

Plug-and-Work für verteilte Echtzeitsysteme mit Zeitsynchronisation

Sebastian Schriegel

Fraunhofer-Anwendungszentrum Industrial Automation IOSB-INA, Lemgo

Echtzeit 2014: Industrie 4.0 und Echtzeit
20. November 2014 in Boppard am Rhein

- 1/ Motivation: Adaptive Produktionssysteme
- 2/ Zeitsynchronisation in verteilten Echtzeitsystemen
- 3/ Bestimmung von Zeitsynchronisationsgenauigkeit
- 4/ Benchmarking der Methoden
- 5/ Erweiterte Methode und Zusammenfassung

1/ Adaptive Produktionssysteme

- Produktionssysteme heute:
 - Entwickelt für Massenproduktion mit hohem Level der Automation
 - Steuerung mit verteilten Echtzeitsystemen

1/ Adaptive Produktionssysteme

- Produktionssysteme heute:
 - Entwickelt für Massenproduktion mit hohem Level der Automation
 - Steuerung mit verteilten Echtzeitsystemen
- Echtzeitkommunikation: Ethernet, Beispiel: PROFINET IRT
 - IRT: Isochronous Real Time
 - Standard IEC 61158
 - Technologie: zeitgesteuerte, geplante Kommunikation

1/ Adaptive Produktionssysteme

- Produktionssysteme heute:
 - Entwickelt für Massenproduktion mit hohem Level der Automation
 - Steuerung mit verteilten Echtzeitsystemen
- Echtzeitkommunikation: Ethernet, Beispiel: PROFINET IRT
 - IRT: Isochronous Real Time
 - Standard IEC 61158
 - Technologie: zeitgesteuerte, geplante Kommunikation
 - Zeitsynchronisation PTCP (Precision Time Control Protocol)
 - Anforderung an die Genauigkeit: $1\mu\text{s}$ in einer Topologie von 100 kaskadierten Geräten
 - Konfiguration des System mit Werkzeug (z.B. Step7 oder PCWorX)
 - Topologie, Gerätenamen, Zykluszeiten

1/ Adaptive Produktionssysteme

■ Produktionssysteme der Zukunft

- „Cyber Physical Production Systems (CPPS)“ oder „Industrie 4.0“
- Automatisierte Produktion kleiner Losgrößen (lot size one, mass customization)
- Flexible und adaptive Produktionssysteme, häufiger Umbau, Rekonfiguration



1/ Adaptive Produktionssysteme

■ Produktionssysteme der Zukunft

- „Cyber Physical Production Systems (CPPS)“ oder „Industrie 4.0“
- Automatisierte Produktion kleiner Losgrößen (lot size one, mass customization)
- Flexible und adaptive Produktionssysteme, häufiger Umbau, Rekonfiguration

■ Modularität

- Automatische Konfiguration von Modulen und von Echtzeitsystemen erforderlich



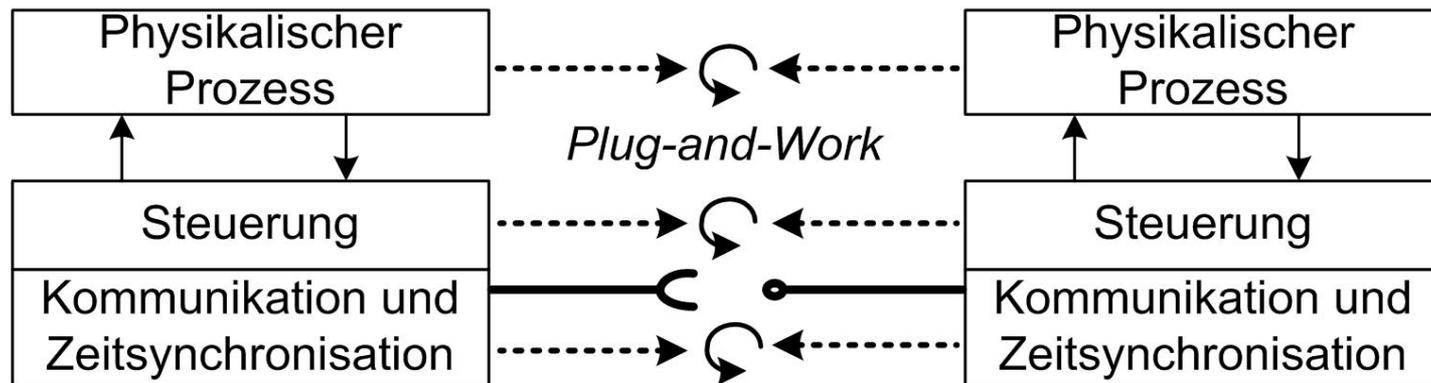
1/ Adaptive Produktionssysteme

■ Produktionssysteme der Zukunft

- „Cyber Physical Production Systems (CPPS)“ oder „Industrie 4.0“
- Automatisierte Produktion kleiner Losgrößen (lot size one, mass customization)
- Flexible und adaptive Produktionssysteme, häufiger Umbau, Rekonfiguration

