

# Kommunikationsanforderungen an verteilte Echtzeitsysteme in der Fertigungsautomatisierung

Roman Just, Henning Trsek

inIT - Institut Industrial IT  
Hochschule Ostwestfalen-Lippe  
32657 Lemgo  
henning.trsek@hs-owl.de

# Agenda

1. Einleitung
2. Fertigungsanlage
3. Datenerfassung und -auswertung
4. Ergebnisse
5. Fazit und Ausblick

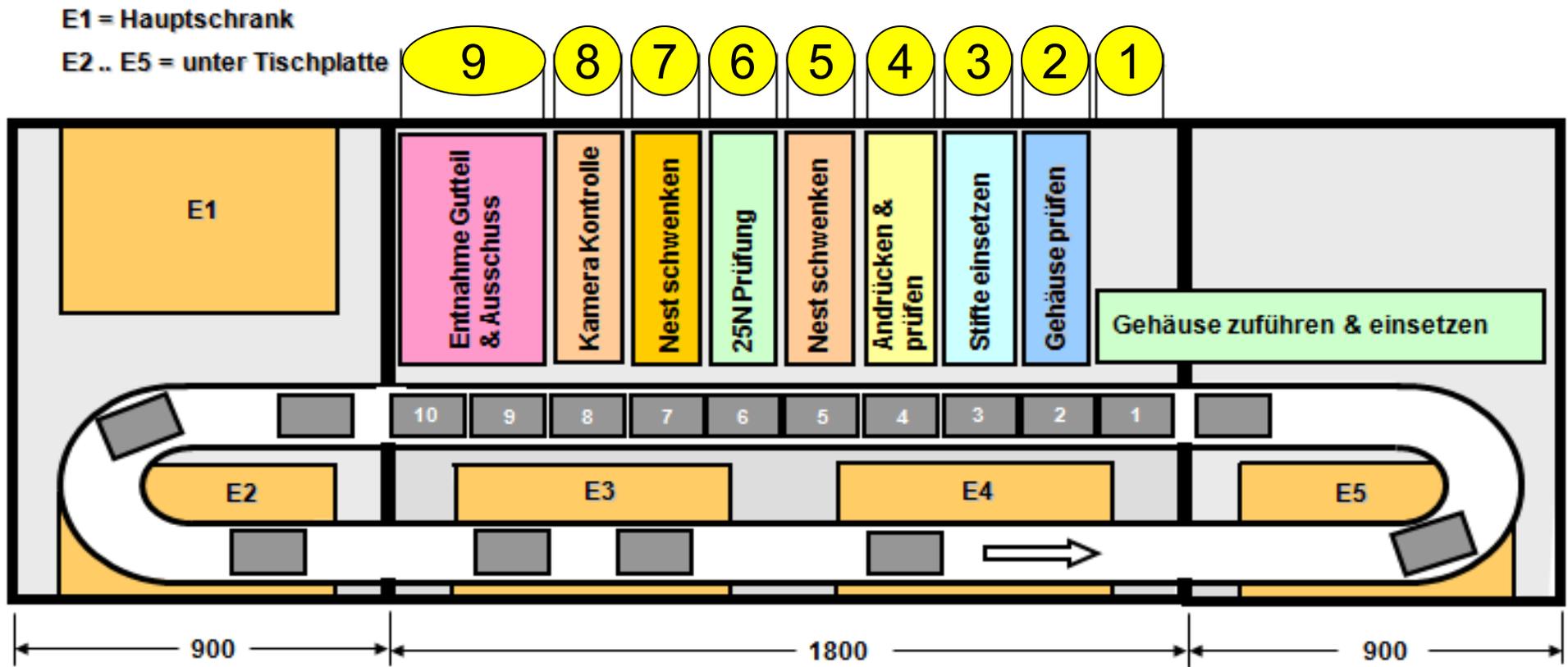
# Kommunikationsanforderungen - Warum?



- Hohe zeitliche Anforderungen in der Fertigungsautomatisierung
- Anforderungen von Fertigungsprozessen häufig unbekannt
  - Maschinenumbau
  - Trend zu drahtlosen Technologien
- Aufzeichnung der Kommunikation einer laufenden Anlage
  - Bestimmung zeitlicher Anforderungen
  - Entwicklung von Simulationsmodellen
- Bekannter Ansatz im Bereich TCP/IP

