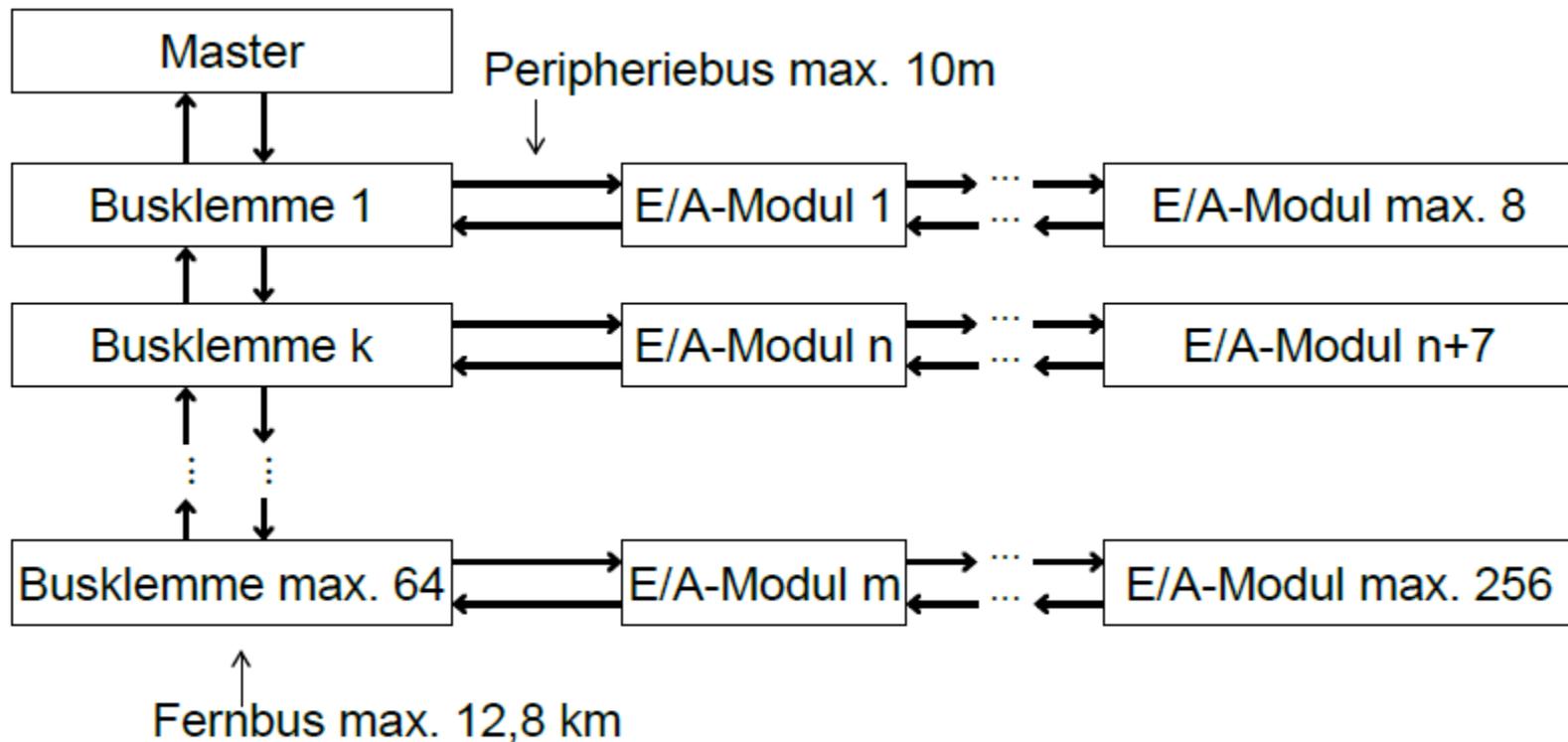


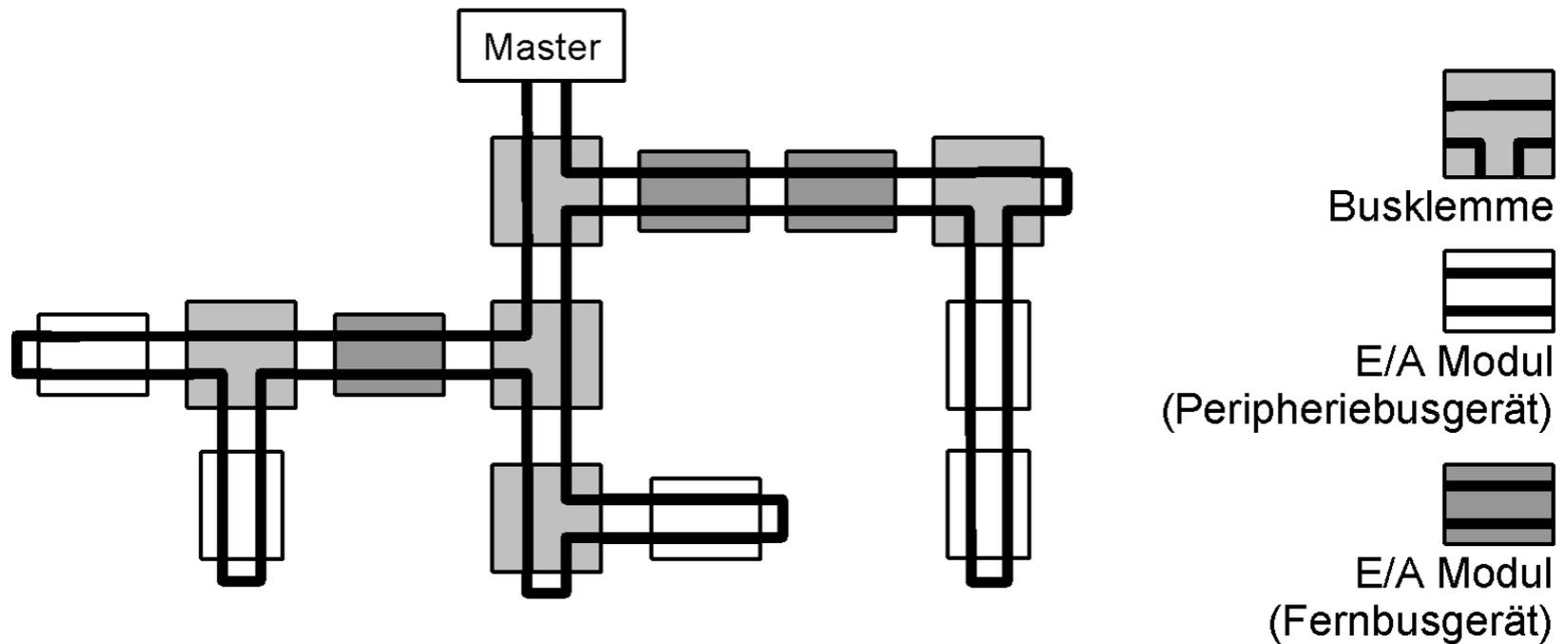
Kapitel 5

Echtzeitkommunikation

Aufbau eines INTERBUS-Systems als Ring mit Summenrahmen