■ Modularität

- Automatische Konfiguration von Modulen und von Echtzeitsystemen erforderlich

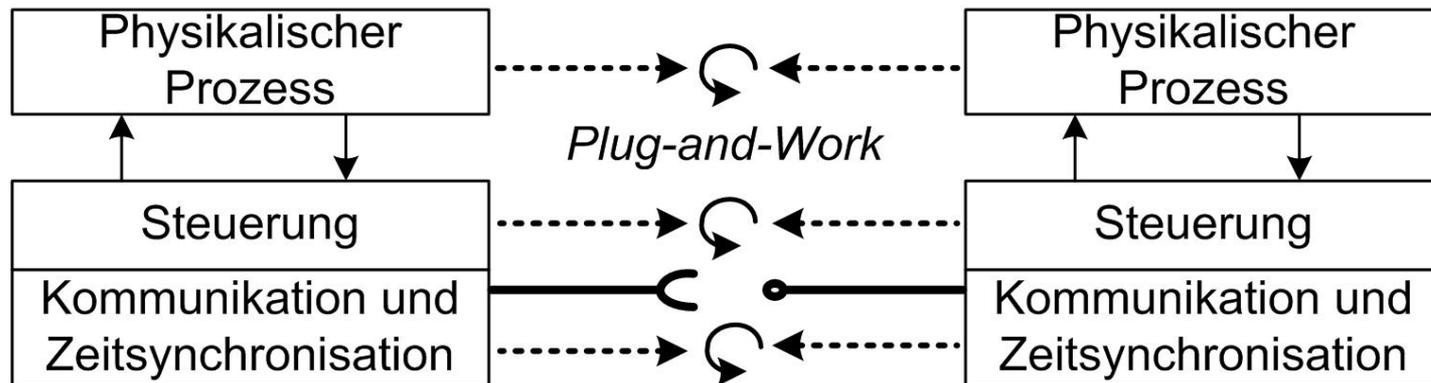


Plug-and-Work von verteilten Echtzeitsystemen mit Zeitsynchronisation

1/ Adaptive Produktionssysteme

Was muss bzgl. Zeitsynchronisation konfiguriert werden?

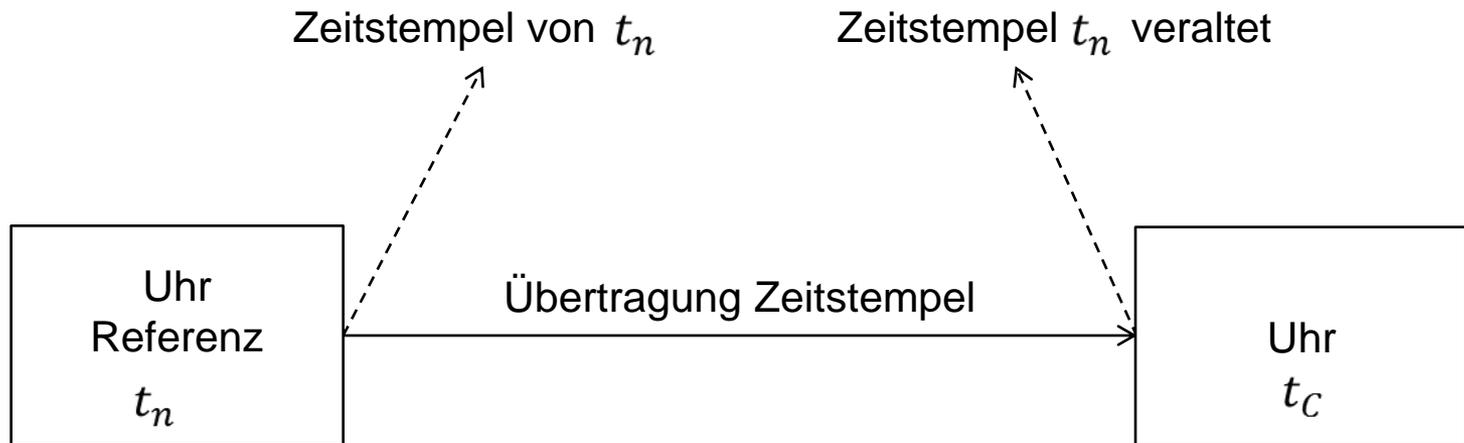
1. Zeitquelle, Zeitmaster
2. Genauigkeit
3. Applikation (Steuerung)



Das Überschreiten von garantierten Genauigkeitsgrenzen führt zu Fehlern oder unerkannten Qualitätsverlusten der Anwendung.

2/ Zeitsynchronisation in verteilten Echtzeitsystemen

Uhren sind nie perfekt und müssen ständig neu synchronisiert werden.