# Skizze des Untersuchungsgegenstands

→ Einleitung → **→ Fertigungsanlage** → Datenerfassung → Ergebnisse → Fazit



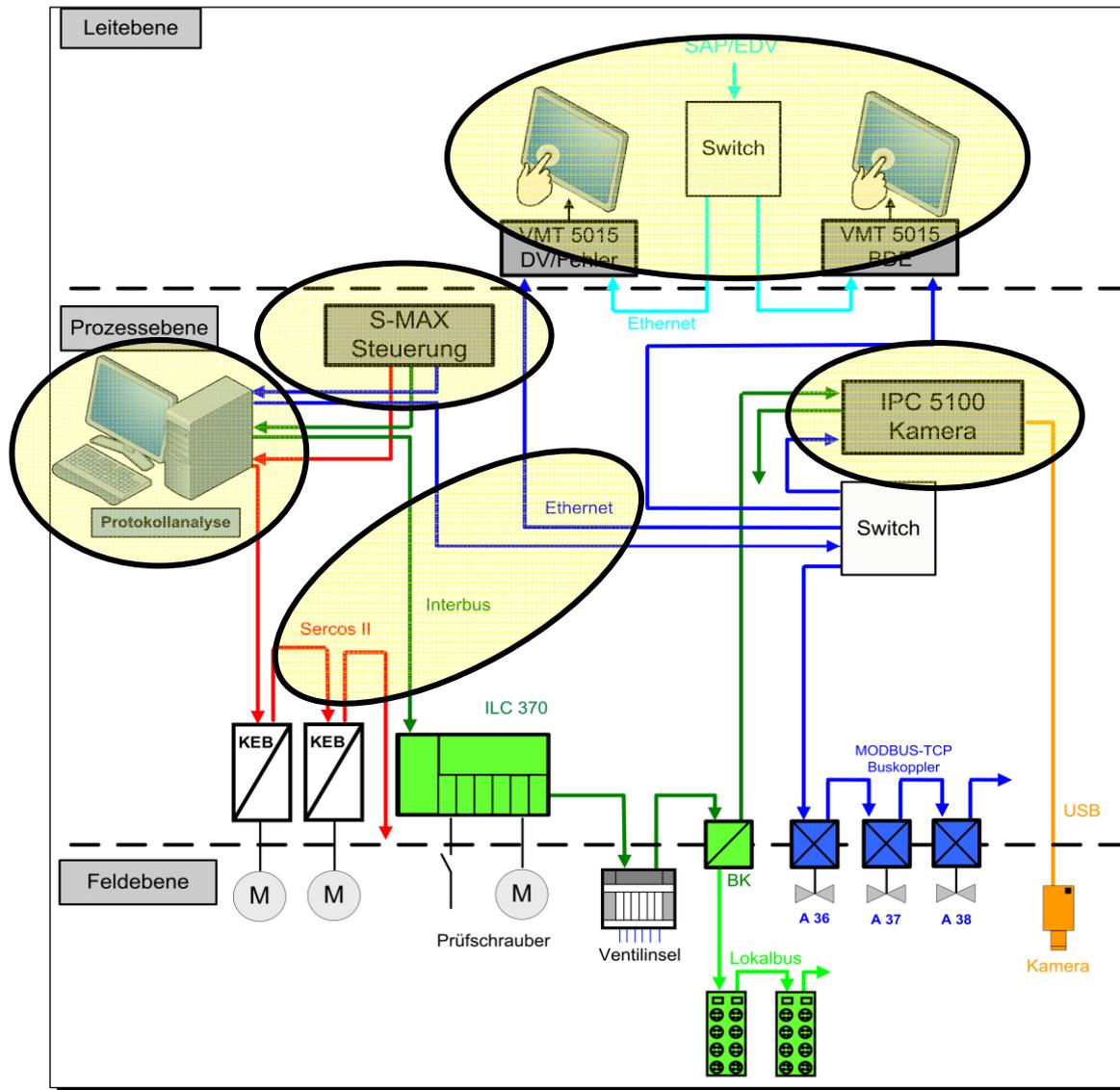
# Fertigungsanlage

→ Einleitung → **Fertigungsanlage** → Datenerfassung → Ergebnisse → Fazit



# Buskonfiguration

→ Einleitung → **Fertigungsanlage** → Datenerfassung → Ergebnisse → Fazit

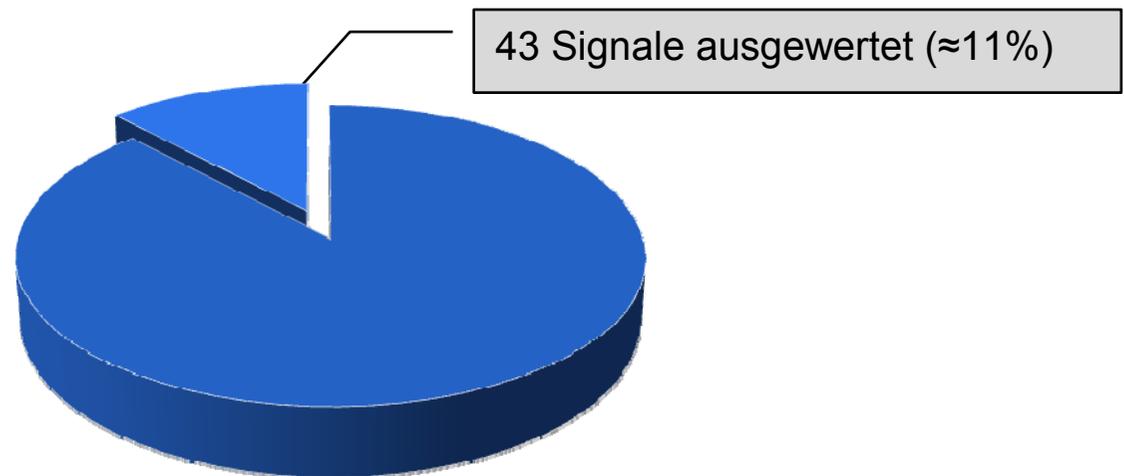


- Drei Bussysteme
  - Interbus
  - Modbus/TCP
  - Sercos II
- Zentrale Steuerung (S-MAX)
- HMIs für die Bedienung (VMT 5015)
- IPC 5100 für die Bildauswertung
- Protokollanalysator (alle drei Bussysteme)

# Gesamtüberblick

→ Einleitung → **Fertigungsanlage** → Datenerfassung → Ergebnisse → Fazit

## Aktor-/Sensorsignale



Insgesamt ca. 400 Signale, verteilt auf alle drei Bussysteme

# Methodik (Workflow)

→ Einleitung → Fertigungsanlage → **Datenerfassung** → Ergebnisse → Fazit

*Definition der Leistungskenngrößen  
(hier: Zwischenankunftszeit, Latenz)*

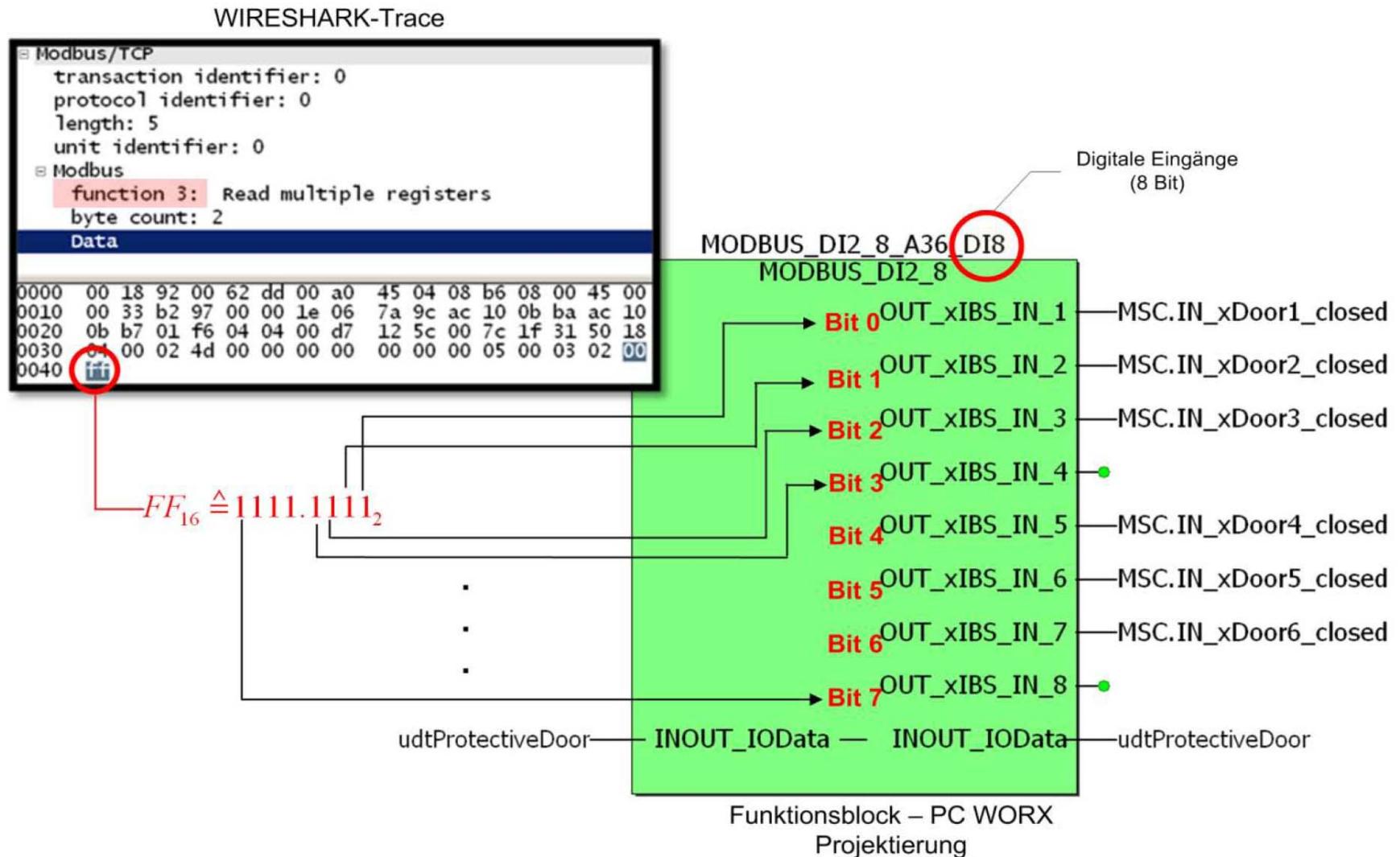
*Extraktion der Sensor-/Aktorsignale  
(Projektierung, Schaltplan)*