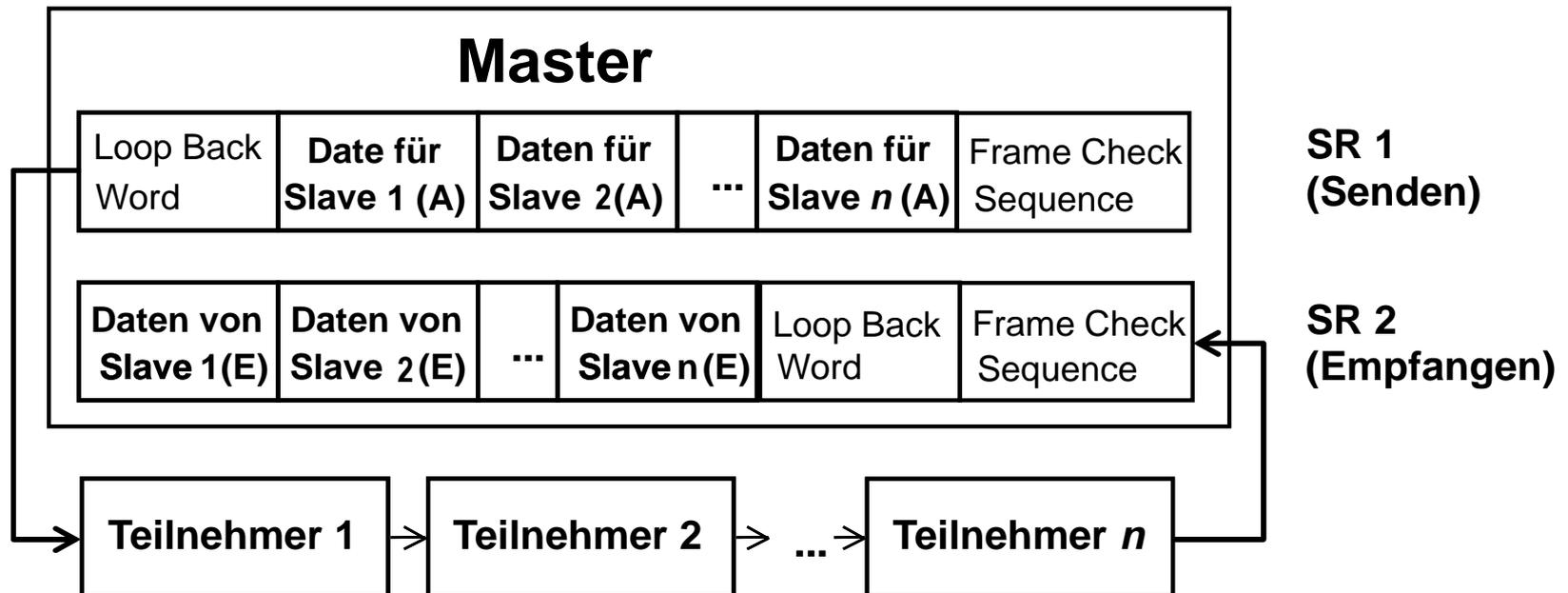


Realisierung einer Baumstruktur mit Hilfe der bei INTERBUS verwendeten Ringstruktur



