Erkenntnisse aus 5G-Experimenten in der industriellen Automatisierung:

Auswirkungen der Netzwerkkonfiguration auf die Kommunikationsperformance

Gustavo P. Cainelli
ifak

Nils Kranefeld
Demag

Institut für Automation und Kommunikation e.V.
Werner-Heisenberg-Str. 1
39106 Magdeburg

12.11.2025

Agenda

01 5G in der industriellen Automatisierung

02 Performanztest aus Anwendungsperspektive

03 Testaufbau

04 Angepasste Netzwerkparameter und Ergebnisse

05 Fazit & Erkenntnisse

Demag Cranes & Components GmbH

Teil der **Konecranes** Gruppe

Hersteller von Kranen und andere Industrieausrüstung für die Intralogistik

Seit **1819** in **Wetter**

Portfolio

- Standardkrane
- Prozesskrane
- Leichtkransysteme
- Hebezeuge
- Antriebstechnik

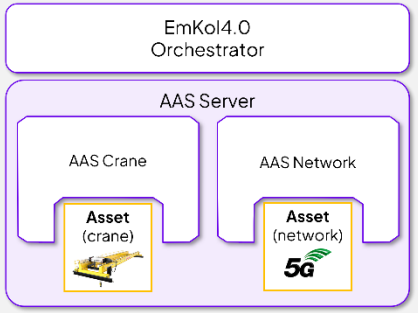
DEMAG

KONECRANES®

ifak

Aktivitäten – Drahtlose Kommunikation Demag und ifak

EmKoI4.0



- Dynamische Adaption von Kommunikationsnetzwerken
- Modellierung der Netzwerke mithilfe der AAS
- Maßgeschneiderte Nutzung der Netzwerkressourcen

DEMAG THORSIS TECHNOLOGIES TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN ifak

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

5G-ACIA

- Evaluierung versch. 4G+/5G-Generationen
- 3 Jahre Laufzeit
- 3 Messkampagnen (1x Rel. 14, Rel. 2x 15)

DEMAG ROHDE&SCHWARZ NOKIA ifak

5G-ACIA

- Evaluierung 5G in Japan und Deutschland
- 1 Jahre Laufzeit
- 2 Messkampagnen (1x Japan, 1x Deutschland)

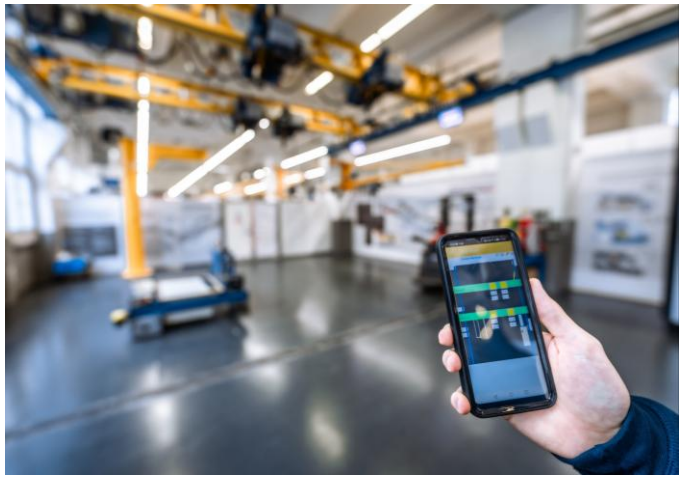
DEMAG NICT ifak

ifak

5G in der industriellen Automatisierung

- 5G wird in der industriellen Automatisierung immer häufiger benutzt.
- Es gibt vielfältige Anwendungsfälle.

