



Messtechnische Performancebewertung von Funklösungen für industrielle Automatisierungsanwendungen

VDI/VDE 2185 - Blatt 4

Prof. Dr.-Ing. Uwe Meier

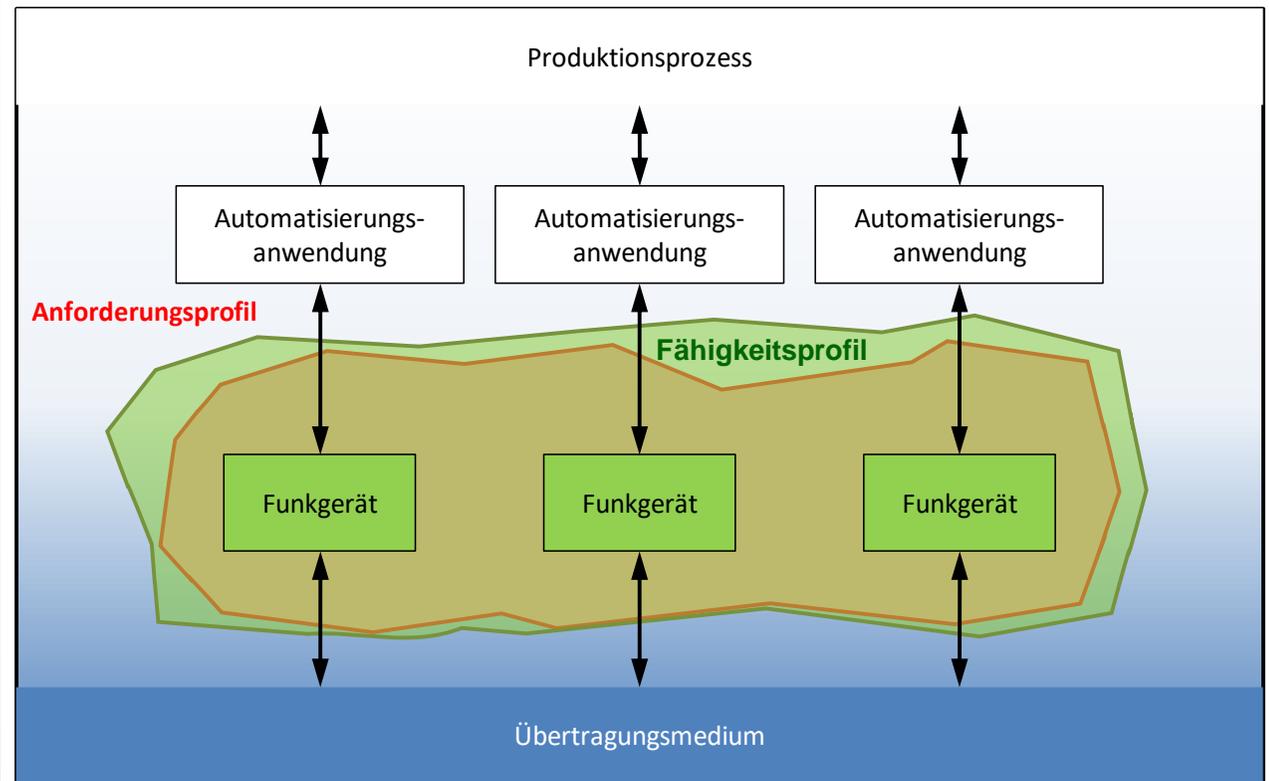
Dr. Lutz Rauchhaupt

- Anwendungsbereich
- Anforderungen, Bedingungen und Fähigkeiten der Funkkommunikation
- Anforderungen an Standardtests
- Modellbeschreibung
- Definition von Kenngrößen
- Standardanwendungsprofile
- Standardumgebungsprofile
- Spezifikation von Testfällen
- Testdurchführung und Testergebnisse
- Zusammenfassung

- **Bewertung des Zeit- und Fehlerverhaltens** von Funkkommunikationssystemen in Anwendungen der industriellen Automatisierungstechnik
- Endanwendern von Funkkommunikationssystemen in der Automatisierungstechnik soll ermöglicht werden, Funkkommunikationsnetzwerke verstehen, bewerten, vergleichen und eine **für die Aufgabenstellung geeignete Lösung** auswählen zu können.
- Einheitliche, herstellerübergreifende Bezeichnungen, **Kenngößen** und **Merkmale** werden definiert.
- Beispiel für einheitliche Bewertung aus der Automobilindustrie: Normverbrauch, CO₂-Ausstoß
- Das Richtlinienblatt wendet sich an **Anwender**, **Planer** und **Hersteller** von Funklösungen für Anwendungen der Industrieautomation.

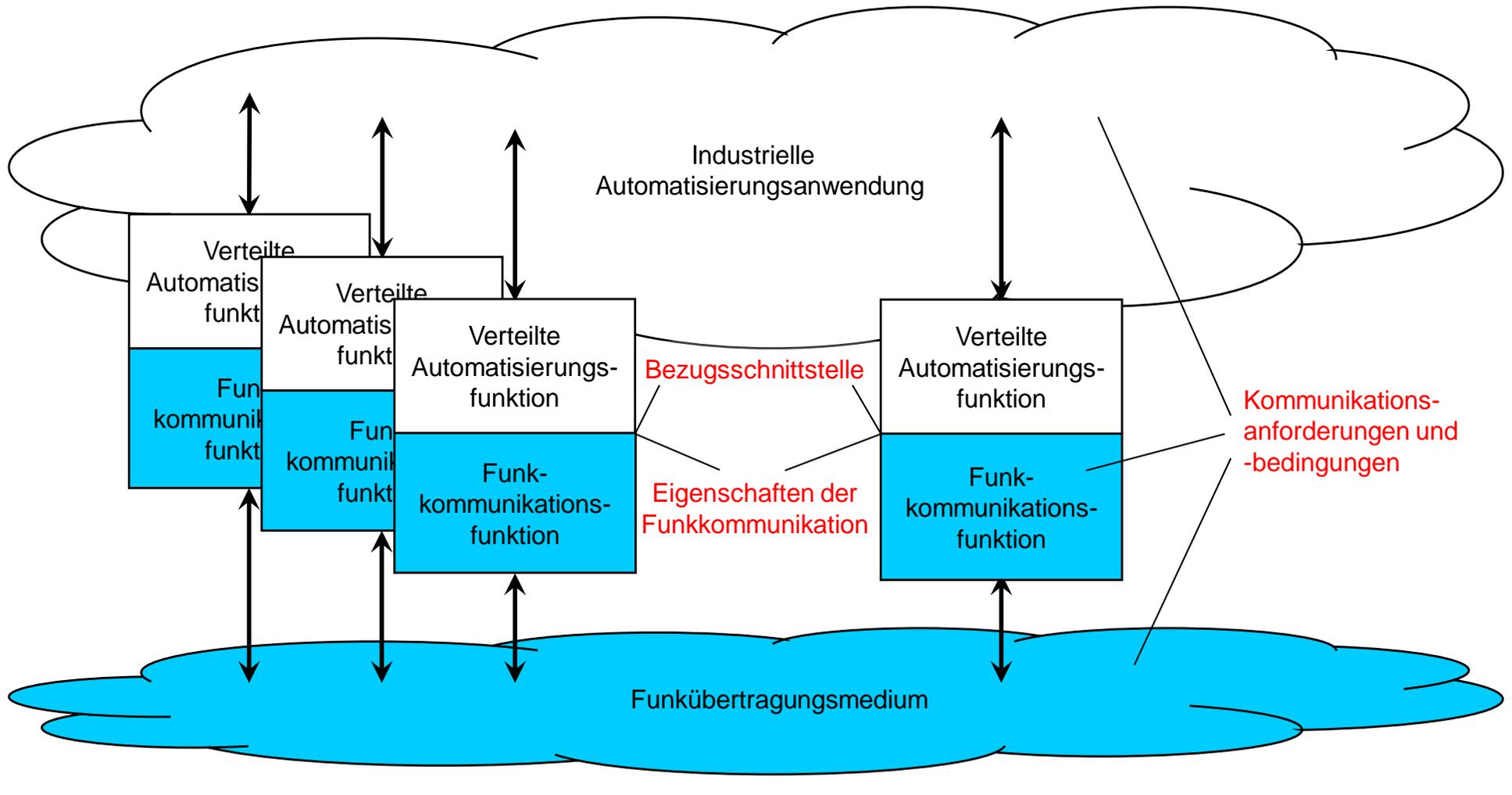
ANFORDERUNGEN, BEDINGUNGEN UND FÄHIGKEITEN DER FUNKKOMMUNIKATION

- **Einflussgrößen**
(Anforderungen der AT-
Anwendung +
Umgebung)
- **Kenngößen**
(Eigenschaften der
Funkgeräte)
- Einflussgrößen + Ziel-
Kenngößen -->
Anforderungsprofil
- Einflussgrößen + Ist-
Kenngößen -->
Fähigkeitsprofil