*Festlegung Stichprobenumfang  
(Messdauer)*

*Durchführung der Messungen*

*Ermittlung der zeitlichen Anforderungen  
(Sensor-/Aktorsignale)*

# Methodik (Workflow)



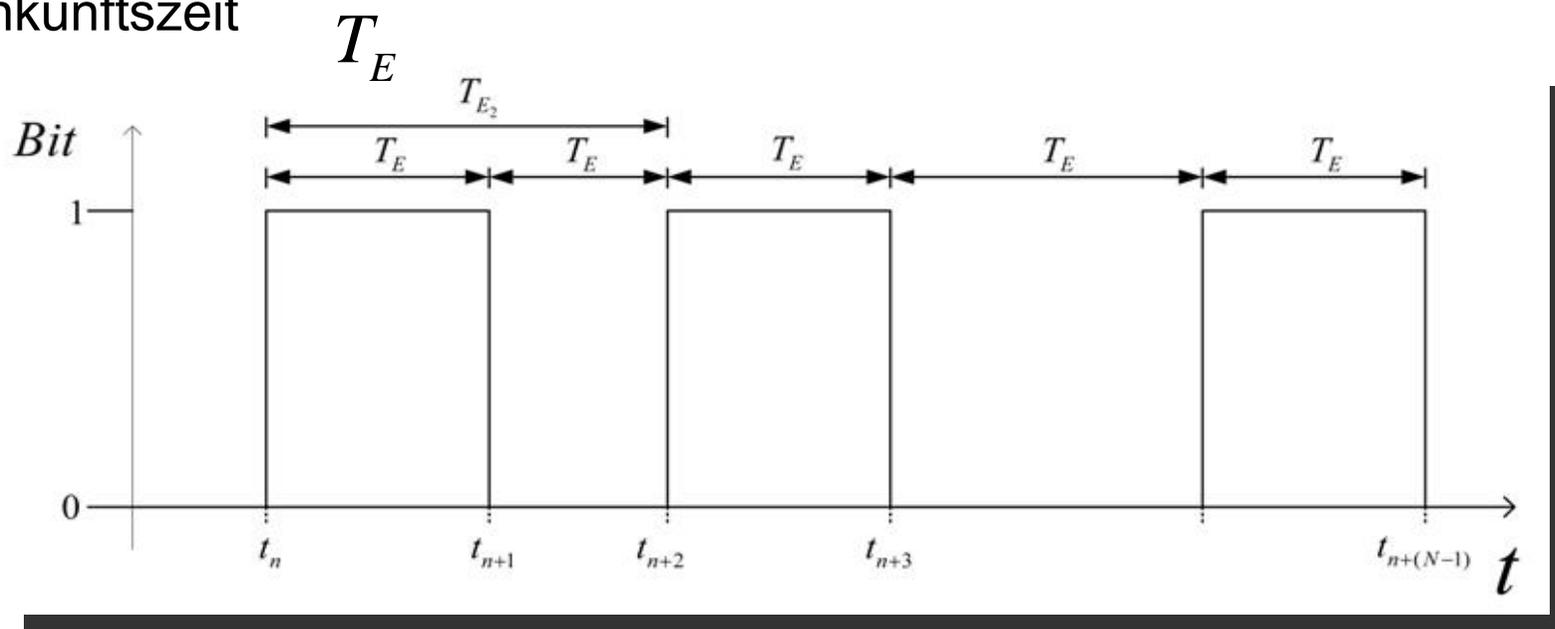
# Metriken (1)

→ Einleitung → Fertigungsanlage → **Datenerfassung** → Ergebnisse → Fazit

## Anforderungsbereiche

- Hohe Anforderungen ( $\leq 100 \text{ ms}$ )
- Mittlere Anforderungen ( $\leq 1 \text{ s}$ )
- Niedrige Anforderungen ( $\geq 1 \text{ s}$ )

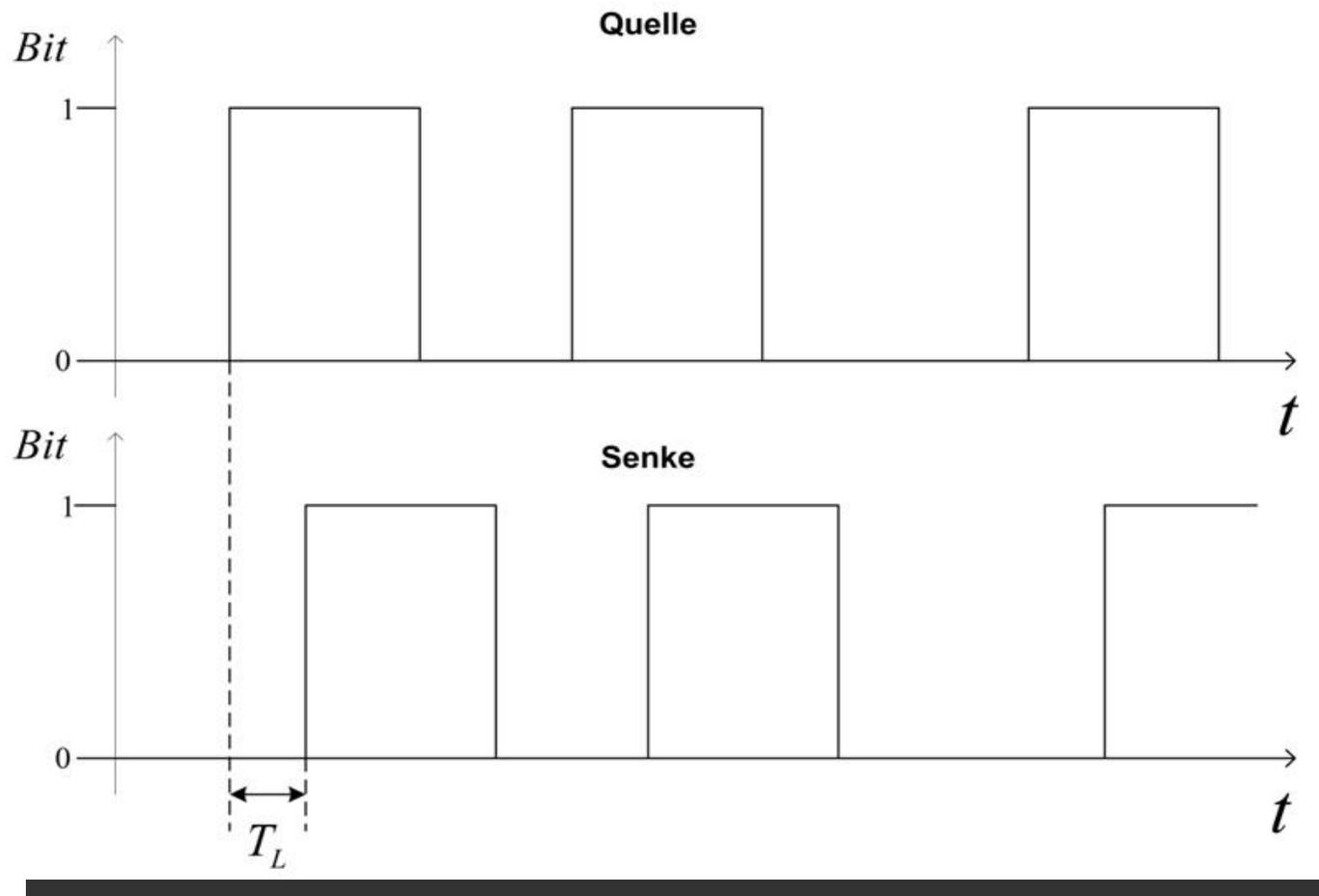
## Zwischenankunftszeit



$$T_{E_j} = t_{n+j} - t_n \quad \text{mit} \quad 1 \leq n \leq N-j \quad \text{und} \quad 1 \leq j \leq N-1$$