Innovative Assistenzfunktionen



- Mobile Maschinen
- Übertragung von Maschinendaten und Steuerbefehlen
- Sicherheitsfunktionen

- Geringe Übertragungszeit
- Echtzeitfähigkeit
- Hohe Verfügbarkeit

5G in der industriellen Automatisierung

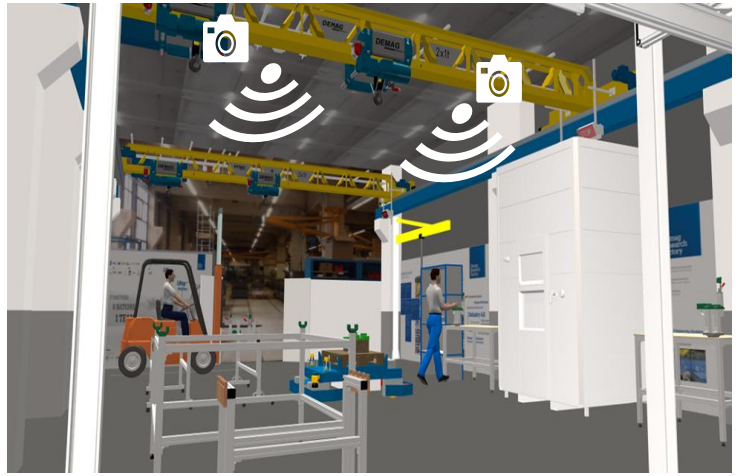
- 5G wird in der industriellen Automatisierung zunehmend eingesetzt.
- Es gibt vielfältige Anwendungsfälle.

Innovative Assistenzfunktionen

- Mobile Maschinen
- Übertragung von Maschinendaten und Steuerbefehlen
- Sicherheitsfunktionen

- Geringe Übertragungszeit
- Echtzeitfähigkeit
- Hohe Verfügbarkeit

Kollisionsvermeidung



- Personen, Produkte und Maschinen zu detektieren
- Track-&-Trace-Funktion
- Last erkennen

- Hohe Datenrate

Performancebewertung aus Anwendungsperspektive

DEMAG

ifak

Performanztest aus der Anwendungsperspektive

Verwendete Messmethode: Funk-Transfer-Tester, ifak

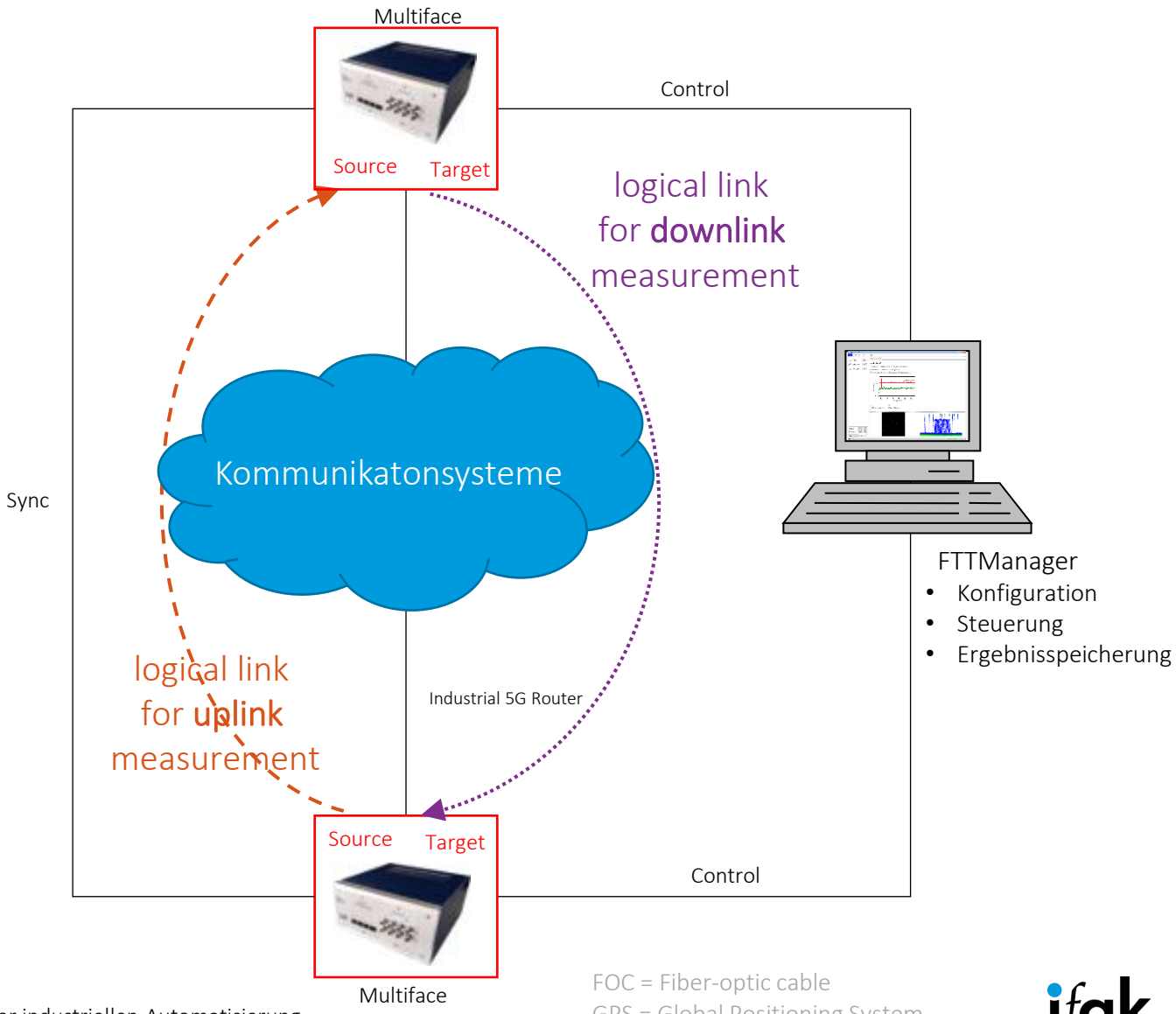
- Multifaces and FTTManager
- Verschiedene Kommunikationsysteme
- Sender und Empfänger synchronisiert über LWL oder GPS
- Messgenauigkeit: < 1 µs

