koexistenz von Subnetzen:

- Subnetze haben eine geringe und standortspezifische Ausdehnung.
- Möglichkeit mehrere Subnetze innerhalb derselben Zelle des Overlayer-Netzwerks zu betreiben.



Beispiel:

Subnetzwerk 1:
Ultra zuverlässige Low-Latency Kommunikation für geschlossene Regelsysteme

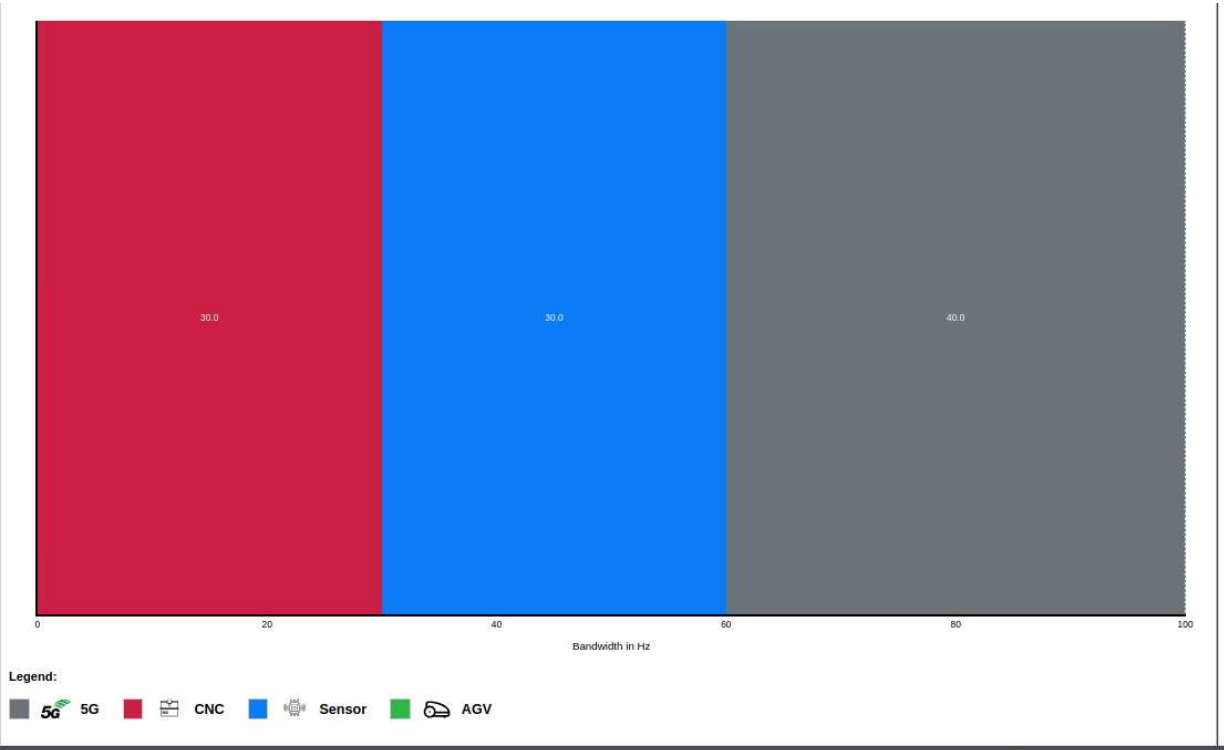
Subnetzwerk 2:
High-Traffic Kommunikationsnetzwerk für Sensordaten-streams