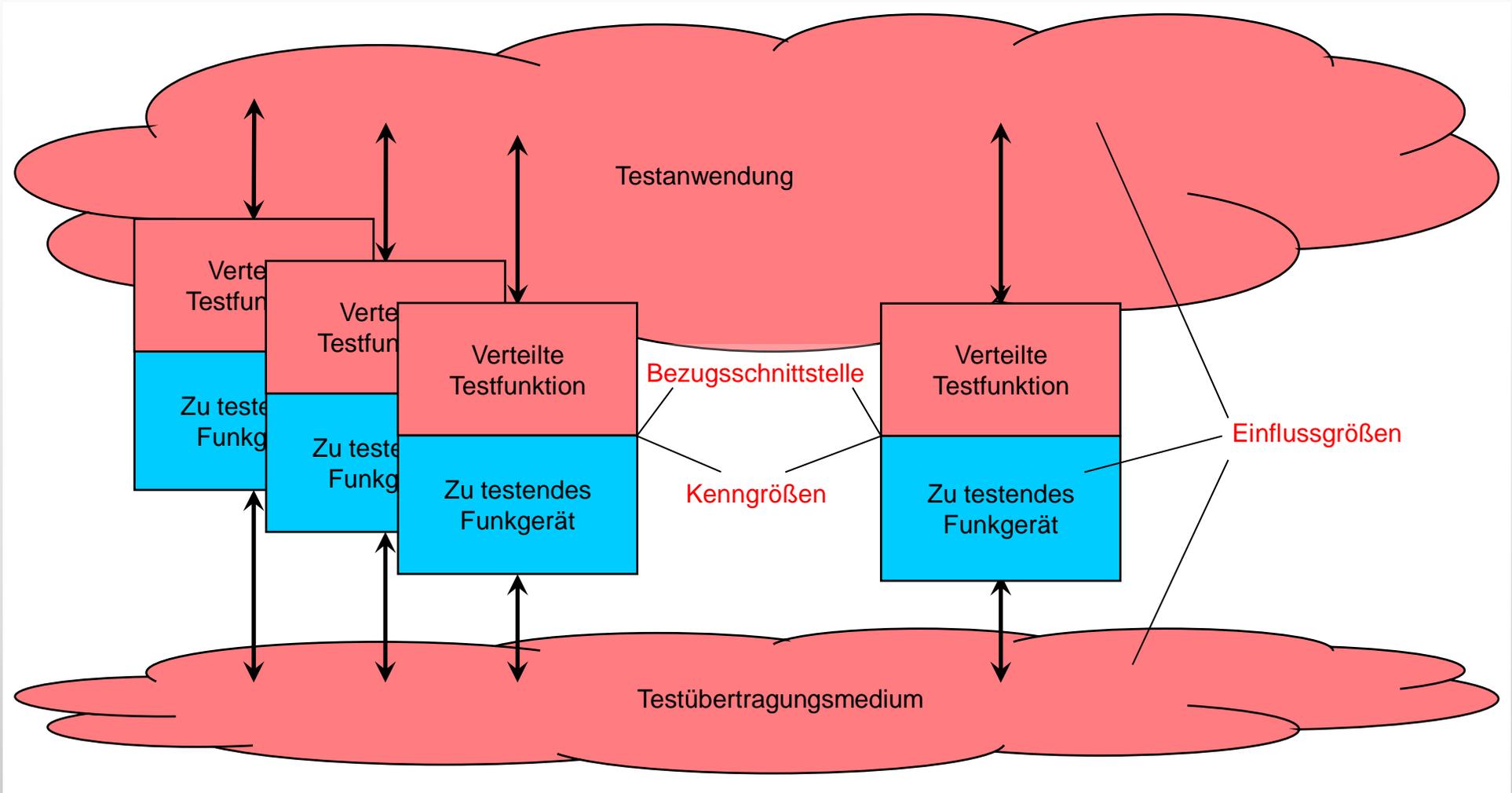


- Keine HF-spezifischen Parameter
- Technologieunabhängig (WLAN, Bluetooth, ..., 5G)
- Herstellerunabhängig
- Möglichst am Markt verfügbare Mess- und Testgeräte nutzen.
- Keine spezielle Funkexpertise notwendig
- Keine speziellen Testlabore erforderlich

Betrachtungsraum

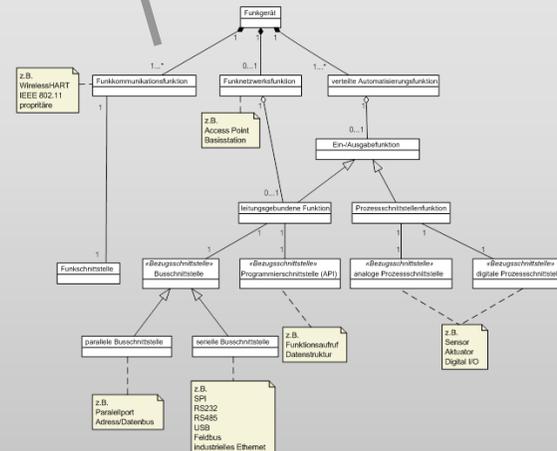
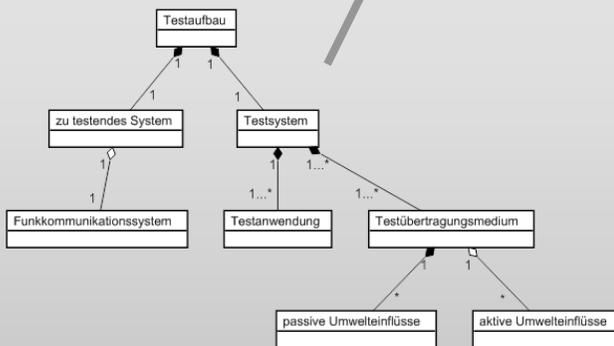
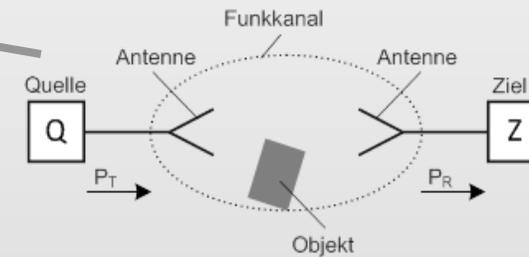
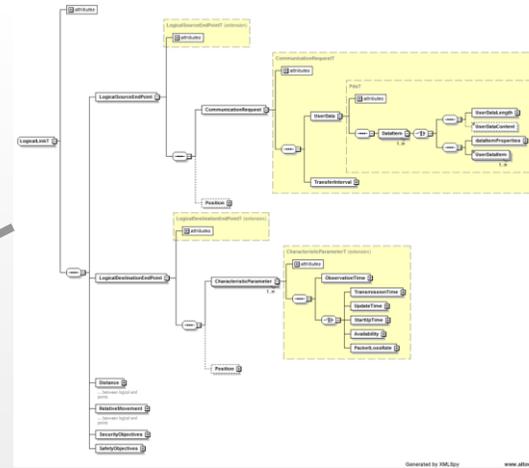