Uplink – Downlink: UE zu Core, Core zu UE

… dies ist nicht dasselbe wie Round-Trip-Time (RTT).

Informationen zu den verwendeten Messgeräten:

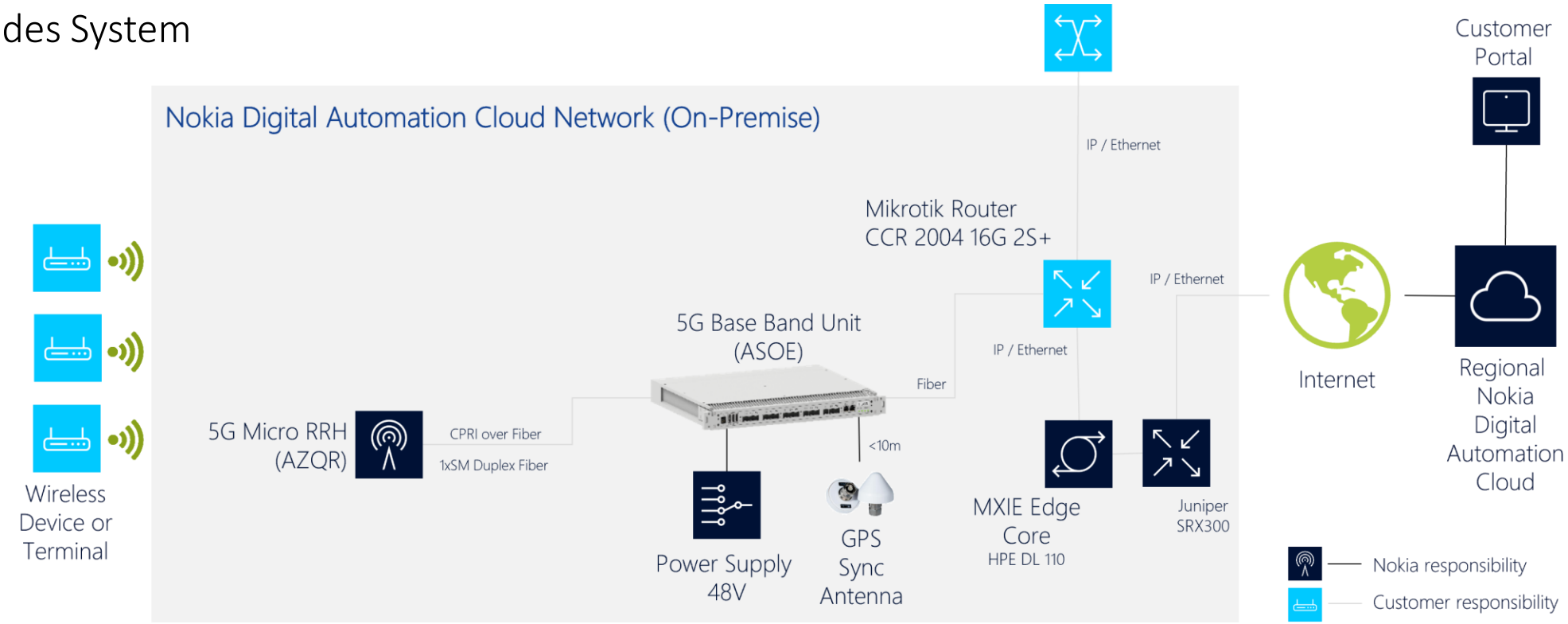
https://www.ifak.eu/de/ikt-automation/funk