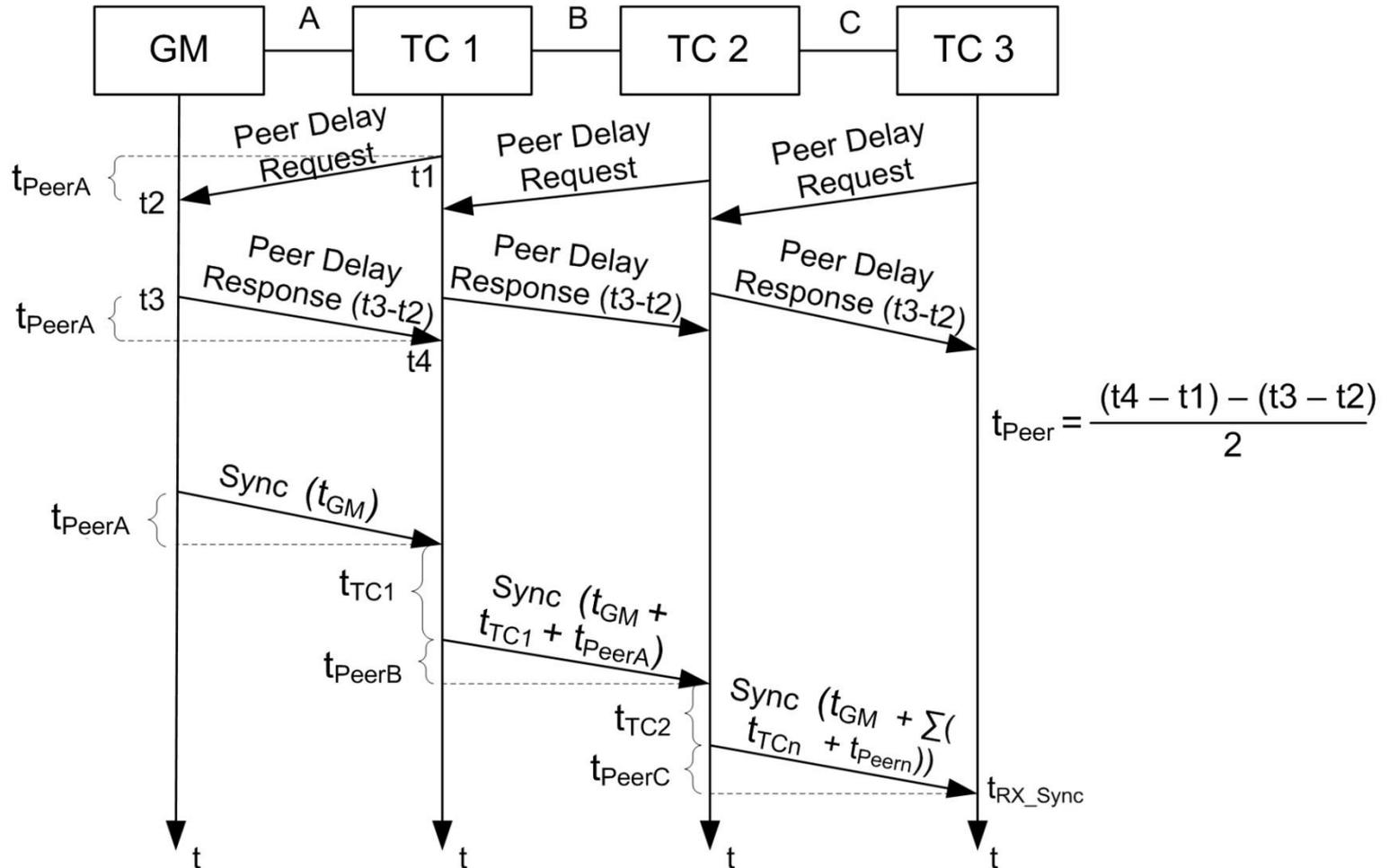
$$t_c(t_n) = \frac{1}{f_o} \int_{t_n} f_o(t_n) dt_n$$

$$f_o = F\{\sigma^2(\tau), \vartheta, \alpha, \dots\}$$

2/ Zeitsynchronisation in verteilten Echtzeitsystemen

PTP - Precision Time Protokoll

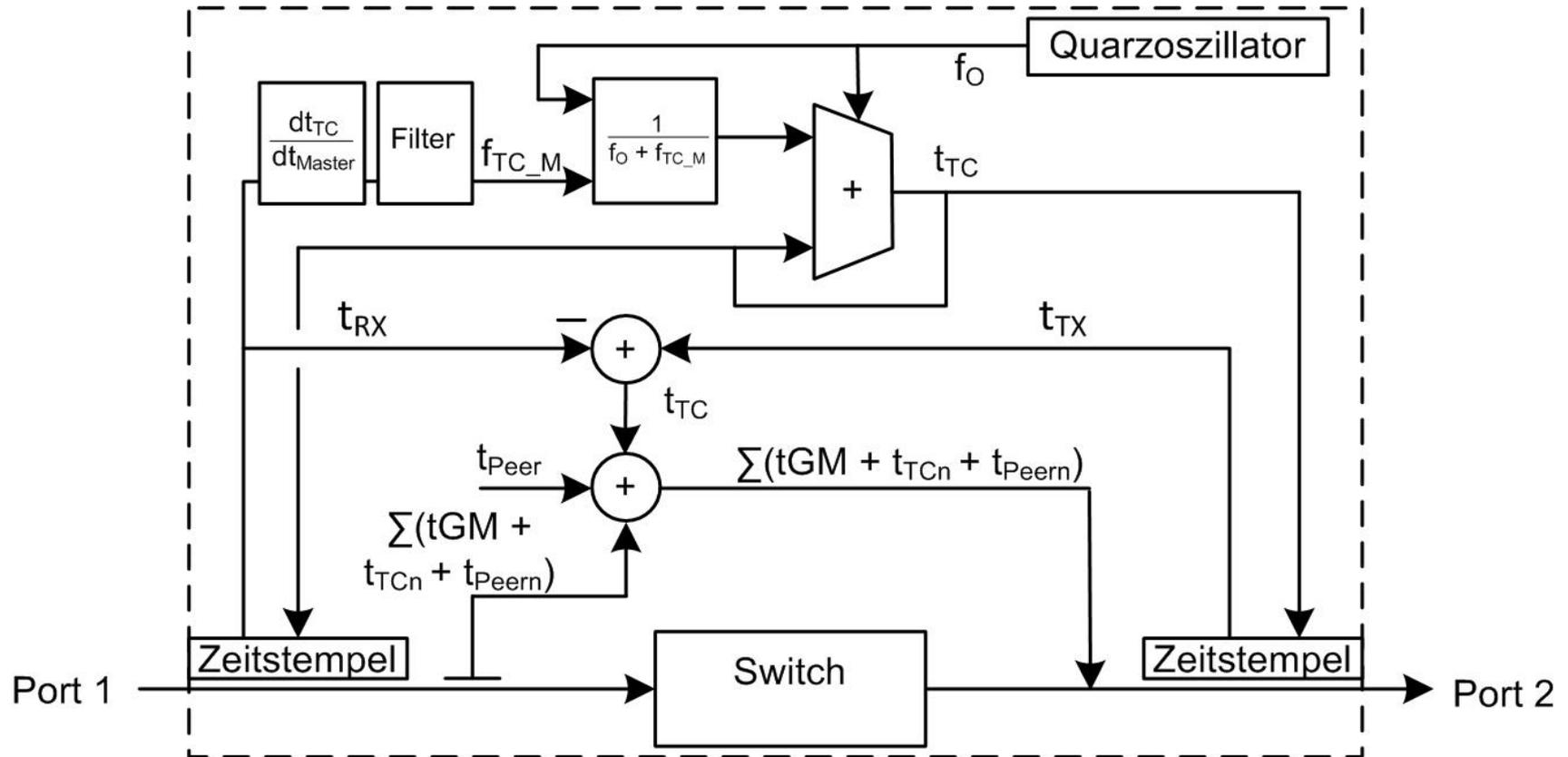
- Messung der Übertragungsverzögerung jeder einzelnen Ethernetleitung (Peer Delay)
- Transparent Clocks (Switch): Korrektur der Zeit beim Weiterleiten