Modellierung



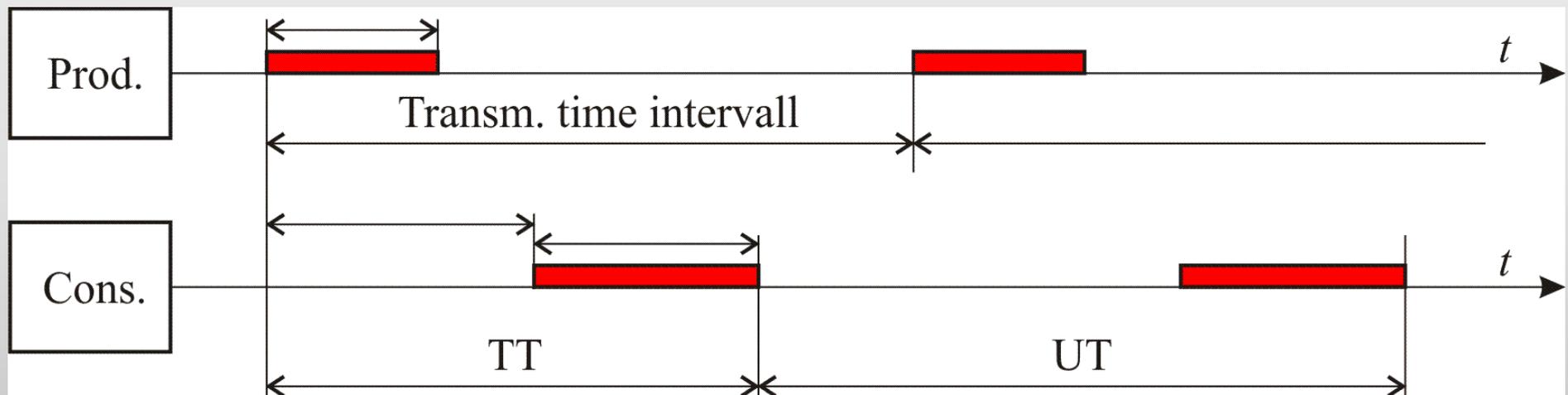
Es gibt Modelle ...

- ... der **Anwendung**
- ... des **Übertragungsmediums**
- ... des zu testenden Systems (**SUT**)
- ... des **Testaufbaus**



DEFINITION VON KENNGRÖßEN

- **Übertragungszeit** (transmission time): TT
- **Aktualisierungszeit** (update time): UT - für zyklische Anwendungen
- **Anlaufzeit** (start-up time)
- **Paketverlustrate** (packet loss rate): PLR
- **Verfügbarkeit** (availability): $A = 1 - PLR$



...spezifizieren die definierten **Einflussgrößen** für 13 ausgewählte industrielle Anwendungsfelder mit **typischen Zahlenwerten**.

- Maschine oder Fertigungszelle inkl. Schweißanlage
- Fertigungshalle inkl. Hallenkran, Lagerhalle
- ...
- Fahrerlose Transportsysteme

...spezifizieren die definierten Einflussgrößen für 13 ausgewählte industrielle Anwendungsfelder mit typischen Zahlenwerten.

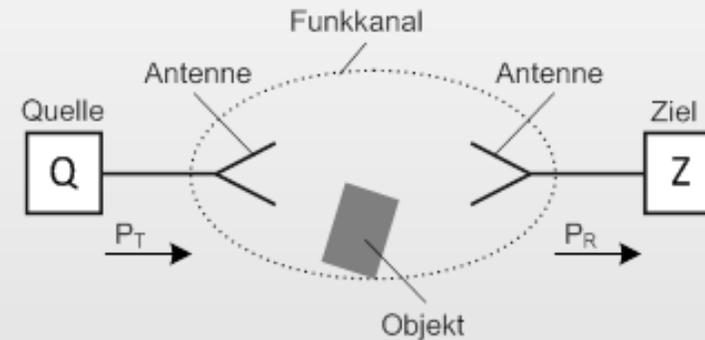
- **Maschine oder Fertigungszelle inkl. Schweißanlage**
- Fertigungshalle inkl. Hallenkran, Lagerhalle
- ...
- Fahrerlose Transportsysteme

Einflussgrößen	Fertigungszelle
Nutzdatenlänge je logischer Verbindung	2 Oktett
Anzahl logischer Verbindungen	16
Sendezeitabstand je Verbindung bei periodischer Übertragung	100 ms
Maximaler Abstand zwischen Funkgeräten	10 m
Bewegung der Funkgeräte	0 m/s, 5 m/s

- **Passive
Umgebungseinflüsse**
- **Aktive
Umgebungseinflüsse**

Maschine oder Fertigungszelle inkl.
Schweißanlage:

- Funkkanal
- frequenz- und zeitabhängig



0, 1, 2, 3 - Stufen der Störwirkung

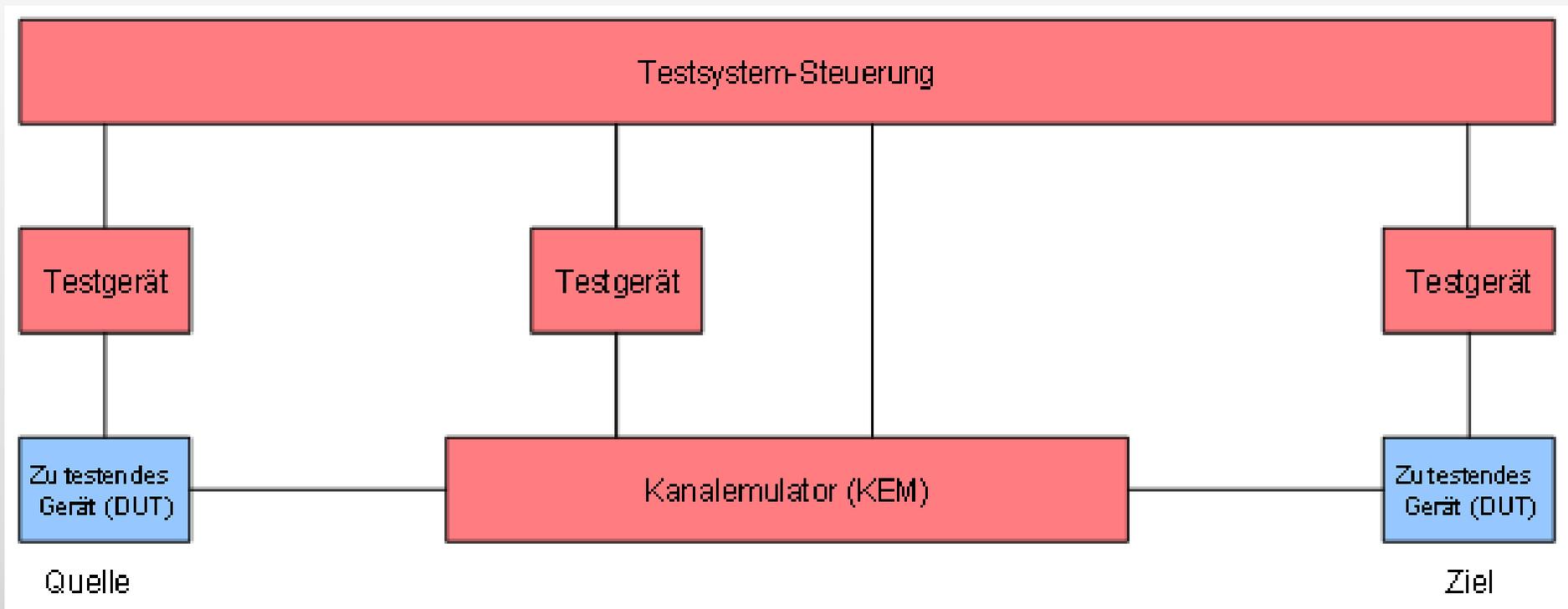
Funktechnologie	WLAN 2,4 GHz $T_{ON} \leq 2 \text{ ms}$ $T_{OFF} \leq 2 \text{ ms}$ $B = 20 \text{ MHz}$	WLAN 5 GHz $T_{ON} \leq 2 \text{ ms}$ $T_{OFF} \leq 2 \text{ ms}$ $B = 20 \text{ MHz}$	Wireless HART $T_{ON} \leq 5 \text{ ms}$ $T_{OFF} \leq 5 \text{ ms}$ $B = 2 \text{ MHz}$	Bluetooth* $T_{ON} \leq 1 \text{ ms}$ $T_{OFF} \leq 1 \text{ ms}$ $B = 1 \text{ MHz}$
Störwirkung				
WLAN 2,4 GHz	1, 2**	0	0, 1	2, 3
WLAN 5 GHz	0	1, 2**	0	0
Wireless HART	0,1	0	0	2
Bluetooth	0	0	0	0