Zyklus der Datenübertragung bei INTERBUS:

→ Summenrahmentelegramm durchläuft Schieberegister



Datentelegramme bei INTERBUS

Bit-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Name	Start Bit	Select Bit	Control Bit	Flag Bit	8 Datenbits								Stop Bit

Datentelegramm der ISO/OSI Schicht 1 bei INTERBUS

Summenrahmentelegramm beim Absenden im Master:

Name	LBW	Daten für Gerät 1	Daten für Gerät 2	...	Daten für Gerät n	FCS
Länge	16 Bit	4-64 Bit	4-64 Bit	...	4-64 Bit	32 Bit

Summenrahmentelegramm beim Empfangen im Master
(nach Durchlaufen des Rings):

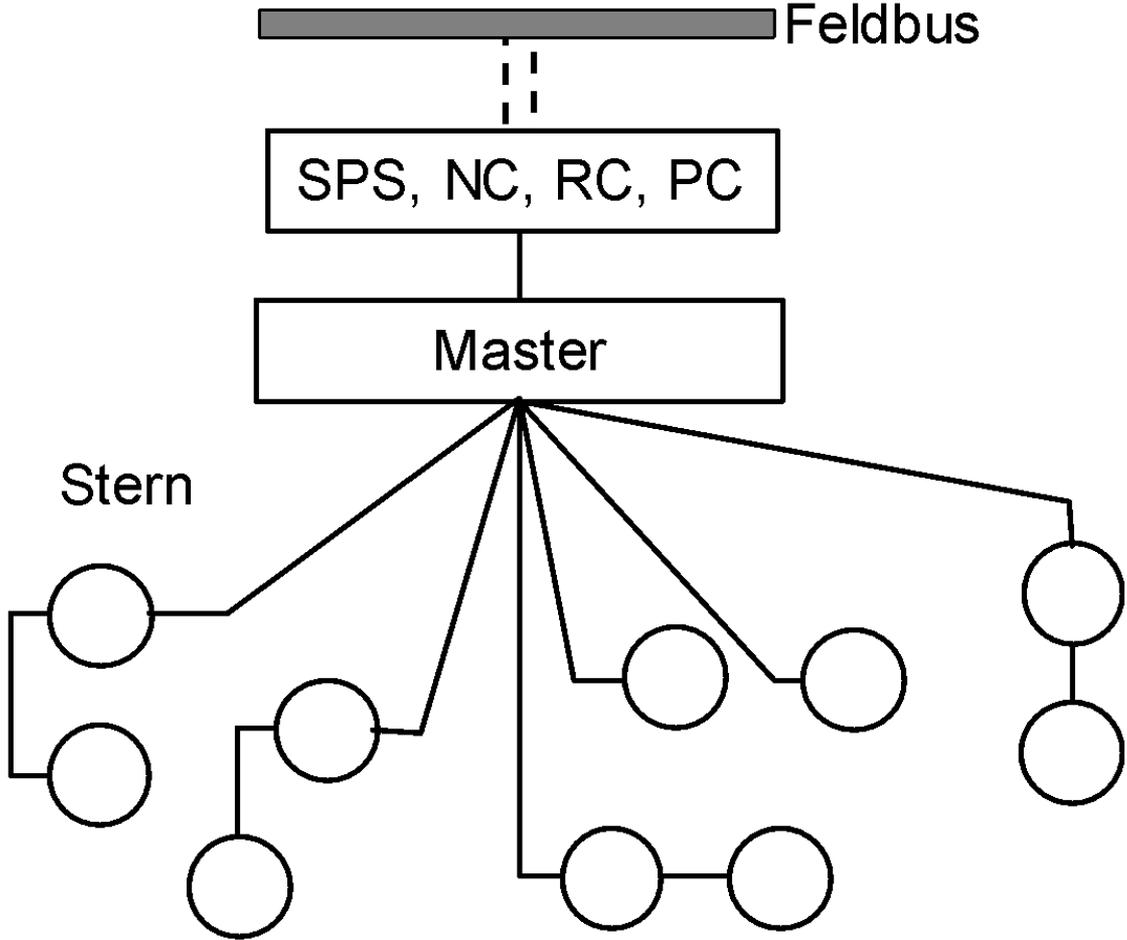
Name	Daten von Gerät 1	Daten von Gerät 2	...	Daten von Gerät n	LBW	FCS
Länge	4-64 Bit	4-64 Bit	...	4-64 Bit	16 Bit	32 Bit

Summenrahmentelegramme der ISO/OSI Schicht 2 bei INTERBUS

Eigenschaften des INTERBUS

Topologie	aktiver Ring
Buslänge	max. 12,8 km (Fernbus) max. 10 m (Peripheriebus)
Übertragungsmedium	Paarweise verdreht, abgeschirmt; Lichtwellenleiter
Anzahl Nutzdaten	4-64 Bit individuell für jeden Teilnehmer
Anzahl E/A Stationen	max. 256 mit insgesamt max. 4096 E/As
Protokoll	Summenrahmen Telegramm
Bitkodierung	NRZ-Kodierung
Übertragungsrate	500 kBit/sec
Übertragungssicherheit	CRC-Check (mit Hamming-Distanz 4), Loopback Word
Buszugriffsverfahren	Festes Zeitraster
Busverwaltung	Monomaster