2/ Zeitsynchronisation in verteilten Echtzeitsystemen

PTP - Precision Time Protokoll

- Aufbau einer Transparent Clock

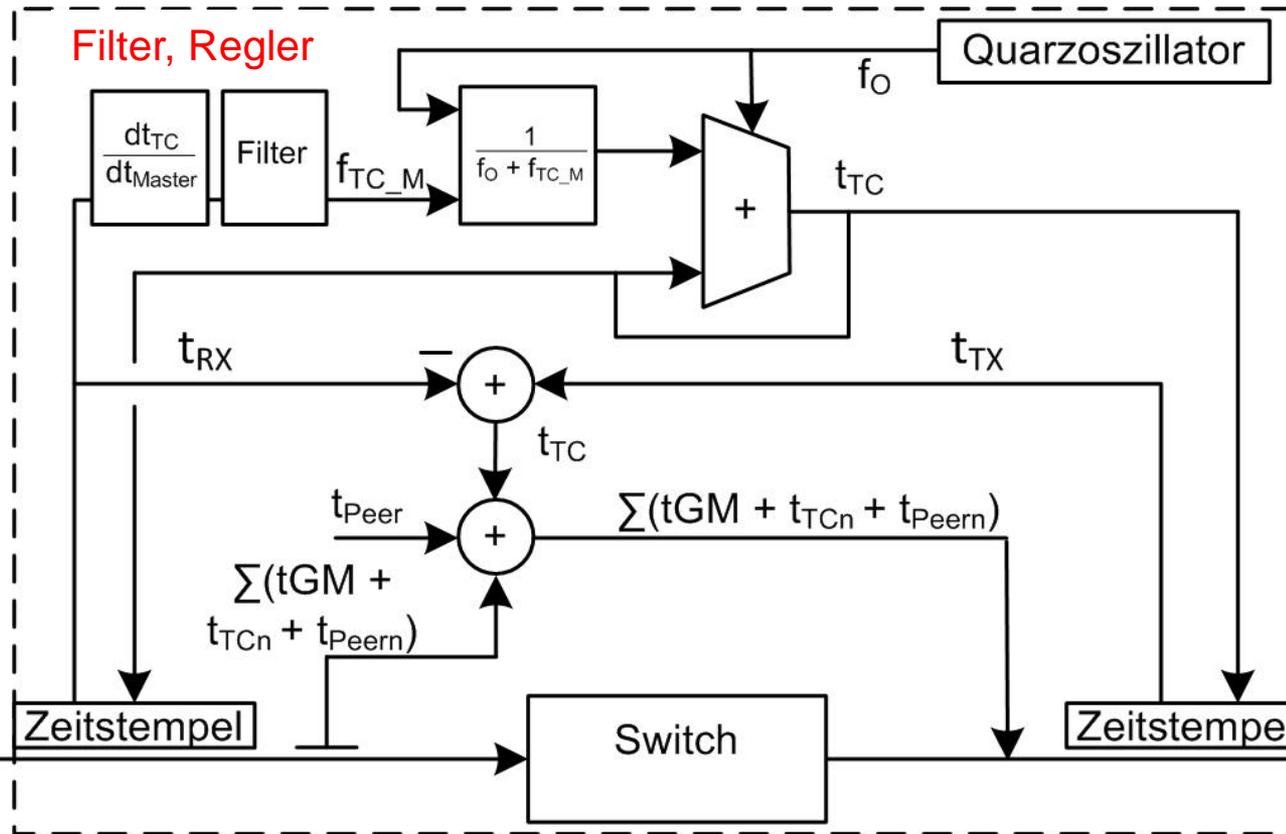


2/ Zeitsynchronisation in verteilten Echtzeitsystemen

PTP - Precision Time Protocol

- Aufbau einer Transparent Clock
- Einflüsse auf Genauigkeit

Versorgungsspannung
Oszillator



Temperatur,
Vibration

Topologie
Leitungslänge

Topologie
Leitungslänge

Auflösung
Signalerkennung
PHYs

Netzlast,
Prioritäten

Auflösung
Signalerkennung
PHYs

Implementierungen in der Praxis: **PTP- Plugfest 2013 in Lemgo**

Leistungsfähigkeit der Geräte sehr unterschiedlich

Synchronisationsleistung von Geräten und Netzwerken heute nicht allgemein bewertbar



Implementierungen in der Praxis: **PTP– Plugfest 2013 in Lemgo**

Leistungsfähigkeit der Geräte sehr unterschiedlich

Synchronisationsleistung von Geräten und Netzwerken heute nicht allgemein bewertbar