- Definiert durch Standardanwendungsprofil + Standardumgebungsprofile
- Bei Bedarf: spezielle Testfälle
 - Spezifikation einer Mikrowellenanwendung
 - Spezifikation für die Initiierung eines Zellwechsels

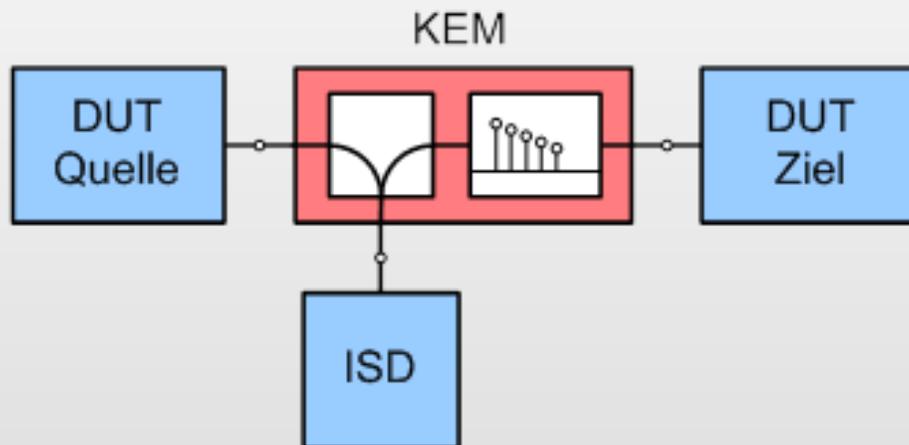
Pro Testfall ist eine signifikante Stichprobe zu wählen. Sie sollte mindesten 5.000 Funkübertragungen umfassen.

TESTDURCHFÜHRUNG UND TESTERGEBNISSE

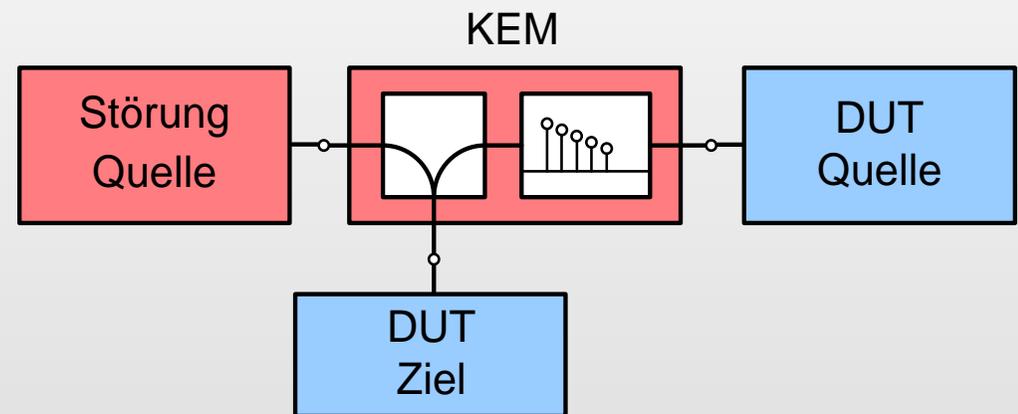
Testsystemstruktur



Spezielle Testsystemstrukturen



Berücksichtigung eines
Infrastrukturgerätes (ISD)



Berücksichtigung aktiver
Umgebungseinflüsse

TESTDURCHFÜHRUNG UND TESTERGEBNISSE

Testergebnisübersicht

Manufacturer:

System under test:

Date and time of test:

Test group:

Test case:

Performance class:

Transmission time

Mode value:

Percentile P95 value:

Update time

Mean value:

Standard deviation value:

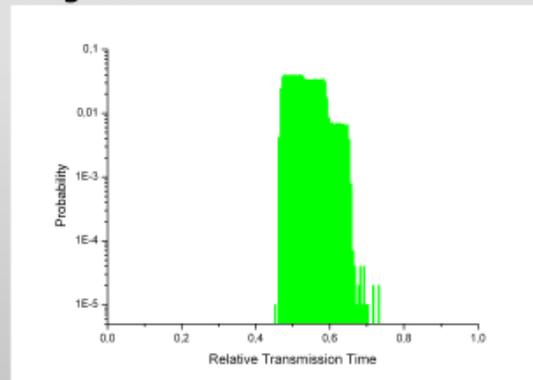
Packet loss rate

Total PLR:

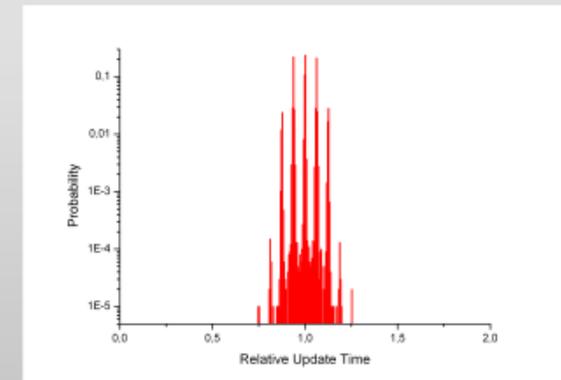
Availability

Total A:

Histograms

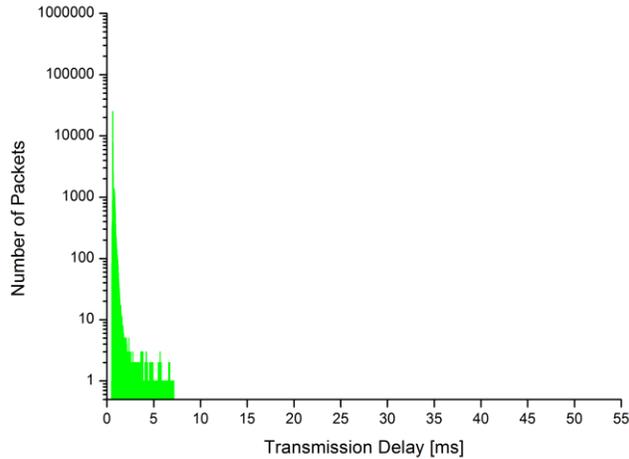


Histogram of transmission time

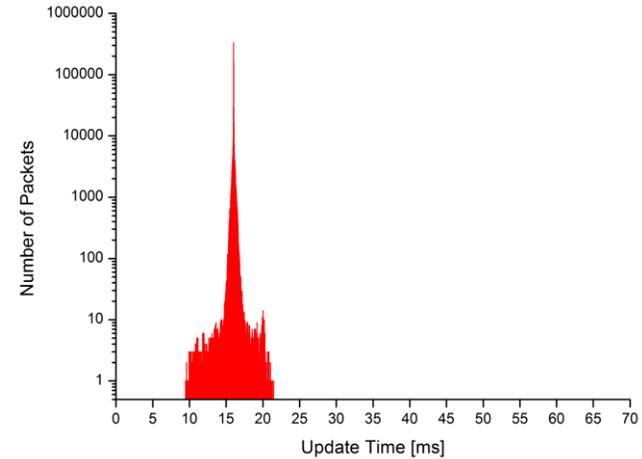


Histogram of update time

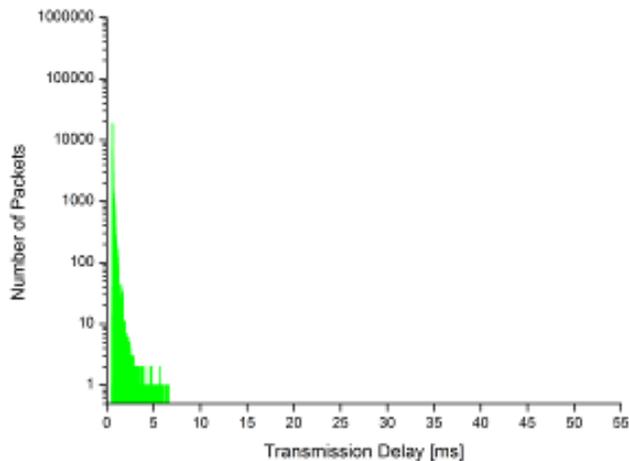
Übertragungszeit und Aktualisierungszeit (Histogramm) PROFINET IO über WLAN (Test 2008)