Architektur eines ASI-Bus-Netzwerkes



Basistelegamme von Master und Slave beim ASI-Bus

Mastertelegamm:

Start-bit (1 Bit)	Steuer-bit (1 Bit)	Slaveadresse (5 Bit)					Befehl an Slave (5 Bit)					Parität (1 Bit)	Ende-Bit (1 Bit)

Slavetelegamm:

Start-bit (1 Bit)	Antwort an Master (4 Bit)				Parität (1 Bit)	Ende-Bit (1 Bit)

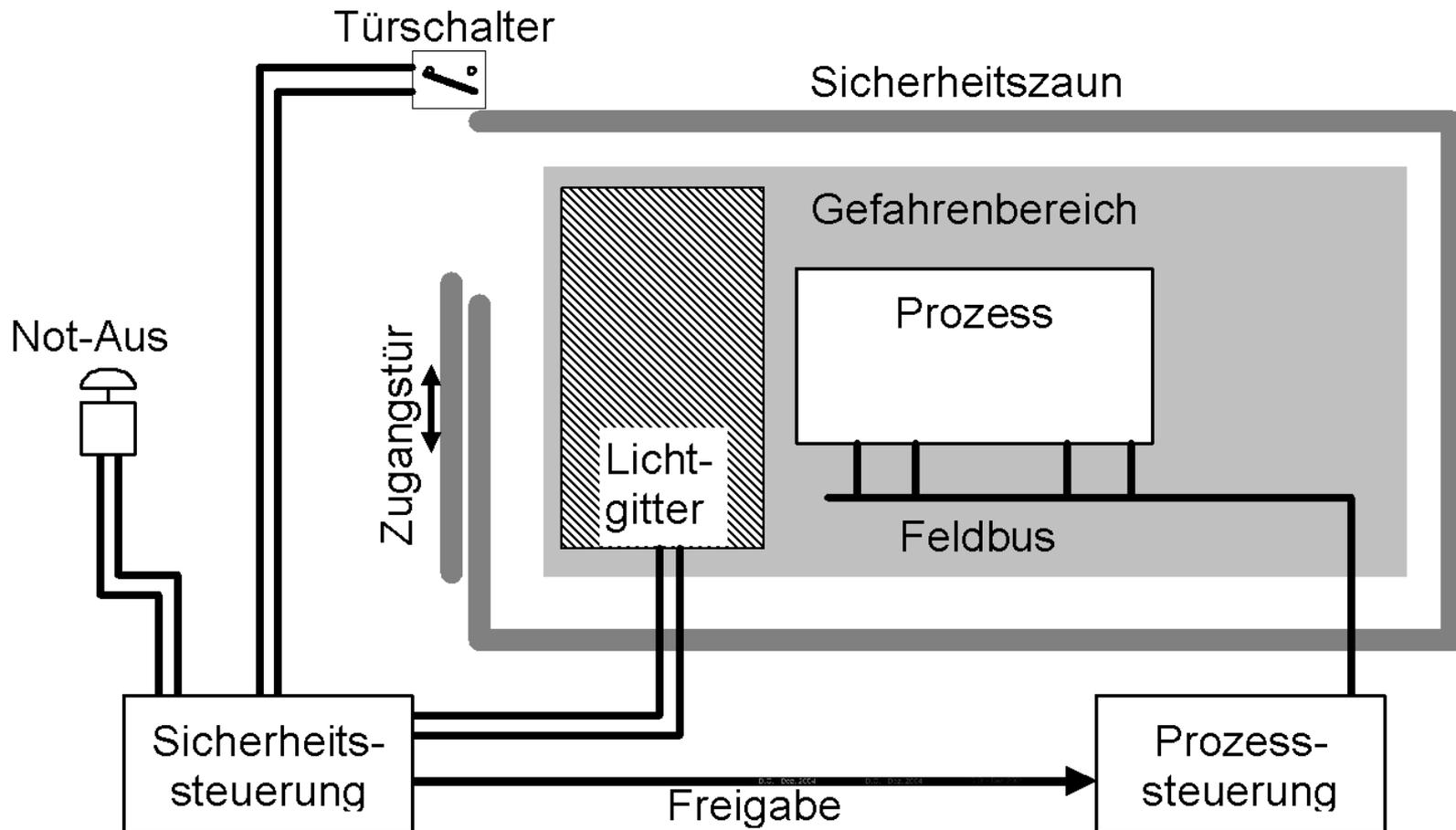
Zusammengefasste Eigenschaften des ASI-Bus (nach Spezifikation < V2.1)