FOC = Fiber-optic cable
GPS = Global Positioning System

Testaufbau

zu testendes System



- 5G SA Rel. 15
- n78, 3.7-3.8 GHz

- Bandwidth: 20 MHz
- MIMO: DL 4x4, UL 2x2

- TDD patterns: 3:7, 1:4 und 4:6 UL:DL

Quelle: 5G-ACIA Endorsed Testbed – „5G Performance Evolution for Material Handling in Manufacturing“

Testaufbau

Testsystem und zu testendes System

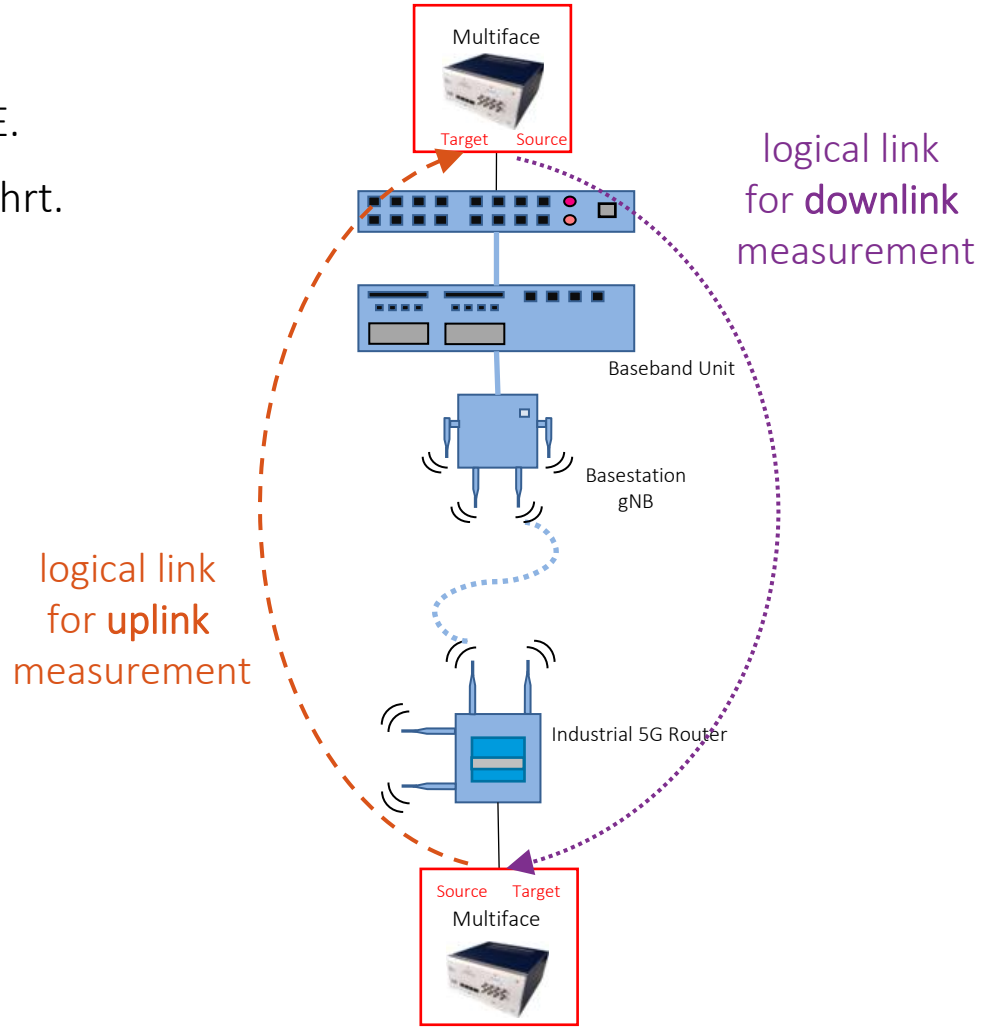
- Die Multifaces sind mit dem 5G-System verbunden, also Core und UE.
- Die Messungen werden in Uplink- und Downlink-Richtung durchgeführt.