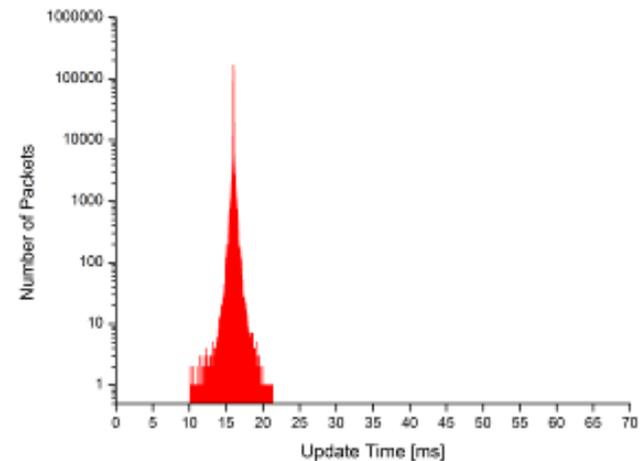
Übertragungszeit AP - CI



Aktualisierungszeit AP - CI

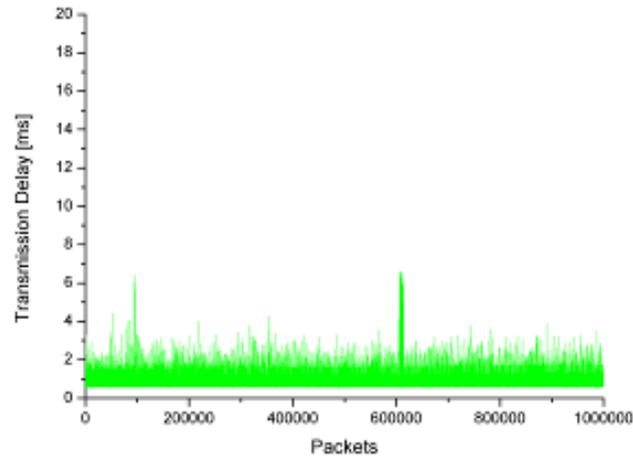


Übertragungszeit CI - AP

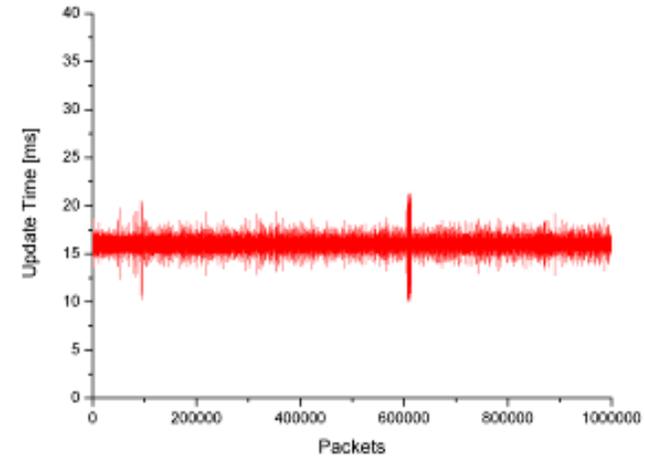


Aktualisierungszeit CI -
AP

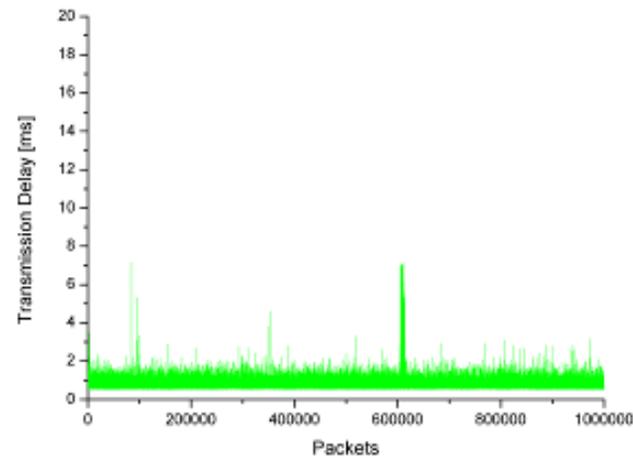
Übertragungszeit und Aktualisierungszeit (Zeitverlauf) PROFINET IO über WLAN (Test 2008)



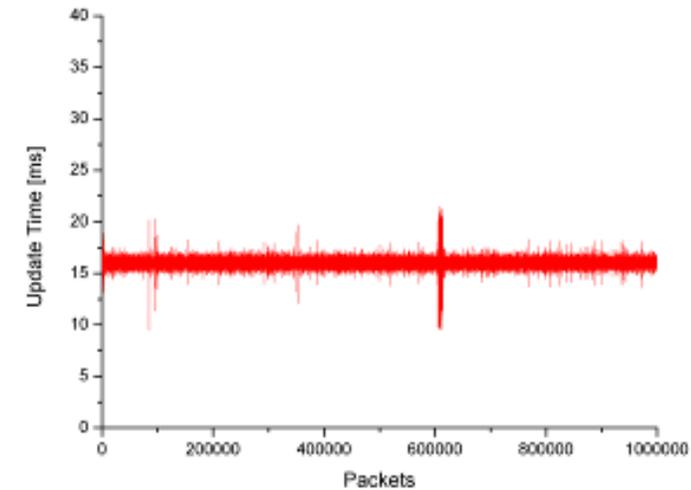
Übertragungszeit AP - CI



Aktualisierungszeit AP - CI

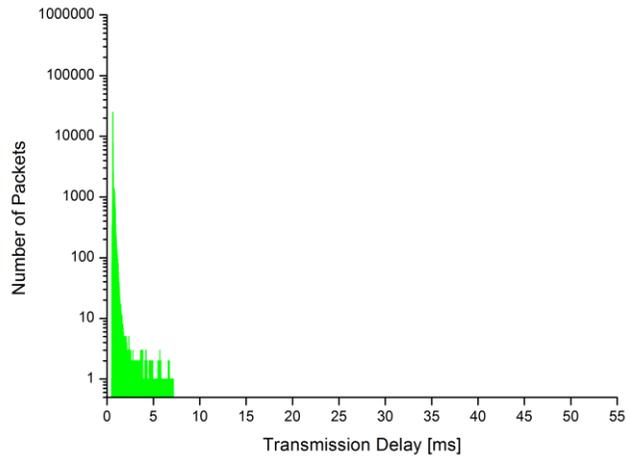


Übertragungszeit CI - AP

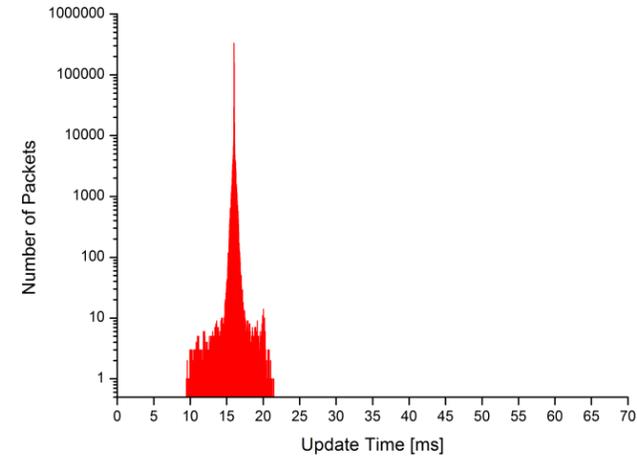


Aktualisierungszeit CI - AP

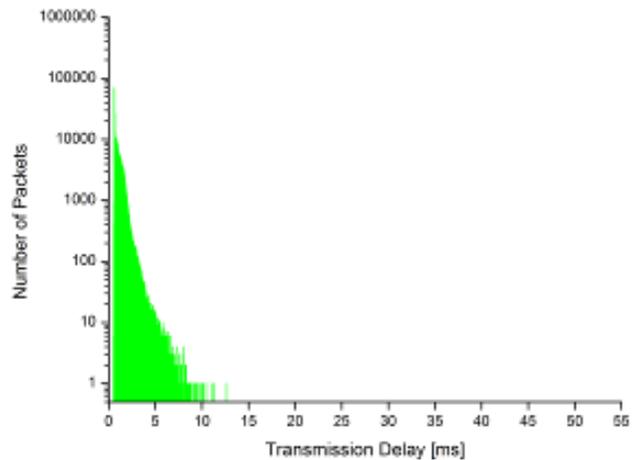
Übertragungszeit und Aktualisierungszeit (Histogramm) PROFINET IO über WLAN (Test 2008)