# Metriken (2)

Latenzzeit  $T_L$



# Messszenarien



## 1. Szenario

- Dauer ca. 2 Stunden
- nur auf Interbus und Modbus-TCP gemessen
- Messdauer im Vorfeld bestimmt

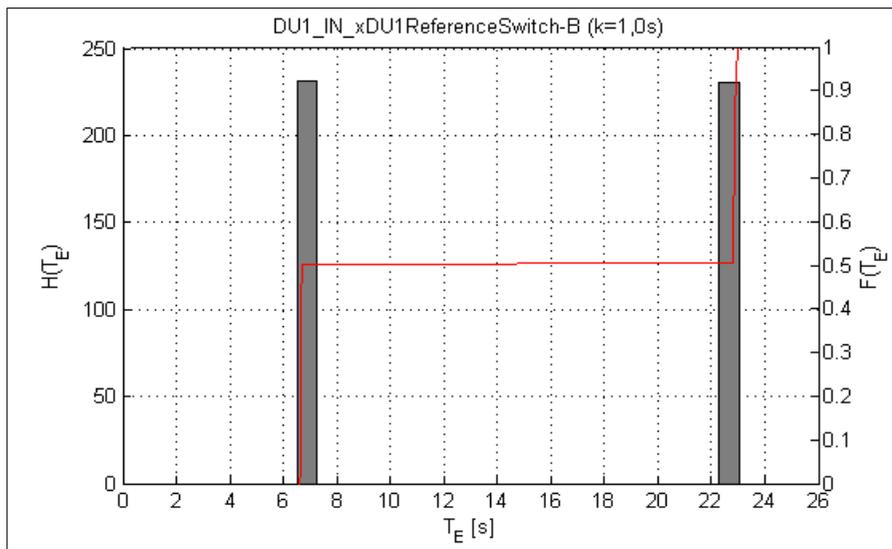
## 2. Szenario

- Dauer ca. 7 Minuten
- alle drei Bussysteme für die Messung herangezogen (Interbus, Modbus/TCP und Sercos)
- Messdauer aufgrund Einschränkungen des Protokollanalysators

# Zwischenankunftszeiten Referenz (Station 1)

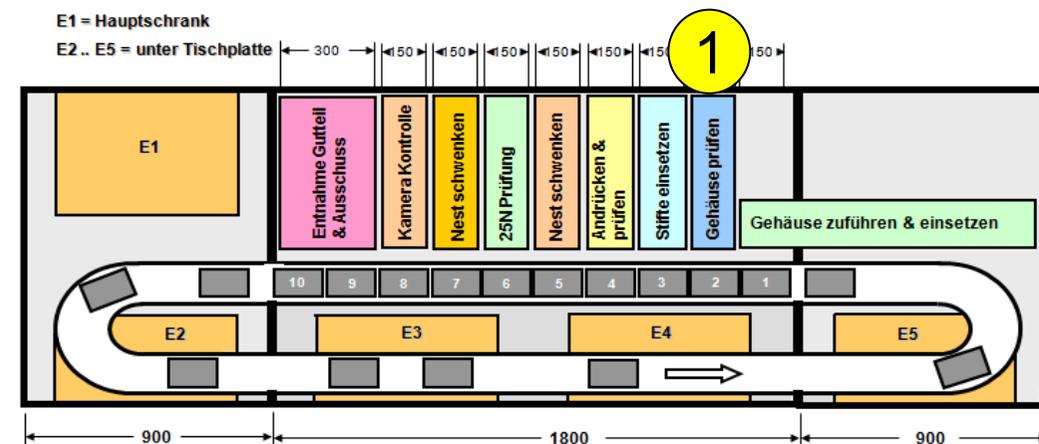
→ Einleitung → Fertigungsanlage → Datenerfassung → **Ergebnisse** → Fazit

## Modbus/TCP



- DU1\_IN\_xDU1ReferenceSwitch-B
- Referenzschalter am Teile-Greifer der ersten Station
- Geringe zeitliche Anforderungen
- Periodisches Signal

- Histogramm  $H(T_E)$
  - Empirische Verteilungsfunktion (ECDF)  $F(T_E)$
- Zwischenankunftszeit  $T_E$

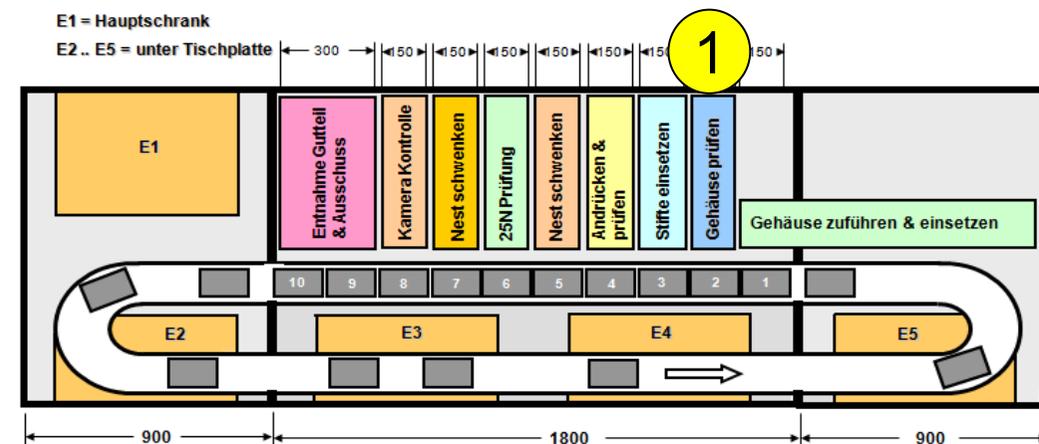
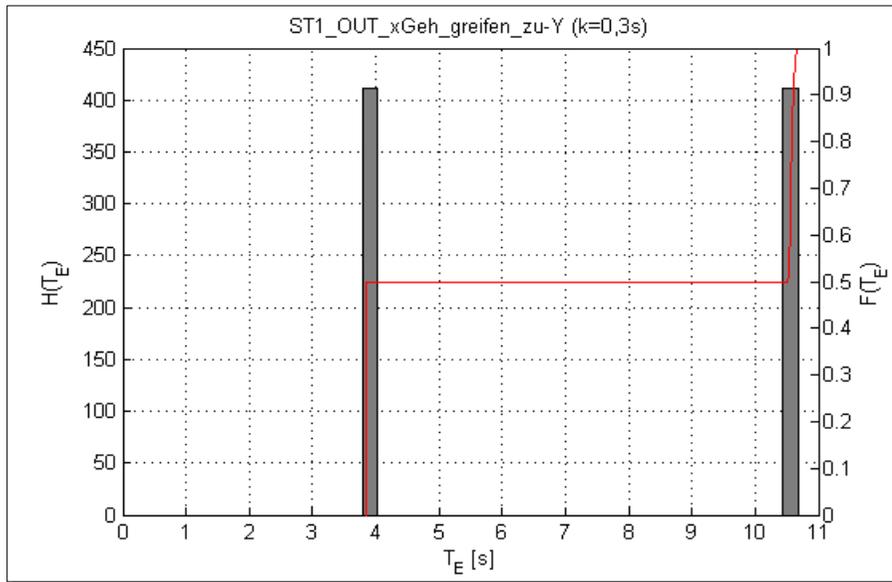