PTP erlaubt hochpräzise Zeitsynchronisation, garantiert aber keine Genauigkeit

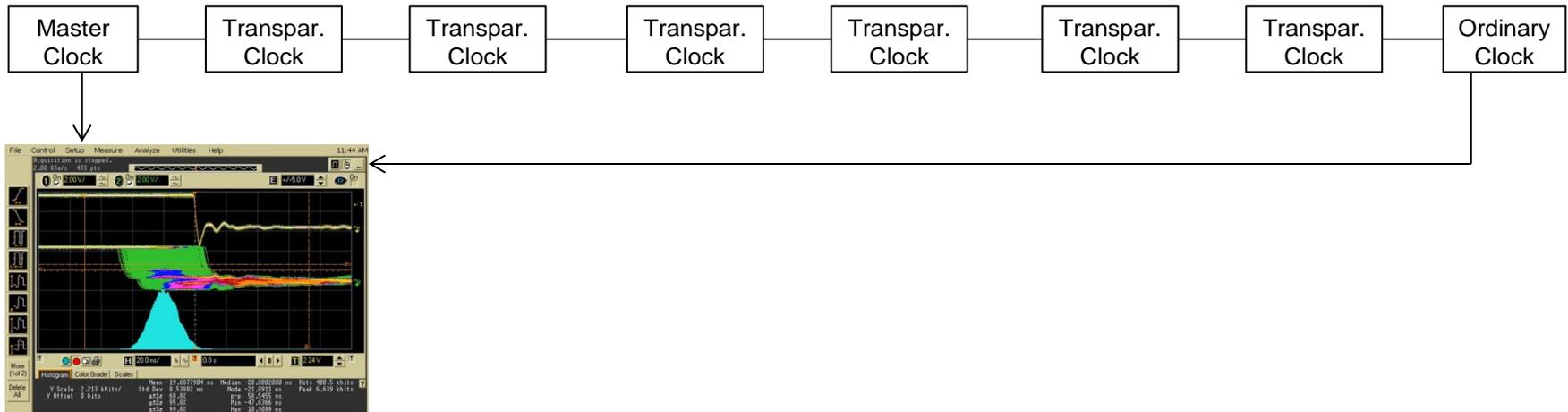
spezifische Synchronisationsgenauigkeit entsteht durch die Eigenschaften der Geräte, die verwendeten Übertragungsmedien, der Netzwerktopologie und den Umgebungsbedingungen

3/ Bestimmung von Zeitsynchronisationsgenauigkeit

Methoden

- Messen
- Simulieren
- Standardleistungstest, Gerätequalifikation
- Systemgrenzen und geplante Netze
- TimeInaccuracy TLV

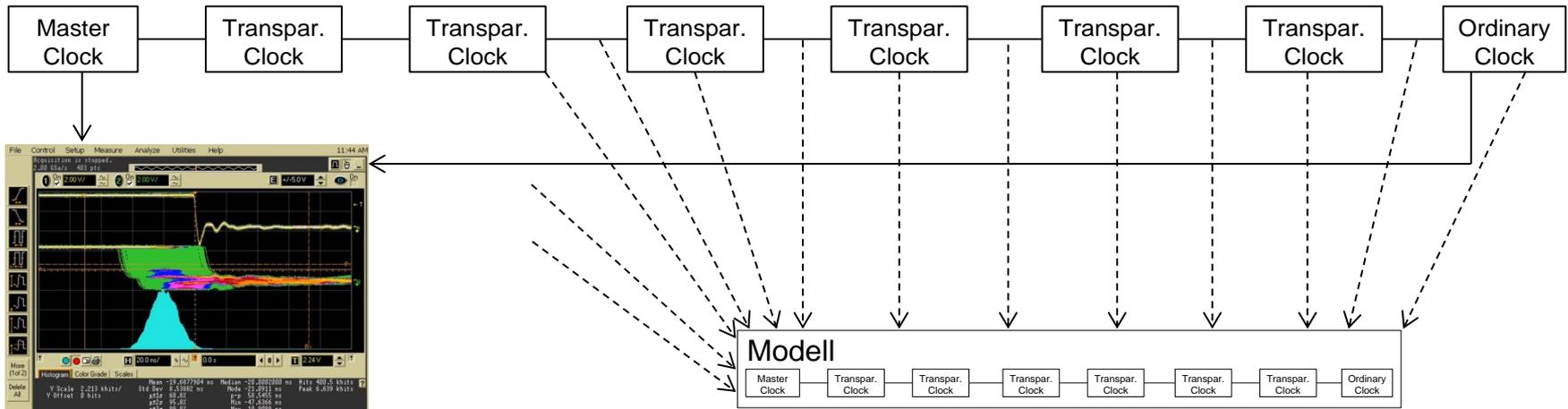
3/ Bestimmung von Zeitsynchronisationsgenauigkeit



Messen:

- Nur Online
- Für Labor/ Plugfest ok
- Ergebnis nur für aktuellen Arbeitspunkt
- Ergebnis nur für aktuelle Konfiguration
- In realen Anwendungen nicht möglich
- Kein Plug-and-Work