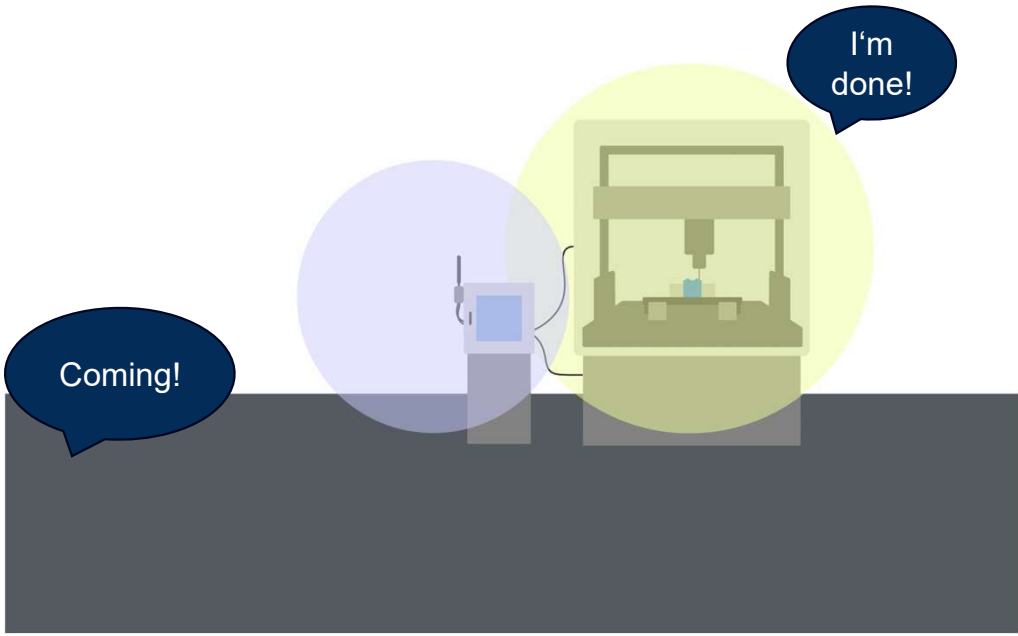
Subnetzwerk 3:
Machine to Machine Kommunikation

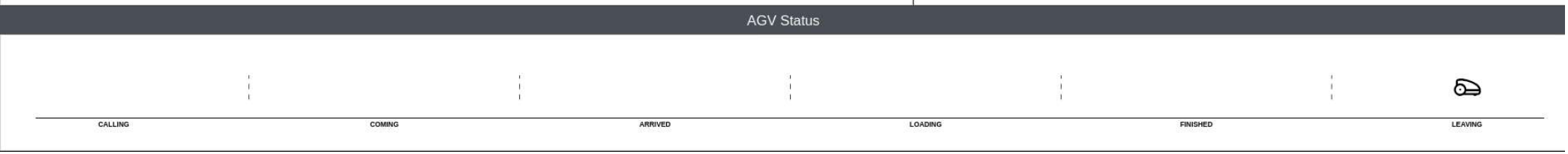
Overlayer Netzwerk 1:
Unkritische Kommunikation mit niedrigen QoS Anforderungen

© RPTU in Kaiserslautern - FBK

Spectrum Sharing & Dynamic Spectrum Management







Kabellose Netzwerke in Netzwerken: Vorteile und Herausforderungen

Vorteile

- Reduzierter Bedarf an Kommunikationsgateways und vereinfachte Integration mehrerer Use Cases durch DSM
- Virtualisierung und (De-)Zentralisierung von Steuerungssystemen
- Ermöglicht die Konvergenz von IT- und OT-Anwendungen
- Bietet Lösung für die Nachteile von 5G insbesondere in der industriellen Automatisierung

Herausforderungen

- Erste Demonstration und Proof of Concept erfolgreich.
  - Notwendigkeit von Tests mit anspruchsvolleren Automatisierungsanwendungen.
- Standardisierung und Verfügbarkeit von Frequenzen:
  - Begrenzte Frequenzen für private Netzwerke (100 MHz) stellen eine Einschränkung dar.
  - Fehlen standardisierter Gateways aufgrund der laufenden 6G-Standardisierung

© RPTU in Kaiserslautern - FBK

Fazit und Ausblick

- Der NiN Ansatz adressiert die Nachteile existierender industrieller Funknetze
- Mit diesem Ansatz können zukünftige 6G Netze attraktiver für den Einsatz in Industrie gestaltet werden
- Ermöglichung von (De-)Zentralisierung
- Grundlage für neue Anwendungen und Business Cases
  - NiN-ready Produkte
  - High load, low Latency Application (Industrial Metaverse)
- Integration in existierende Netzwerke zur Performanceanalyse

© RPTU in Kaiserslautern - FBK

Marius Schmitz

marius.schmitz@rptu.de

+49 631 205 4225

© RPTU in Kaiserslautern - FBK