# Zwischenankunftszeiten Greifer (Station 1)

→ Einleitung → Fertigungsanlage → Datenerfassung → **Ergebnisse** → Fazit

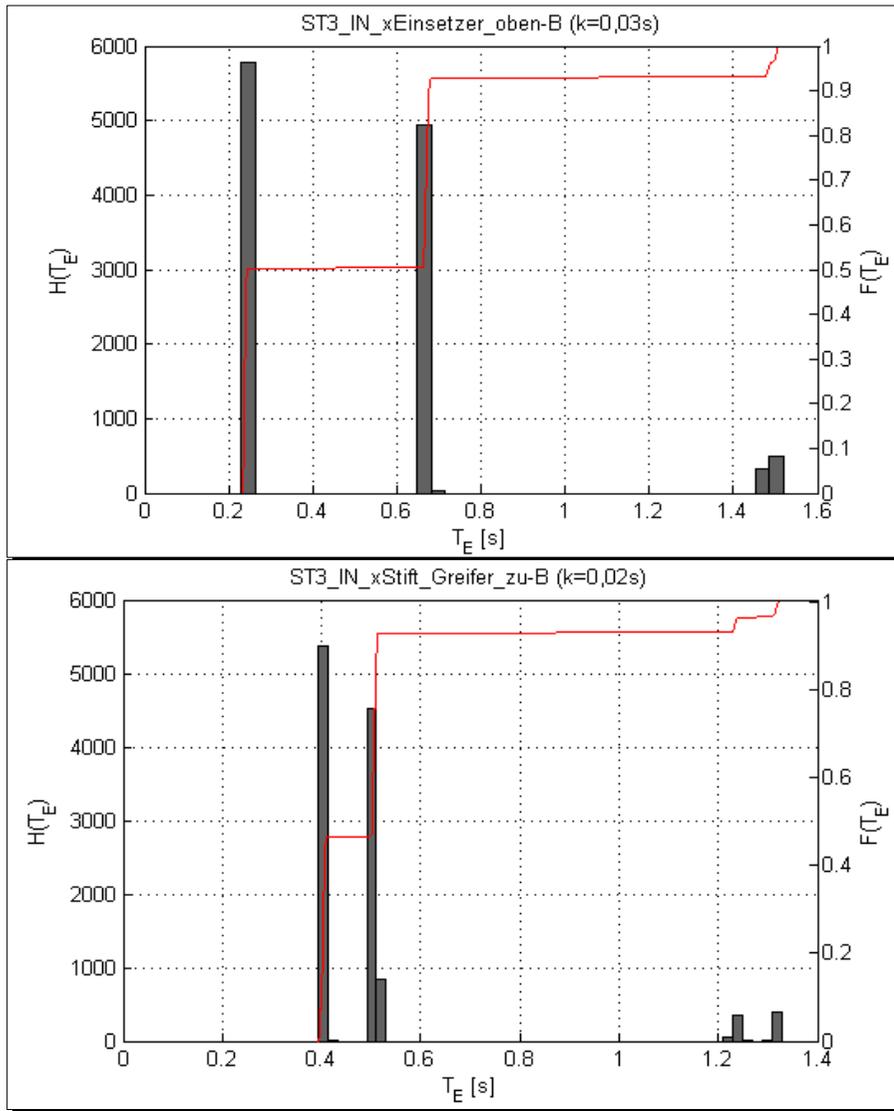
## Interbus

- ST1\_OUT\_xGeh\_greifen\_zu-Y
- Aktorsignal Station 1, Werkstück mit dem Greifer aus der Förderrinne greifen
- geringe zeitliche Anforderungen



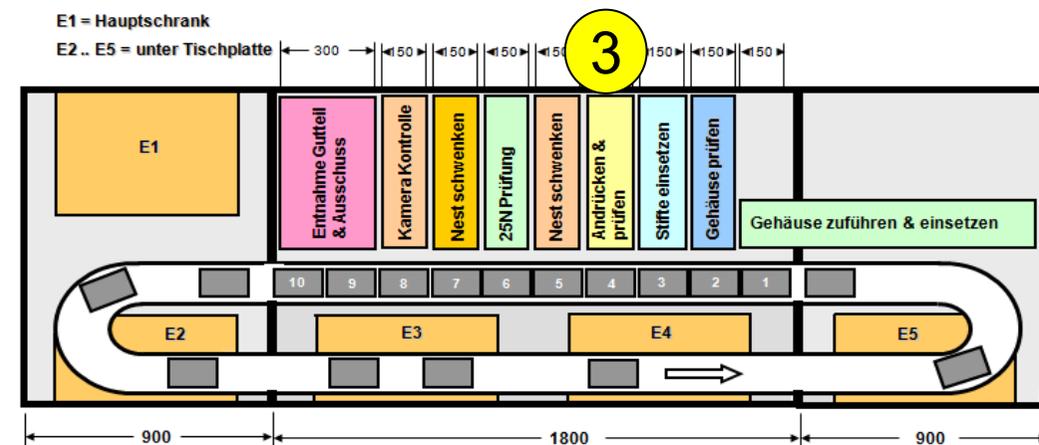
# Zwischenankunftszeiten Sensorsignale (Station 3)