Netzwerkparameter wurden angepasst:

- Time Division Duplex
- ulSchedTimeInterval

Gemessen Parameter

- **Übertragungszeit**
- Aktualisierungszeit
- Nachrichtenverluste
- …und weitere!



icons from: https://icons8.com

Angepasste Netzwerkparameter 1: TDD

Time Division Duplex (TDD)

Es ist eine Methode, die dieselbe Frequenz zum Senden und Empfangen von Daten nutzt, die Zeit jedoch in separate Intervalle für Uplink und Downlink unterteilt.

- Die Anzahl der Timeslot pro Richtung beeinflusst die Performance in der jeweiligen Richtung.
- Timeslot für Downlink-Übertragung: Basisstation → 5G-Gerät
- Timeslot für Uplink-Übertragung: 5G-Gerät → Basisstation

TDD = 1:4

TDD = 4:6

Einfluss von TDD auf die Übertragungszeit – Ergebnisse

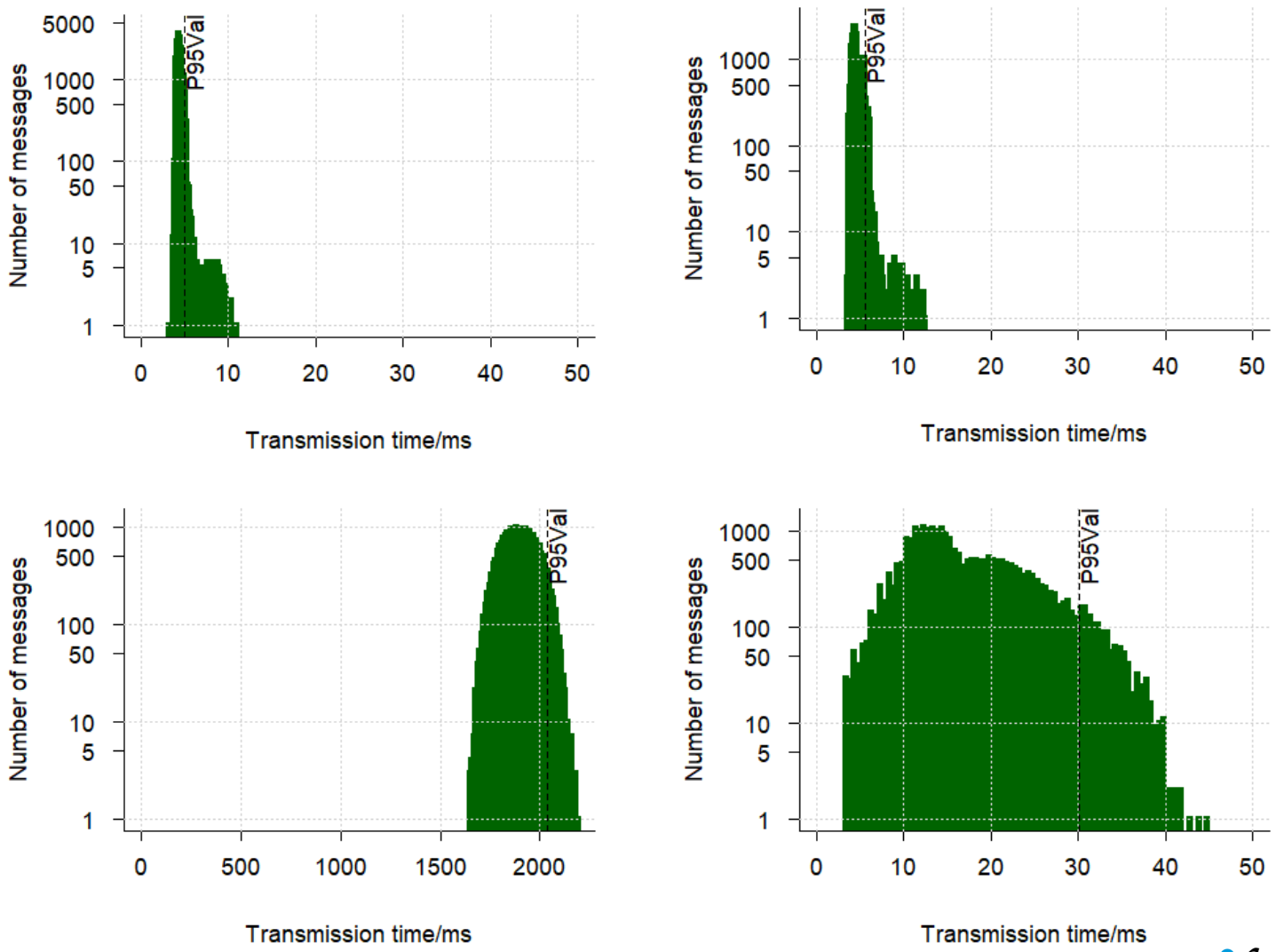
Testbedingungen:

- Periodische Übertragung von 20-Byte-UDP-Nachrichten (Testdatenverkehr) sowohl im Uplink als auch im Downlink alle 53 ms.
- Ein Kamerastream war im Uplink aktiv (Use-Case-Data traffic).

TDD = 1:4 | TDD = 4:6

downlink

uplink



Angepasste Netzwerkparameter 2: ulSchedTimeInterval

Uplink Scheduling Time Interval (ulSchedTimeInterval)

Dieser Parameter ermöglicht eine häufigere Zuweisung von Uplink-Verbindungen und somit eine schnellere Paketübertragung über den Uplink.

Einfluss von ulSchedTimeInterval auf die Übertragungszeit – Ergebnisse

Testbedingungen

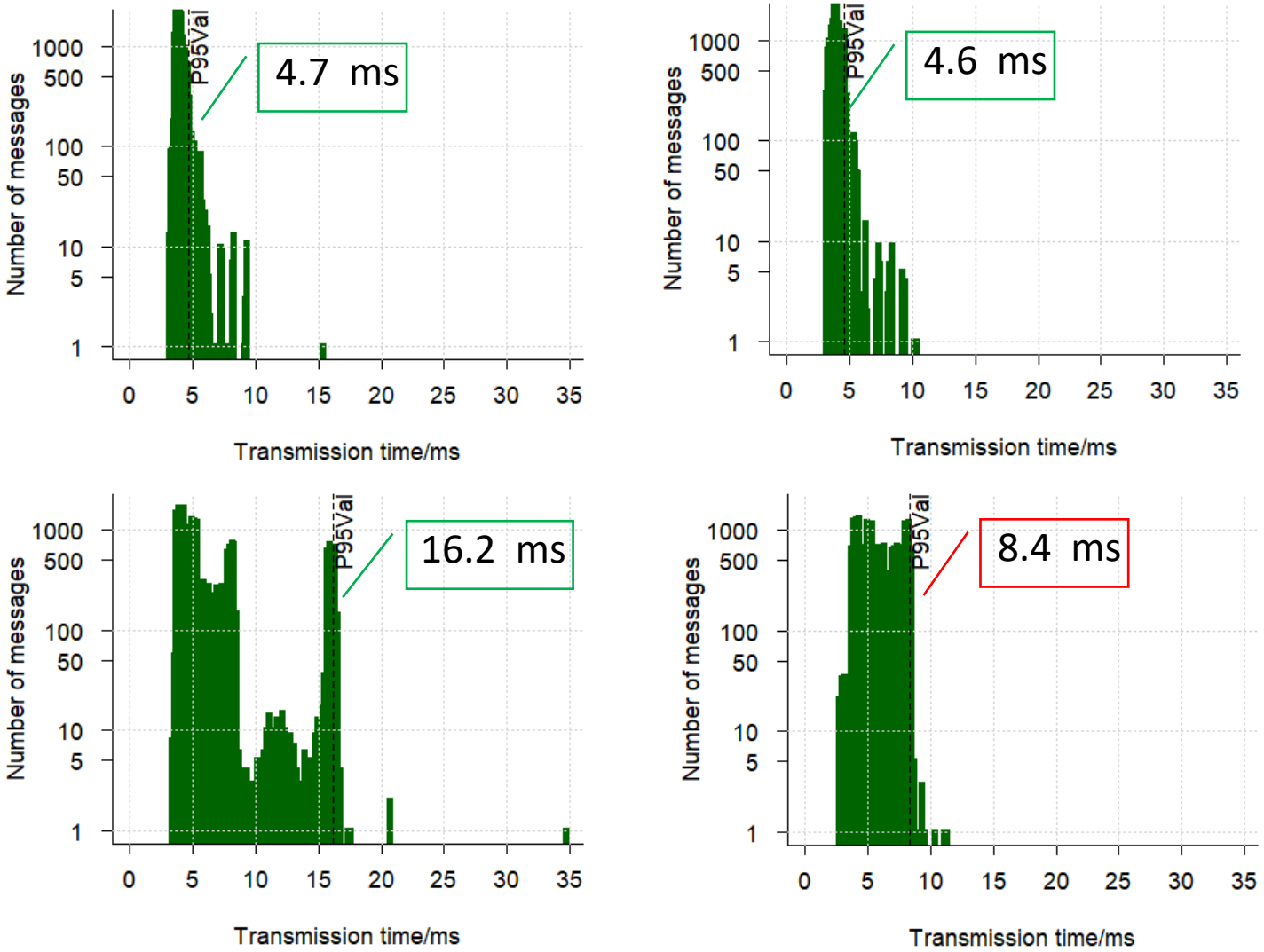
- Periodische Übertragung von 20-Byte-UDP-Nachrichten im Uplink und Downlink alle 23 ms repräsentiert den Testdatenverkehr.
- Kein Kamerastream, nur Heartbeat-Nachrichten zwischen den Kränen.

ulSchedTimeInterval = 15 (default)

ulSchedTimeInterval = 4 (adapted)

downlink

uplink



Fazit & Erkenntnisse

Integration ist anspruchsvoll

- Industrielle Protokolle wurden für kabelgebundene Netzwerke entwickelt.
- Die Umstellung auf drahtlose Systeme erfordert Anpassung.

Anwendungsanforderungen im Mittelpunkt

- Das Verständnis der Datenverkehrsanforderungen ist entscheidend, um die passende Kommunikationstechnologie auszuwählen.