Topologie	Linie, Baum, Stern
Buslänge	max. 100m (300m mit Repeater)
Übertragungsmedium	ungeschirmte 2-Drahtleitung für Daten und Energie
Anzahl Nutzdaten pro Telegramm	5 Bit (Master → Slave) 4 Bit (Slave → Master)
Anzahl Stationen	max. 31
Anzahl Eingänge pro Station	max. 4 (=> insgesamt max. 124)
Anzahl Ausgänge pro Station	max. 4 (=> insgesamt max. 124)
Bitkodierung	Modifizierte Manchester-Codierung: Alternierende Puls Modulation
Übertragungsrate	150 kBit/sec
Übertragungssicherheit	Identifikation und Wiederholung gestörter Telegramme
Buszugriffsverfahren	Polling
Busverwaltung	Monomaster

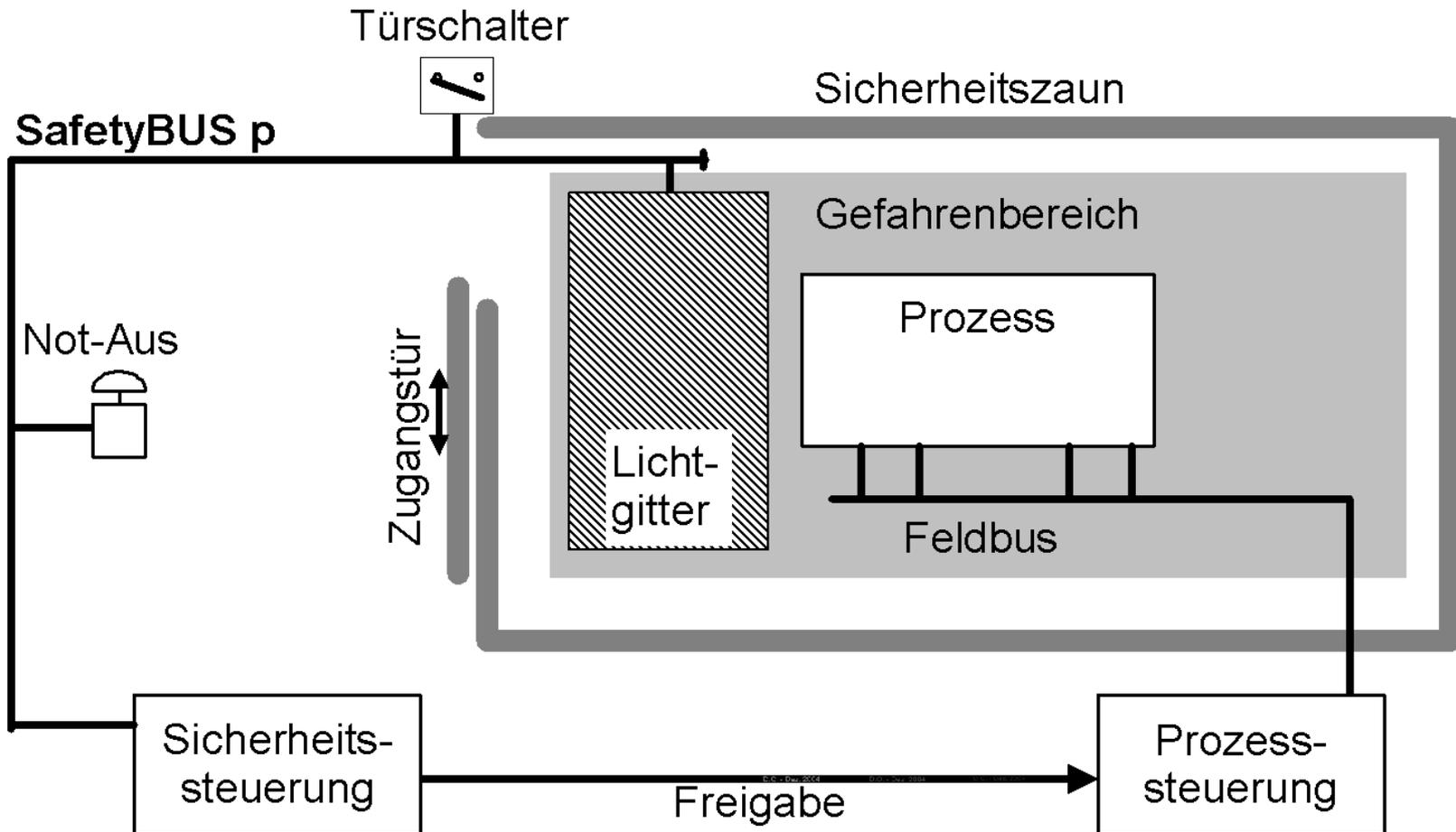
Zusammengefasste Eigenschaften des erweiterten ASI-Bus nach AS-i V2.1