→ Einleitung → Fertigungsanlage → Datenerfassung → **Ergebnisse** → Fazit



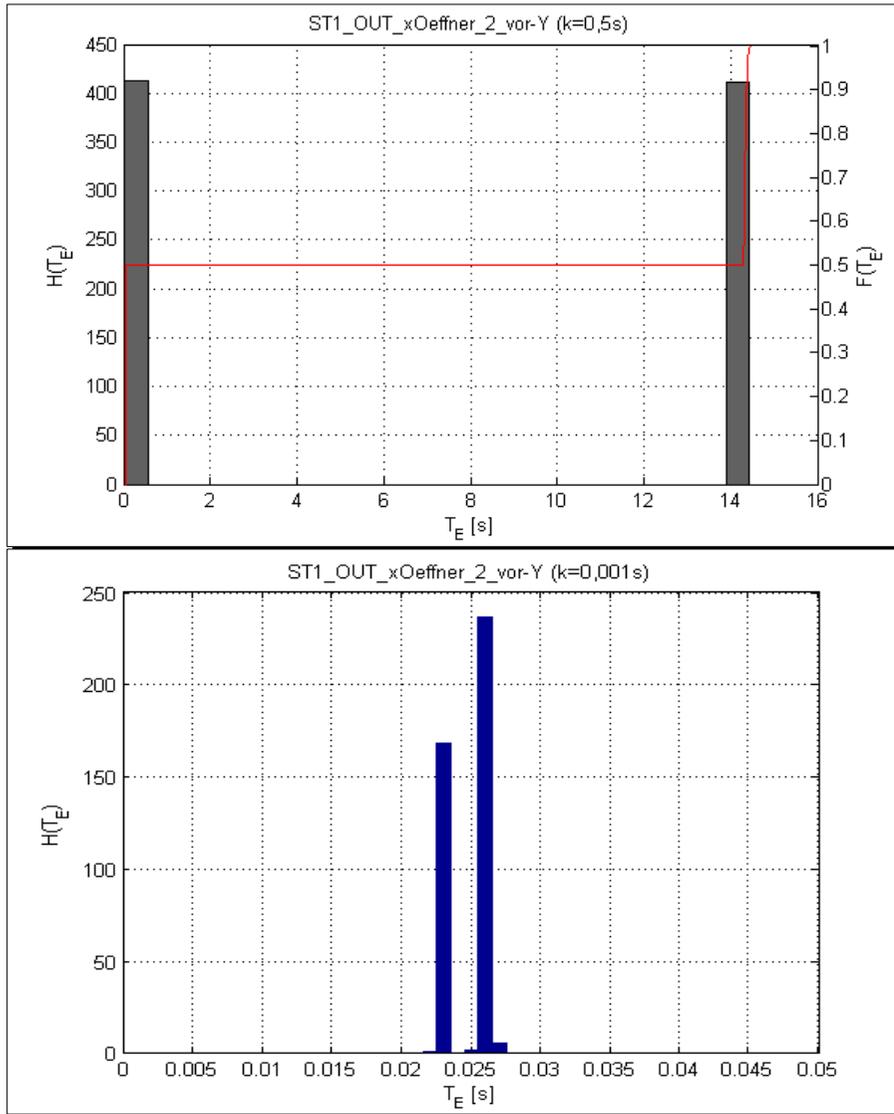
## Interbus

- ST3\_IN\_xEinsetzer\_oben-B
- Sensorsignal Station 3, Einsetzer hat die Sollposition erreicht (oberer Sensor)
- mittlere zeitliche Anforderungen
- ST3\_IN\_xStift\_Greifer\_zu-B
- Sensorsignal Station 3, Stifte-Greifer geschlossen
- mittlere zeitliche Anforderungen



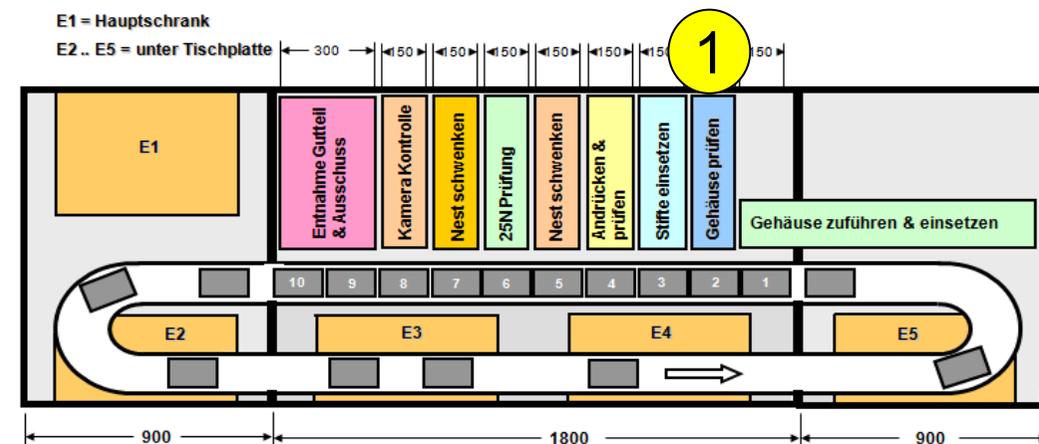
# Zwischenankunftszeiten Nestöffner (Station 1)

→ Einleitung → Fertigungsanlage → Datenerfassung → **Ergebnisse** → Fazit



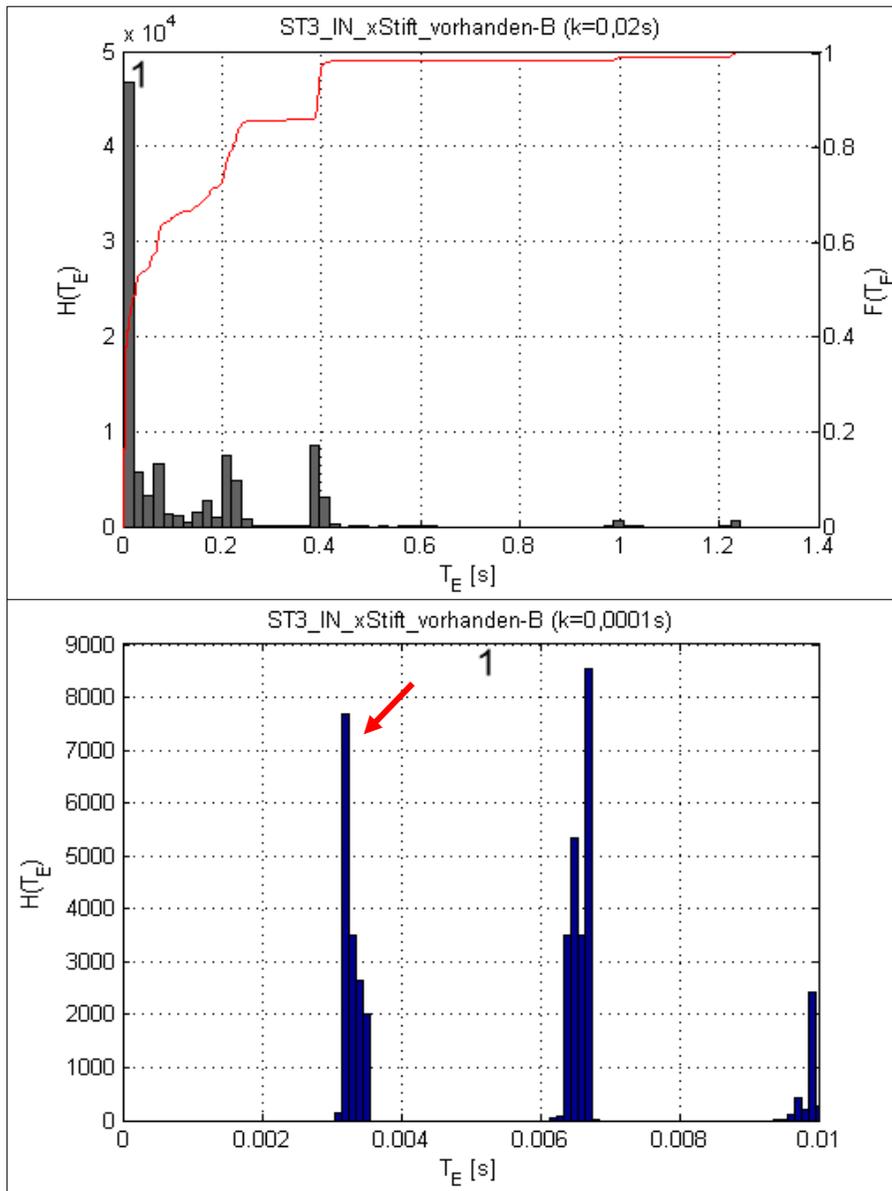
## Interbus

- ST1\_OUT\_xOeffner\_2\_vor-Y
- Aktorsignal Station 1 (Nestöffner)
- hohe zeitliche Anforderungen
- zeitlicher Verlauf  $\leq 50ms$
- Häufung der Stichprobenwerte bei ca.  $22,5ms$  und  $26ms$