3/ Bestimmung von Zeitsynchronisationsgenauigkeit



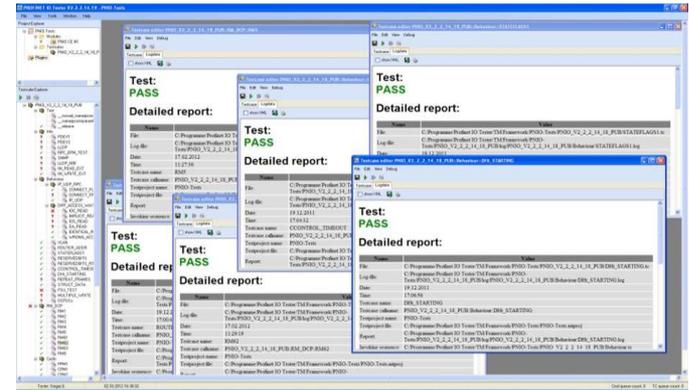
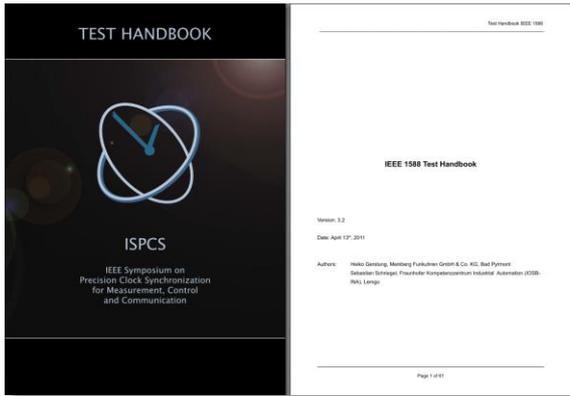
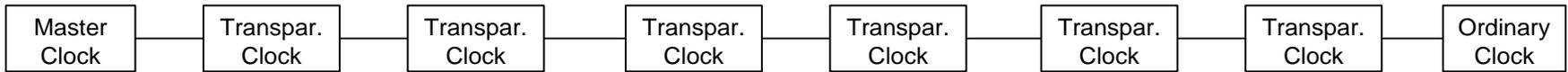
Messen:

- Nur Online
- Für Labor/ Plugfest ok
- Ergebnis nur für aktuellen Arbeitspunkt
- Ergebnis nur für aktuelle Konfiguration
- In realen Anwendungen nicht möglich
- Kein Plug-and-Work

Simulation:

- Offline (Netzwerkplanung)
- Nur möglich für vollständig bekannte Topologie, Geräte und Umgebungsbedingungen
- Nur durch Experten mit hohem Aufwand
- Ergebnis nur für geplante/ simulierte Konfiguration
- Kein Plug-and-Work

3/ Bestimmung von Zeitsynchronisationsgenauigkeit



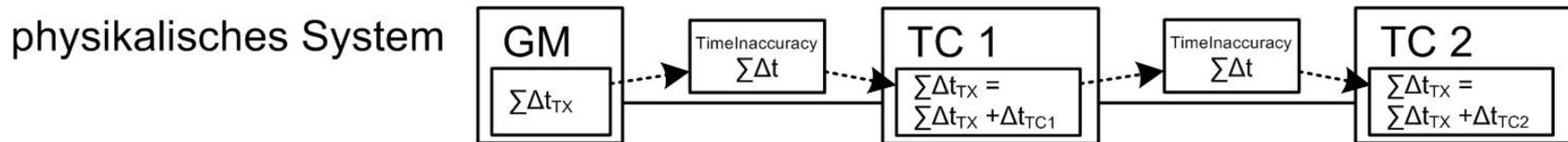
Standardleistungstests und geschlossene, begrenzte Systeme mit Herstellergarantien

- Systemhersteller übernimmt Gerätequalifikationen und gibt Leistungsgarantien
 - definierte Systemgrenzen (z.B. maximale Topologie) und Umgebungsbedingungen
 - definierte Systemkomponenten mit bekannten, qualifizierten Leistungseigenschaften
- Beispiel PROFINET IRT
- Systemanwender benötigt kein Synchronisationsexpertenwissen
- Statische Auslegung der Genauigkeitsgarantie/ Synchronisationsleistung nicht skaliert verwendbar
- Plug-and-Work innerhalb der Systemgrenzen

3/ Bestimmung von Zeitsynchronisationsgenauigkeit

Verteilte Berechnung mit TimeInaccuracy TLV

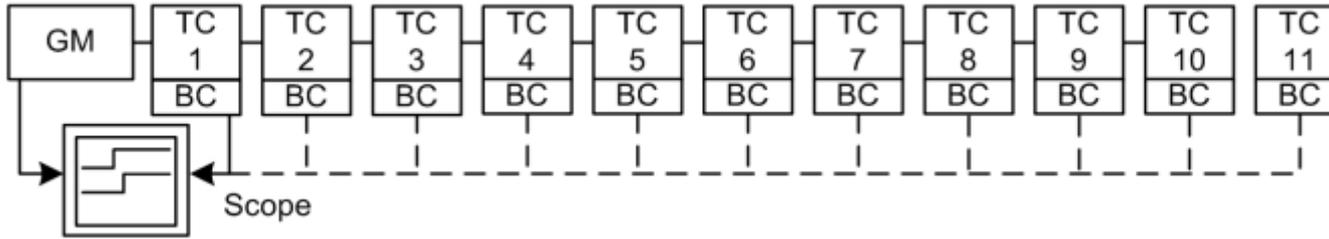
- Worst Case Ungenauigkeit wird in jedem Switch auf ein Feld akkumuliert
- Plug-and-Work