Topologie	Linie, Baum, Stern
Buslänge	max. 100m (300m mit Repeater)
Übertragungsmedium	ungeschirmte 2-Drahtleitung für Daten und Energie
Anzahl Nutzdaten pro Telegramm	5 Bit (Master → Slave) 4 Bit (Slave → Master)
Anzahl Stationen	max. 62
Anzahl Eingänge pro Station	max. 4 (=> insgesamt max. 248)
Anzahl Ausgänge pro Station	max. 3 (=> insgesamt max. 186)
Bitkodierung	Modifizierte Manchester-Codierung: Alternierende Puls Modulation
Übertragungsrate	150 kBit/sec
Übertragungssicherheit	Identifikation und Wiederholung gestörter Telegramme
Buszugriffsverfahren	Polling
Busverwaltung	Monomaster

Schematische Darstellung einfacher sicherheitsgerichteter Maßnahmen



Realisierung sicherheitsgerichteter Maßnahmen mit SafetyBUS p

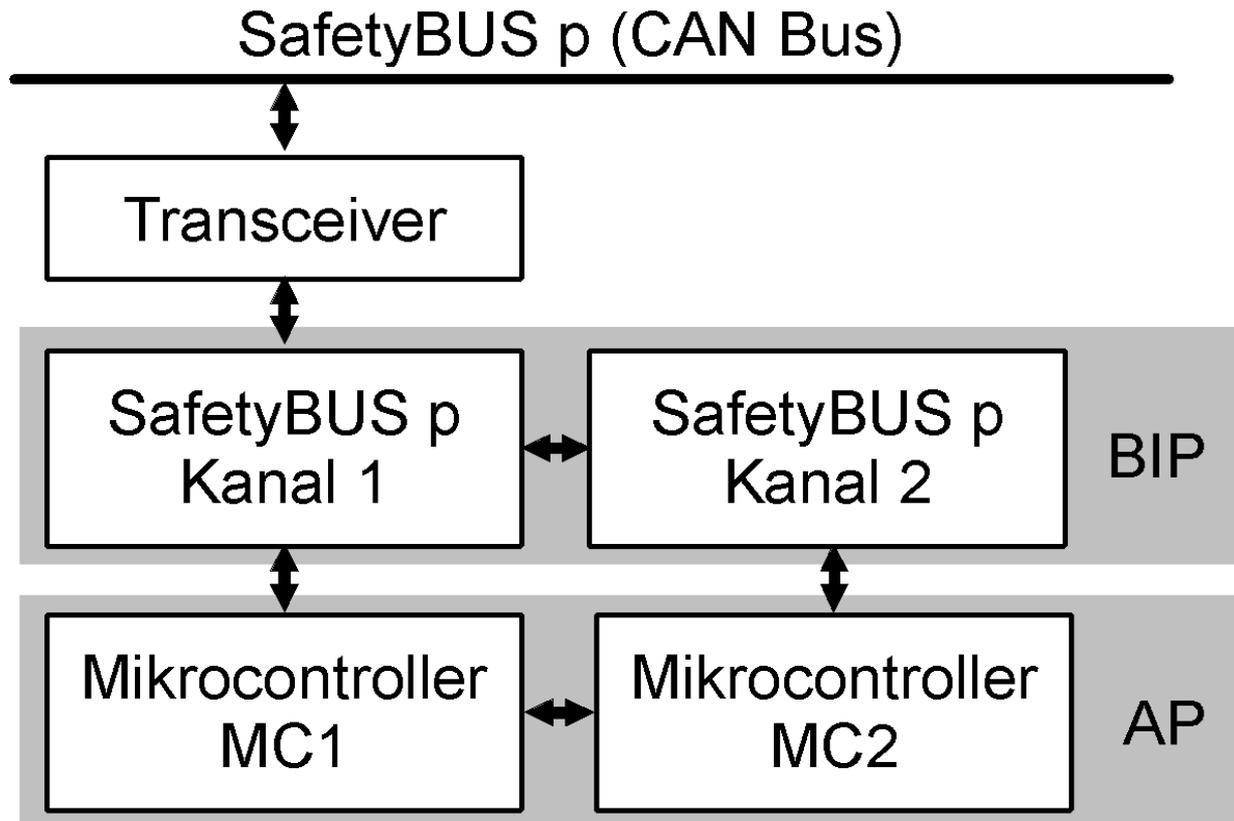


Zusätzliche Übertragungsfehler

- Falsche Wiederholung von Telegrammen
- Falsches Einfügung von Telegrammen
- Falsche Abfolge von Telegrammen
- Verzögerung von Telegrammen
- Verlust von Telegrammen

Teilredundante Hardware bei 'sicheren Teilnehmern' nach SafetyBUS p

1. Maßnahme zur Erhöhung der Sicherheit



Aufbau eines SafetyBUS p Telegramms (CAN-2.0a)

2. Maßnahme zur Erhöhung der Sicherheit

CAN-Bezeichnung	Start-bit	Identifizier (11 Bits)								RTR (1 Bit)	Kontrollfeld (6 Bits)	...
SafetyBUS p Verwendung	(1 Bit)	Klasse (3 Bit)	Senderadresse (8 Bit)									...
												...