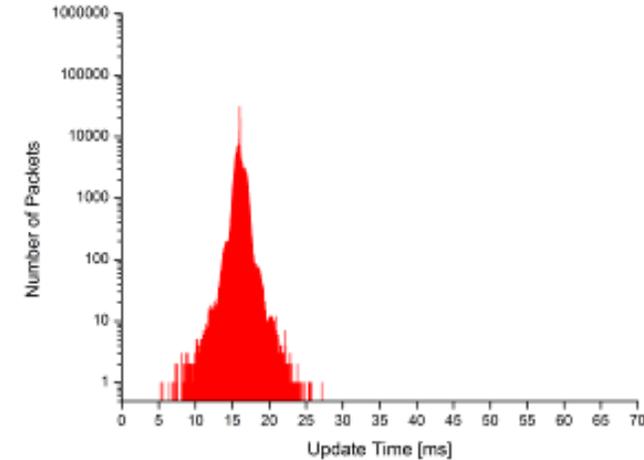
Übertragungszeit ohne Störung



Aktualisierungszeit ohne Störung



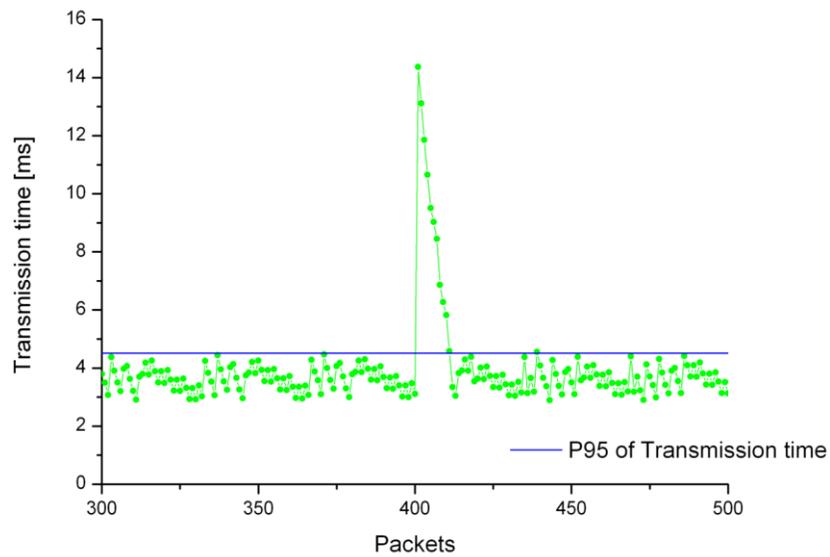
Übertragungszeit mit WLAN in Nachbarkanälen



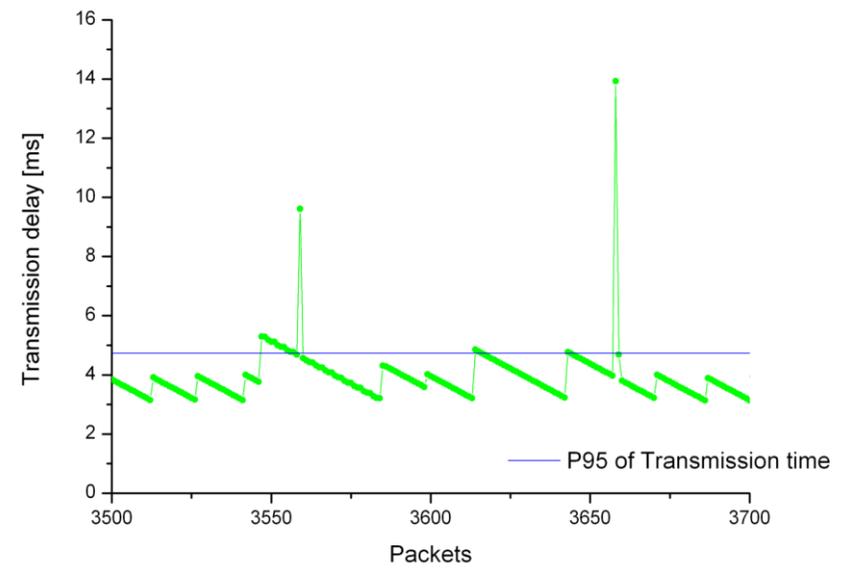
Aktualisierungszeit mit WLAN in Nachbarkanälen

Übertragungszeit (Zeitverlauf)

Regelkreis mit Kommunikation über DECT (Test 2010)



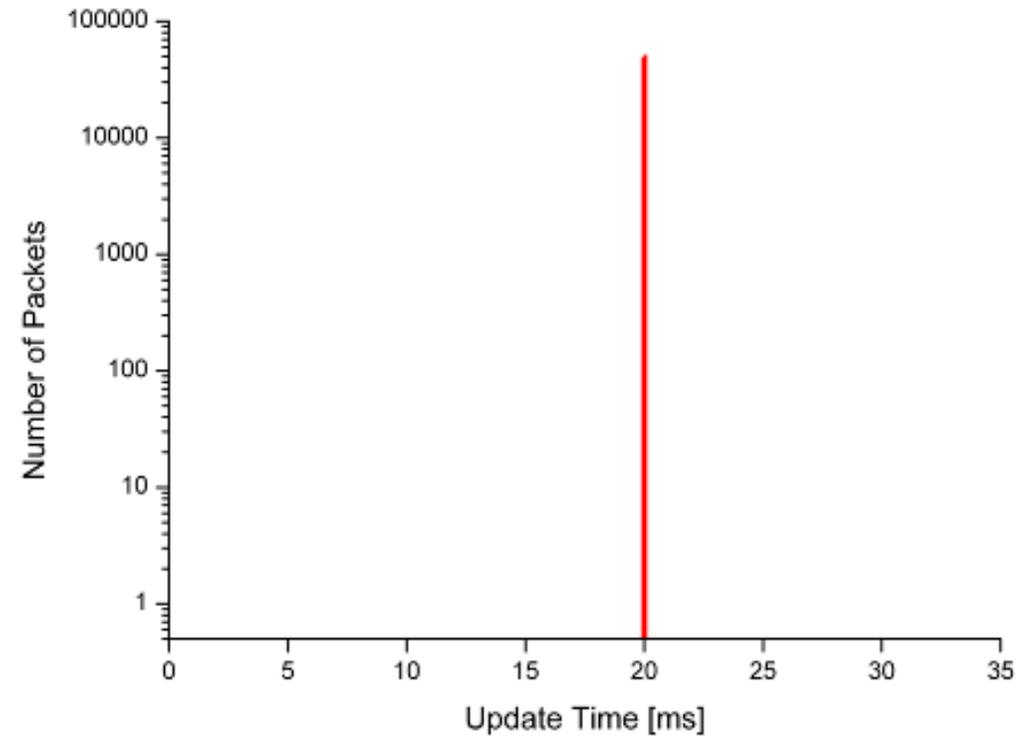
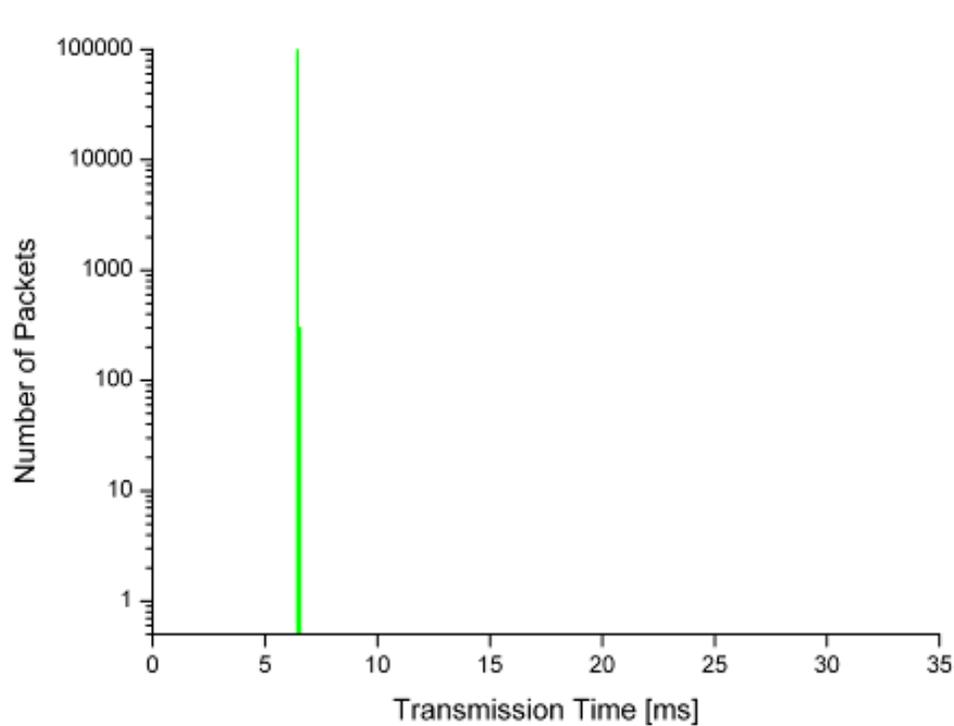
Sendezeitabstand: 2 ms