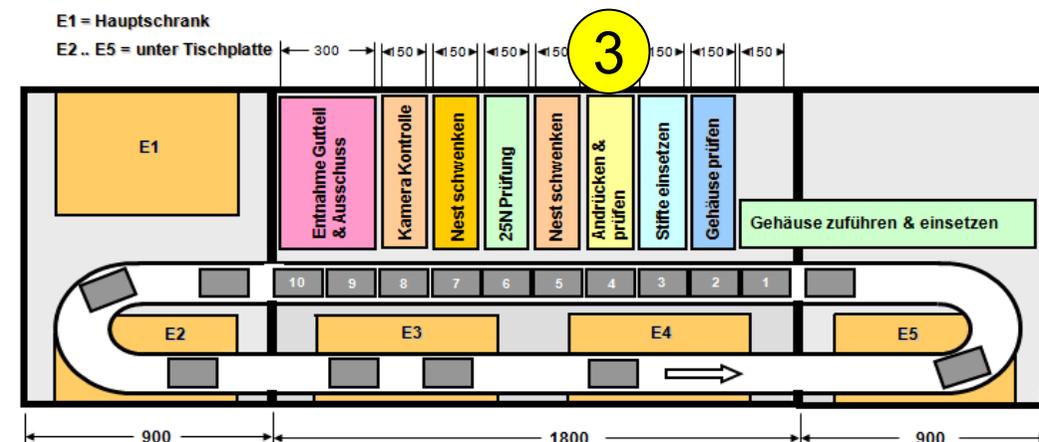
# Zwischenankunftszeiten Lichtschranke (Station 3)

➔ Einleitung ➔ Fertigungsanlage ➔ Datenerfassung ➔ **Ergebnisse** ➔ Fazit



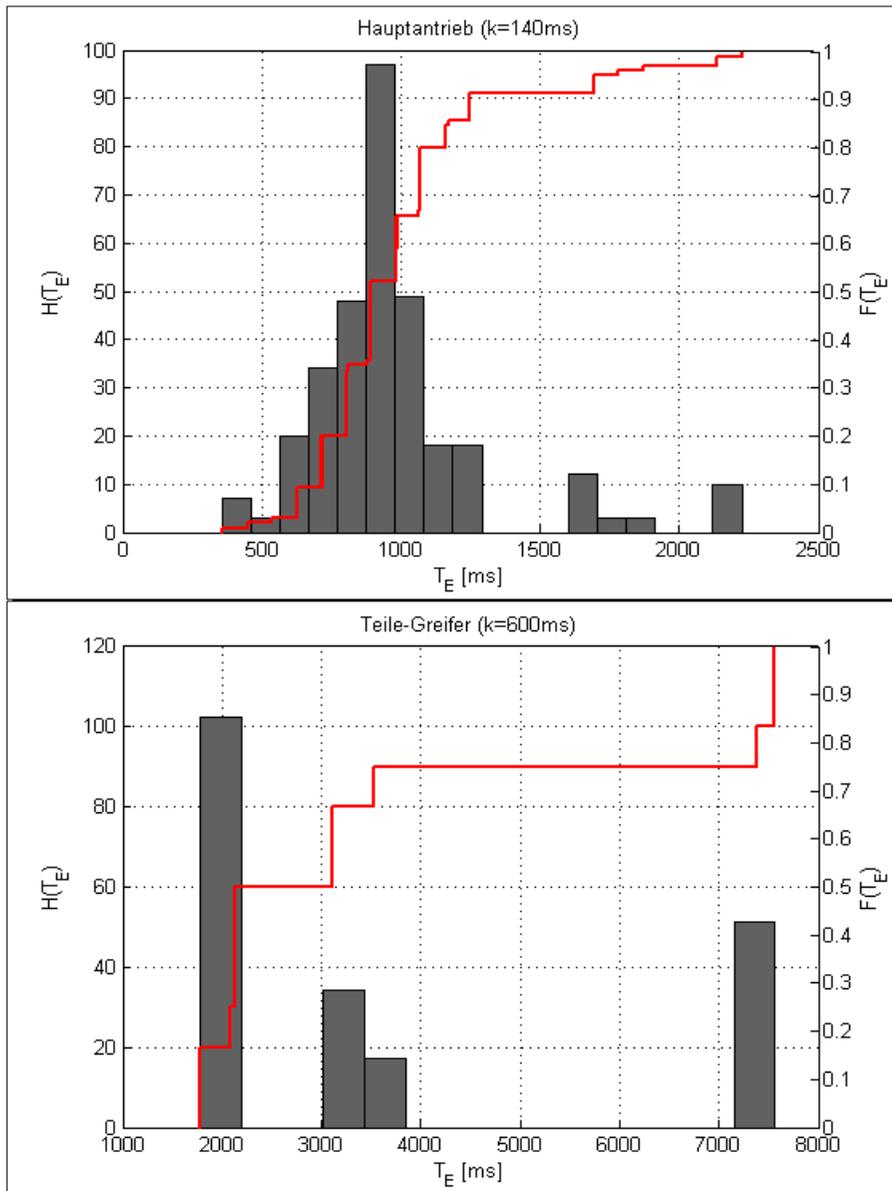
## Interbus

- ST3\_IN\_xStift\_vorhanden-B
- Sensorsignal Station 3, Lichtschranke über dem
- Stifte-Greifer
- höchste gemessene zeitliche Anforderungen
- zeitlicher Verlauf  $\leq 10ms$
- **Ausprägung bei 3,37ms, entspricht der INTERBUS-Buszykluszeit**



# Zwischenankunftszeiten Antriebe

→ Einleitung → Fertigungsanlage → Datenerfassung → **Ergebnisse** → Fazit



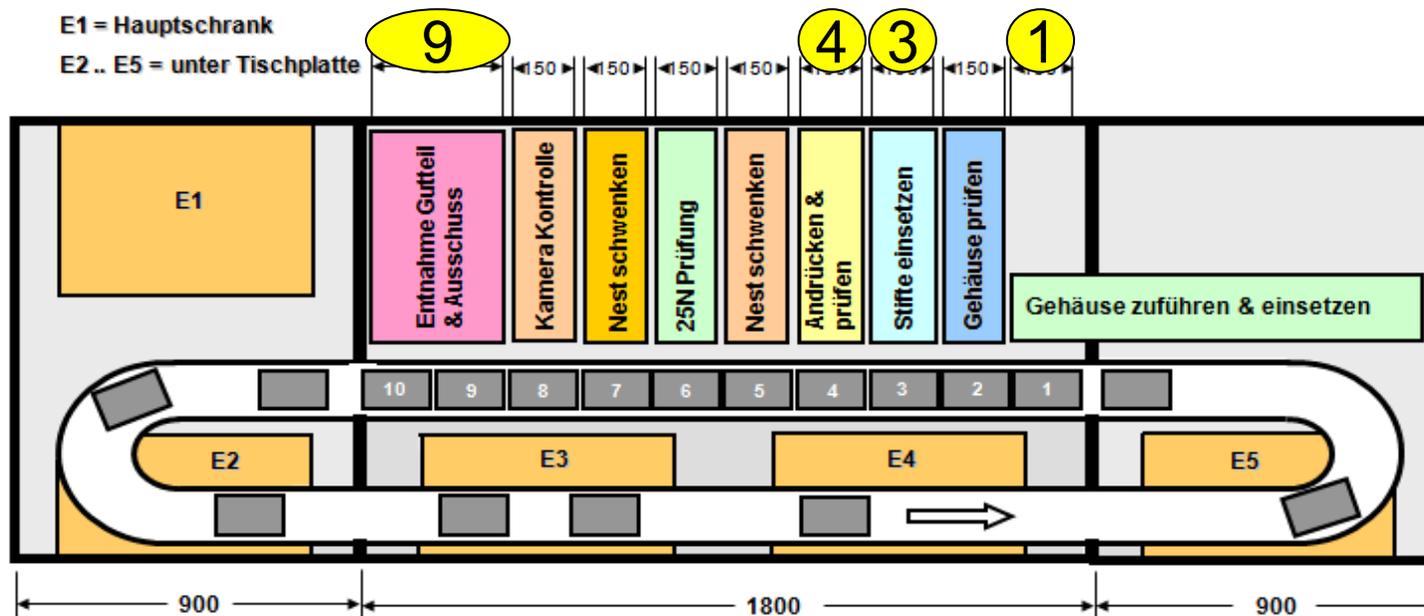
## Sercos II

- Hauptantrieb
- Feinpositionierung der Werkstückträger an den einzelnen Stationen
- mittlere zeitliche Anforderungen
- Teile-Greifer an Station 1, Entnahme der Werkstücke aus der Förderrinne und Einsetzen in die Werkstückträger
- geringe zeitliche Anforderungen