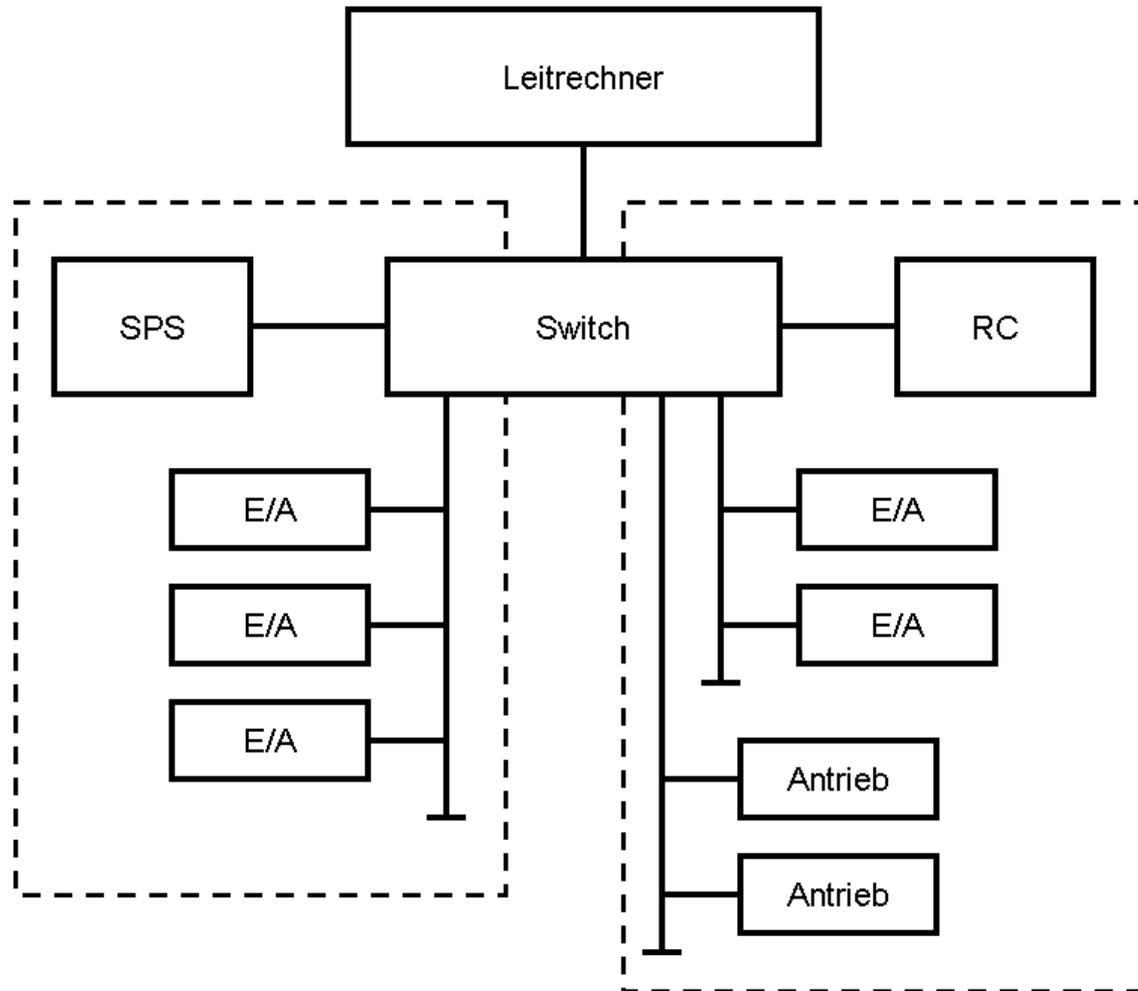
...	Datenbytes (0-8 Bytes)							CRC-Feld (16 Bit)	ACK-Feld (2 Bit)	Endefeld (7 Bit)	Trennfeld (3 Bit)
...	Kopf (1 Byte)	Empfänger (1 Byte)	Sichere Nutzdaten (max. 4. Byte)				CRC (2 Byte)				
...											