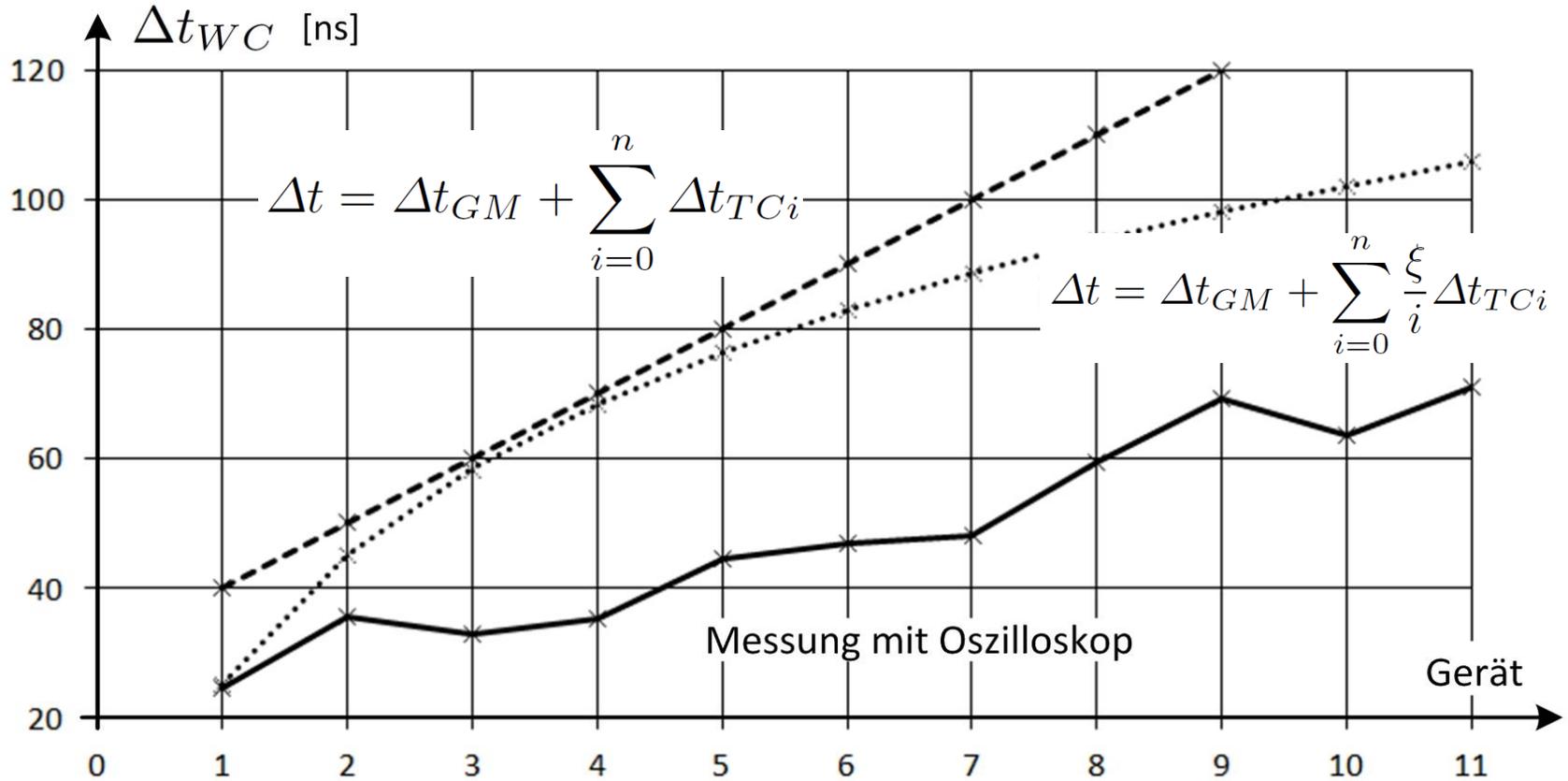
$$\Delta t = \Delta t_{GM} + \sum_{i=0}^n \Delta t_{TCi}$$