Sendezeitabstand: 10 ms

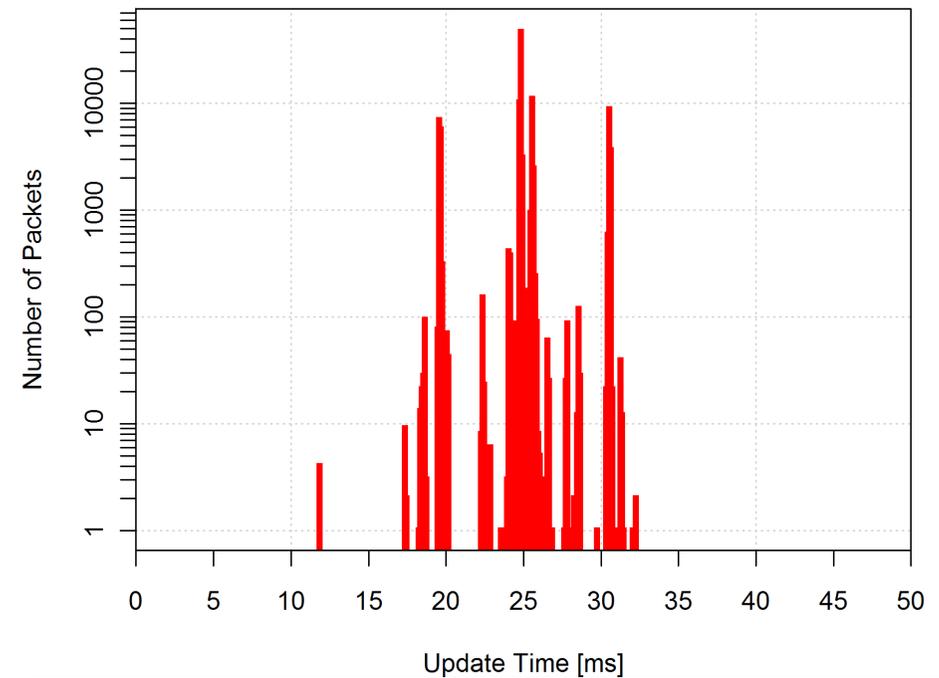
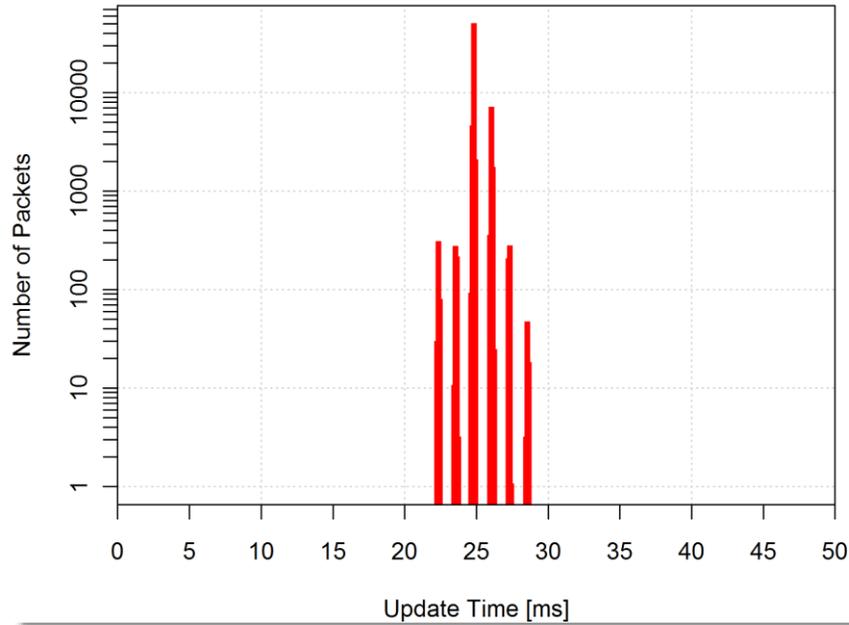
Übertragungszeit und Aktualisierungszeit (Histogramm)

Regelkreis mit proprietäre Multichannel- Lösung (Test 2010)



Aktualisierungszeit (Histogramm)

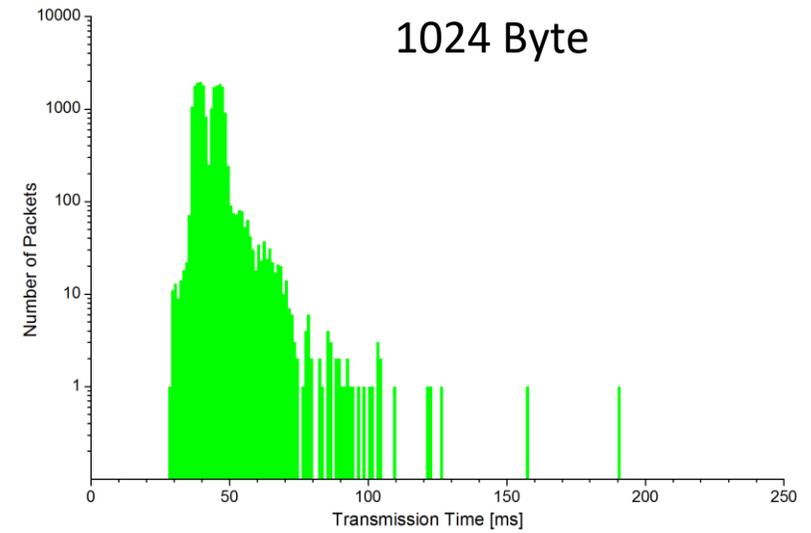
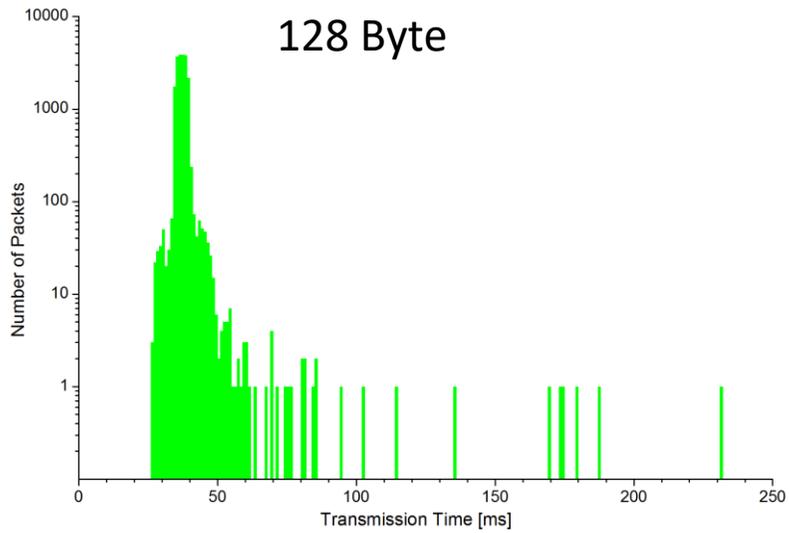
Safety- Anwendung mit proprietäre Funklösung (Test 2013)