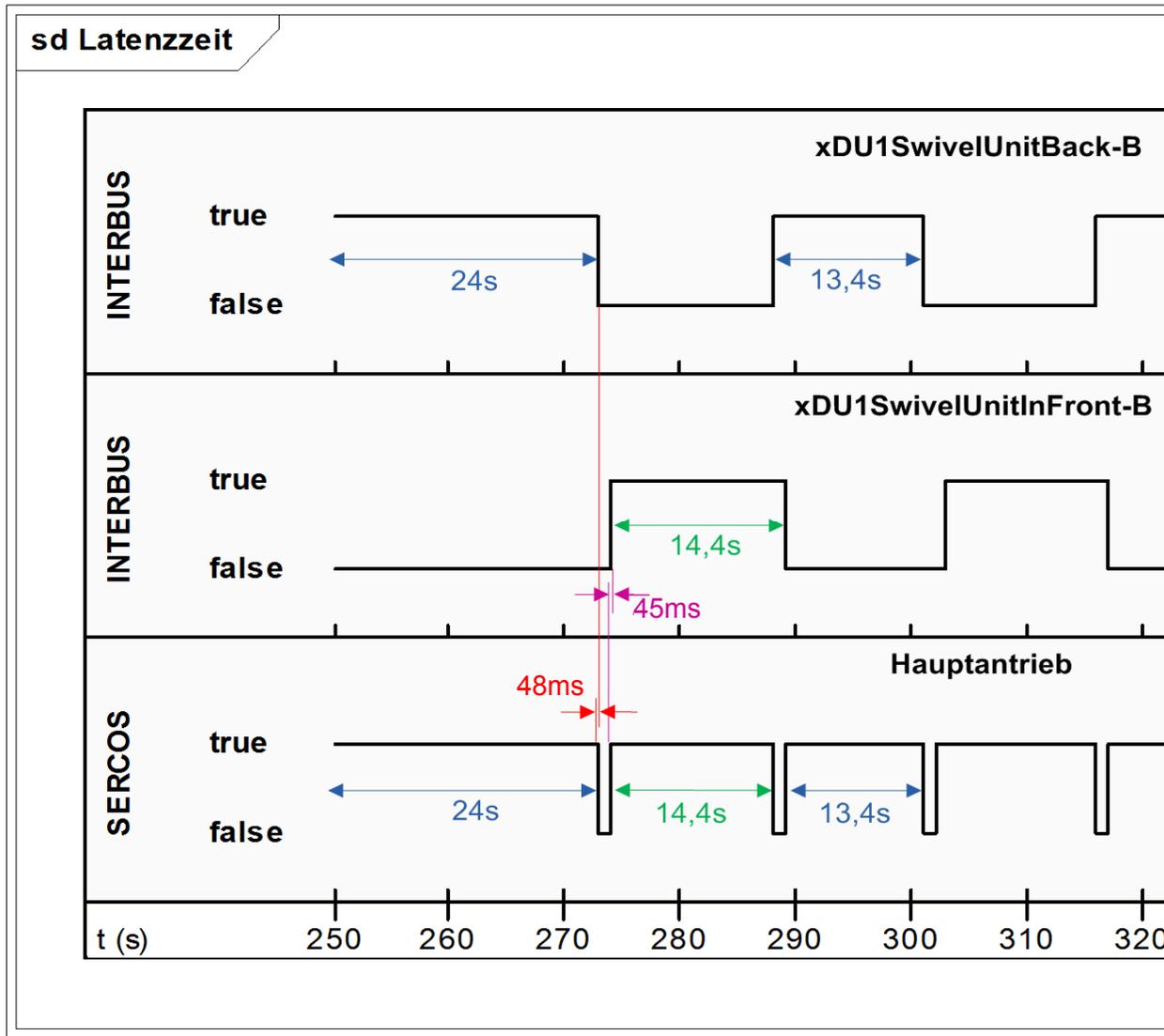
# Latenzzeit für heterogene Struktur (1)



i	Quelle	Senke	Latenzzeit ( $T_L$ )
1	ST1_IN_xOeffner_2 (Sensor)	ST1_OUT_xOeffner_2 (Aktor)	16ms
2	ST1_IN_xGeh_greifen_zu (Sensor)	ST1_OUT_xGeh_greifen_zu (Aktor)	42ms
3	ST3_IN_xStift_Greifer_zu (Sensor)	ST3_OUT_xStift_Greifer_zu (Aktor)	23ms
4	ST3_IN_xVereinzelung_unten (Sensor)	ST3_OUT_xVereinzelung_ab (Aktor)	10ms
5	ST4_IN_xEindruecker_vorne (Sensor)	ST4_OUT_xEindruecker_vor (Aktor)	10ms
6	ST9_IN_xEntnahme_vorne (Sensor)	ST9_OUT_xEntnahme_vor (Aktor)	270ms



# Latenzzeit für heterogene Struktur (2)



- Einflüsse der heterogenen Kommunikationsstruktur
- zeitlicher Zusammenhang zwischen zwei Interbus-Signalen und dem mit Sercos II vernetzten Hauptantrieb
- Latenzzeit  
 Hauptantrieb <-> SwivelUnitInFront
  - *Mittelwert: 45ms*
- Latenzzeit  
 Hauptantrieb <-> SwivelUnitBack
  - *Mittelwert: 48ms*

# Fazit



- Zwischenankunftszeiten für Verständnis des Gesamtprozesses
- Latenz wichtig für die Anforderungen
- Modbus-TCP Signale weisen eine vergleichsweise geringe Dynamik auf
- Zusammenhang zwischen den Signalen des Interbus - und Sercos II - Bussystems
- Interbus Sensor-/Aktorsignale weisen höchste zeitliche Anforderungen auf
  - Im Bereich  $< 10ms$
  - Große Herausforderung für aktuelle drahtlose Technologien, wie z.B. WLAN

# Ausblick



- Auswertung weiterer Sensor/Aktor Signale
- Erfassung des gesamten Prozesses
- Methoden zur Synchronisierung von Protokollanalyseurern
- Erzeugen von Simulationsmodellen auf Basis der gesammelten und ausgewerteten Daten
- Untersuchung weiterer Anlagen

*Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit*



*Haben Sie noch Fragen?*

*Email: [henning.trsek@hs-owl.de](mailto:henning.trsek@hs-owl.de)  
Internet: [www.init-owl.de](http://www.init-owl.de)*