- Nur mit einem vollständigen Verständnis der Anwendung kann das Netzwerk gezielt angepasst und optimiert werden

Das Umfeld ist entscheidend

- Die tatsächliche Performance hängt stark vom Einsatzort ab.
- Messungen und Vor-Ort-Termine sind wichtig, um Abdeckung und Störungen zu bewerten.

Keine universelle Lösung

- Es gibt keine Universallösung.
- Die ideale Technologie und Konfiguration hängen vom jeweiligen Anwendungsfall ab.

Tests sind unverzichtbar

- Performanztest sind entscheidend, um zu überprüfen, ob die Kommunikation die Anforderungen der Anwendung erfüllt.
- Kleine Änderungen können große Auswirkungen haben, daher muss die richtige Konfiguration sorgfältig ausgewählt werden.

Empfehlung

- Arbeiten Sie mit erfahrenen Partnern, Anbietern von Kommunikationslösungen, Endnutzern, Testern und Forschern zusammen.
- Analysieren und bewerten Sie Optionen für die automatisierte Rekonfiguration.

VON HIER AUS NOCH VIEL WEITER

Dr.-Ing. Gustavo P. Cainelli
Wissenchaftlicher Mitarbeiter
gustavo.cainelli@ifak.eu
+49 391 9901474

Institut für Automation und Kommunikation e.V.
Werner-Heisenberg-Str. 1
39106 Magdeburg

12.11.2025