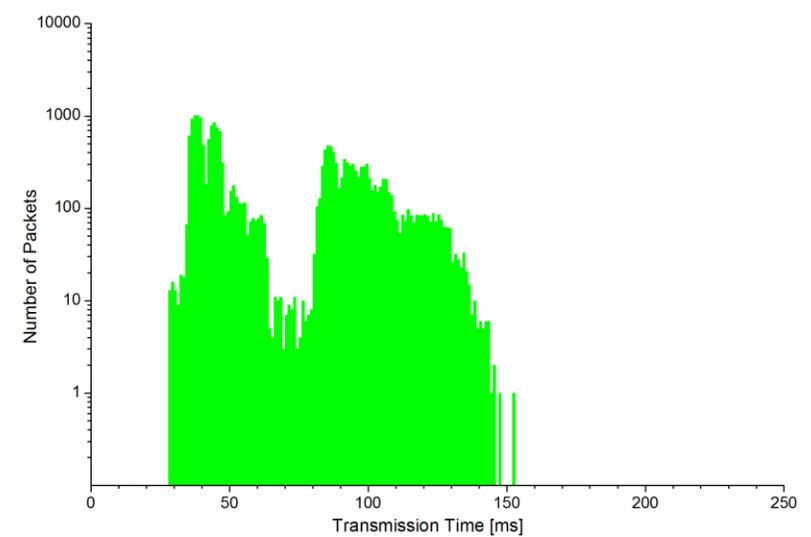
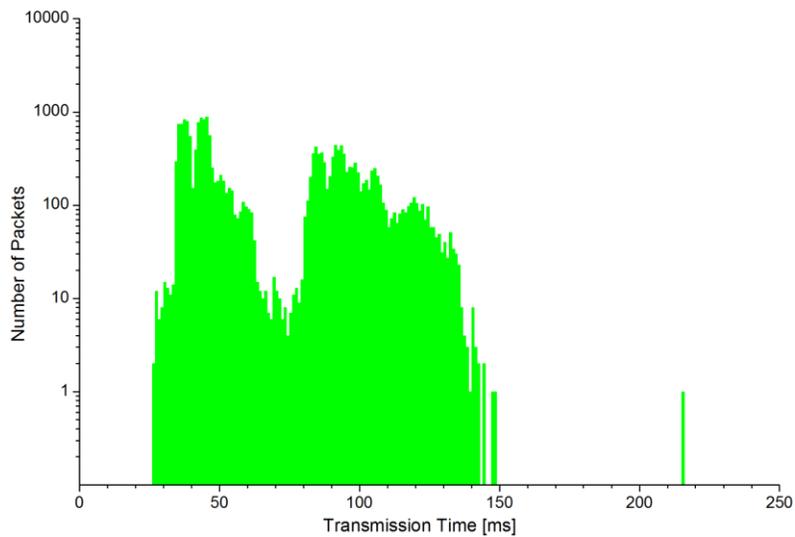
Übertragungszeit (Histogramm) Fieldtest LTE (Test 2016)

Sendezeit-
abstand

100 ms



500 ms



TESTDURCHFÜHRUNG UND TESTERGEBNISSE

Bewertete Kenngröße: TT95 + UTSD

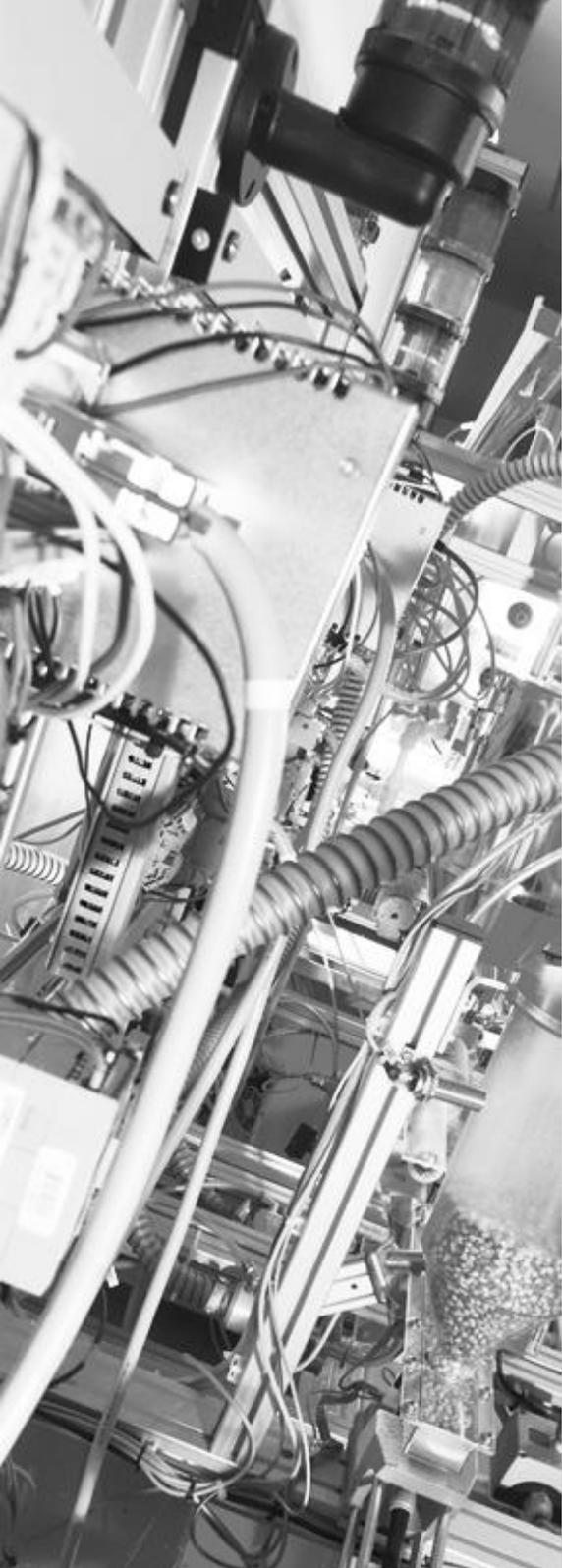
Drei Performance-Klassen

Die Anforderungen der Anwendung werden

- erfüllt. → **Klasse A**
- mit akzeptabler Toleranz erfüllt. → **Klasse B**
- nicht erfüllt. → **Klasse C**



- **Bewertung des Zeit- und Fehlerverhaltens** von Funkkommunikationssystemen in Anwendungen der industriellen Automatisierungstechnik
- Endanwendern von Funkkommunikationssystemen in der Automatisierungstechnik soll ermöglicht werden, Funkkommunikationsnetzwerke verstehen, bewerten, vergleichen und eine **für die Aufgabenstellung geeignete Lösung** auswählen zu können.
- Einheitliche, herstellerübergreifende Bezeichnungen, **Kenngößen** und **Merkmale** werden definiert.
- Hersteller- und technologieunabhängig
- Das Richtlinienblatt wendet sich an **Anwender**, **Planer** und **Hersteller** von Funklösungen für Anwendungen der Industrieautomation.



Prof. Dr.-Ing. Uwe Meier
uwe.meier@th-owl.de

inIT – Institut für industrielle Informationstechnik
Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe

Campusallee 6
D-32657 Lemgo

www.th-owl.de/init