$$\Delta t = \Delta t_{GM} + \sum_{i=0}^n \xi_i \Delta t_{TCi}$$

4/ Benchmarking der Methoden



4/ Benchmarking der Methoden

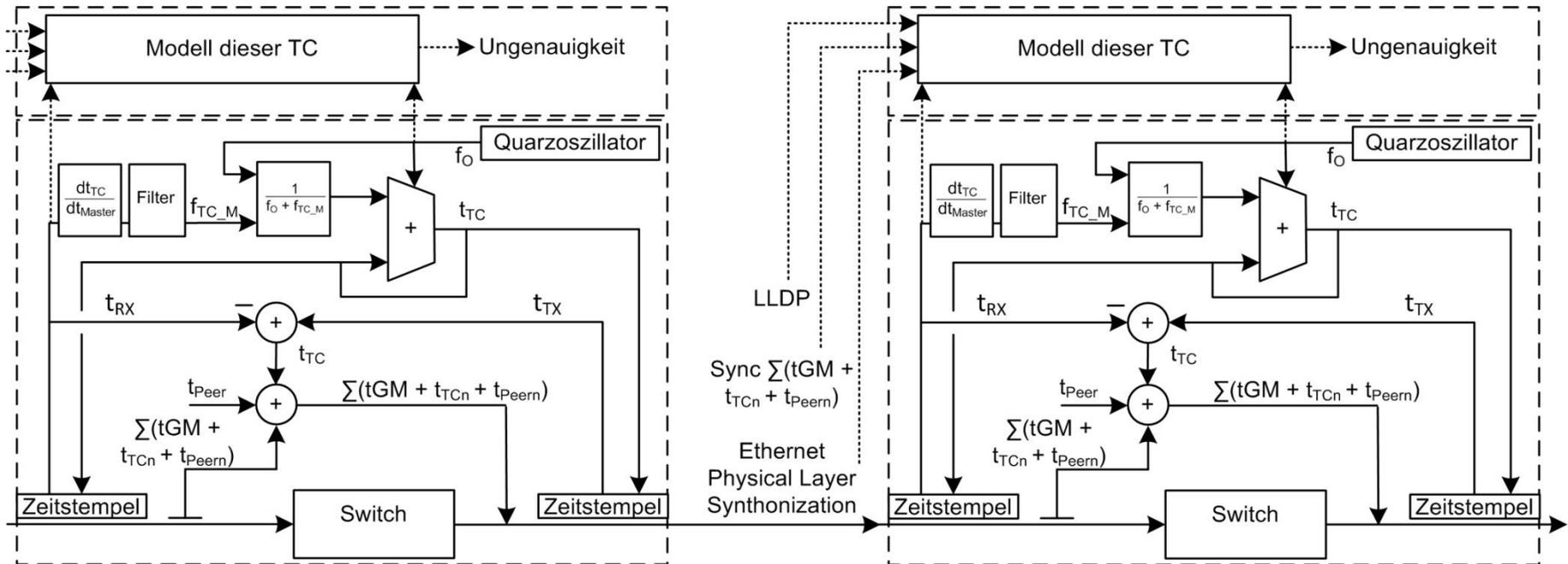


5/ Erweiterte Methode

adaptive Genauigkeitsbestimmung mit TimeInaccuracy TLV

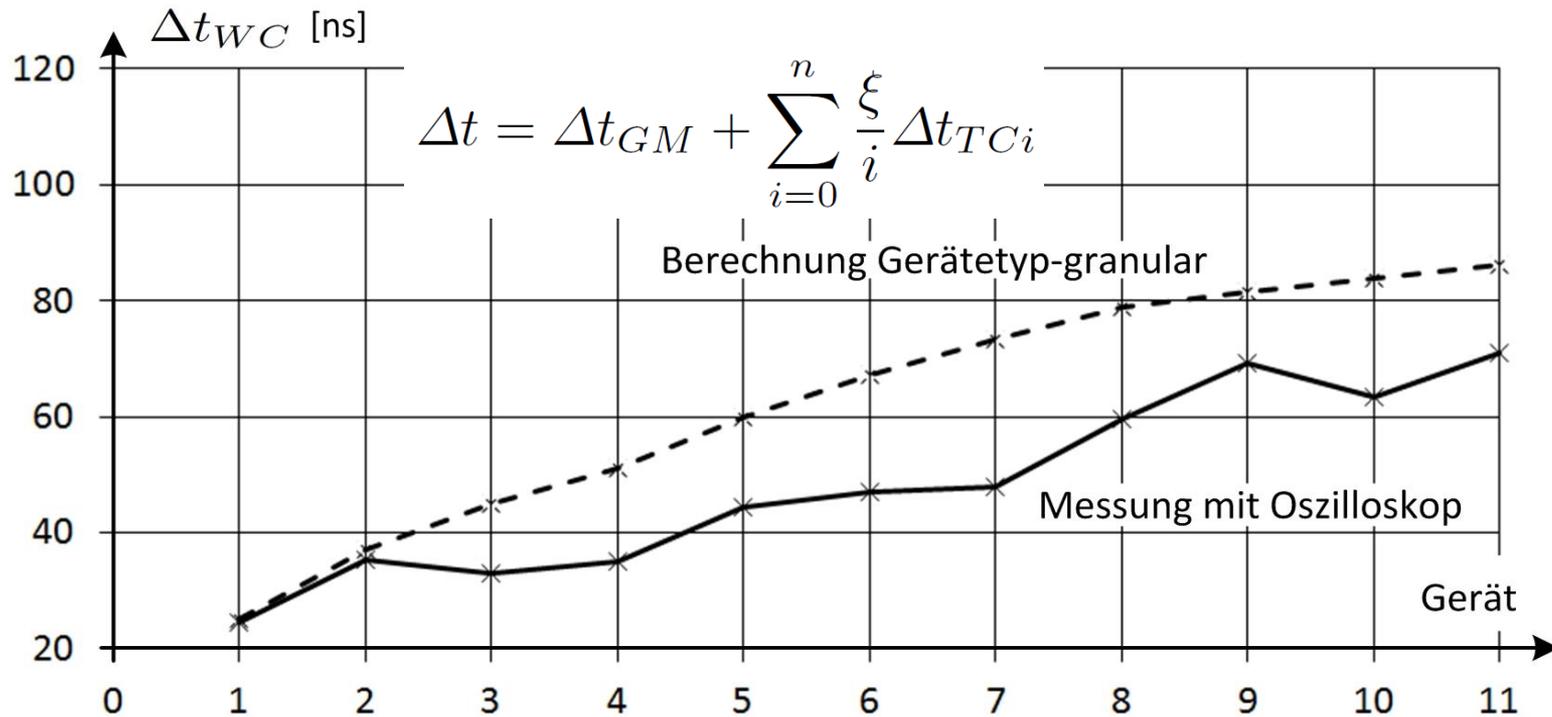
$$\Delta t = \Delta t_{GM} + \sum_{i=0}^n \frac{\xi}{i} \Delta t_{TCi}$$

$$\Delta t = \Delta t_{GM} + \sum_{i=0}^n \frac{\xi}{i} \Delta t_{TCi}$$



5/ Erweiterte Methode

adaptive Genauigkeitsbestimmung mit TimeInaccuracy TLV



Zusammenfassung

- Produktionssysteme der Zukunft
 - „Cyber Physical Production Systems (CPPS)“ oder „Industrie 4.0“
 - Automatisierte Produktion kleiner Losgrößen (lot size one, mass customization)
 - Flexible und adaptive Produktionssysteme
- Autokonfiguration von hochsynchronen verteilten Echtzeitsystemen
- Bestimmung der Synchronisationsgenauigkeit
 - Messung, Simulation
 - Kein Plug-and-Work möglich
 - Standardleistungstests, Standard-Timelnaccuracy TLV
 - Plug-and-Work, nicht skalierbar, schlechte Bestimmungsgenauigkeit, Verlust von Anwendungsleistung
 - Neuer Ansatz der adaptiven Genauigkeitsbestimmung mit Timelnaccuracy TLV
 - Potential einer leistungsfähigen Plug-and-Work-Lösung
 - Weitreichende Untersuchungen notwendig

Vielen Dank!

Sebastian Schriegel

Fraunhofer-Anwendungszentrum Industrial Automation IOSB-INA, Lemgo

sebastian.schriegel@iosb-ina.fraunhofer.de