Klasse: Sicherheitsklasse

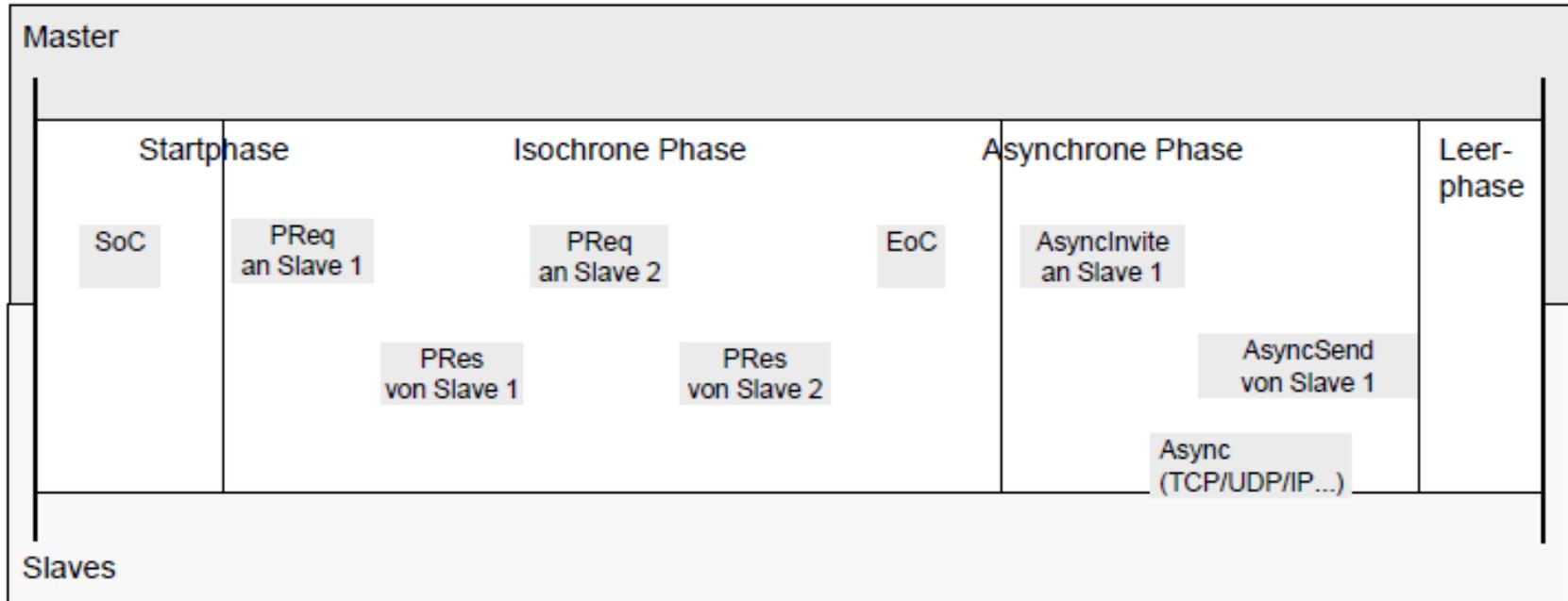
Kopf: Laufende Nummer eines Telegramms

Empfänger: Empfängeradresse

Zellenkommunikationsstruktur mit Ethernet-Switch



Powerlink Zeitscheibenverfahren auf Basis von Ethernet



SoC - Start-of-Cyclic: Broadcast

PReq - PollRequest: Unicast

PRes - PollResponse, : Broadcast (Bit kennzeichnet asynchronen Ü-Wunsch)

EoC - End-of-Cyclic: Broadcast

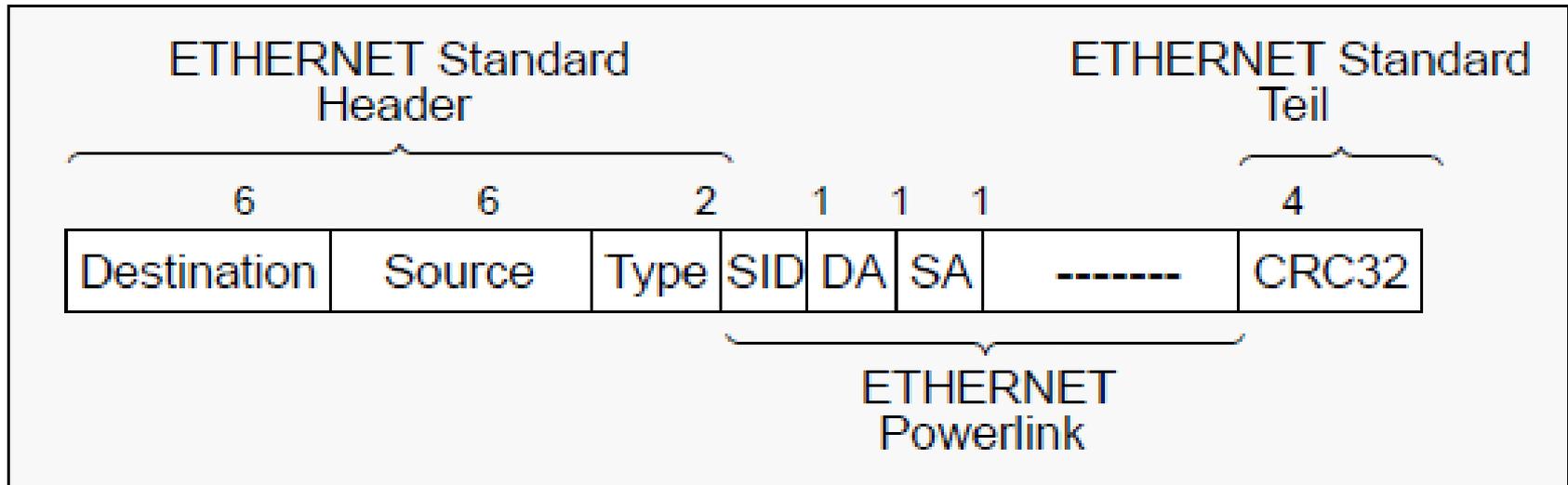
AsyncInvite - Aufforderung zum Senden einer asynchronen Nachricht: Unicast

AsyncSend - Senden einer asynchronen Nachricht: Unicast

Quelle: ETHERNET Powerlink Standardization Group

Powerlink-Telegrammaufbau

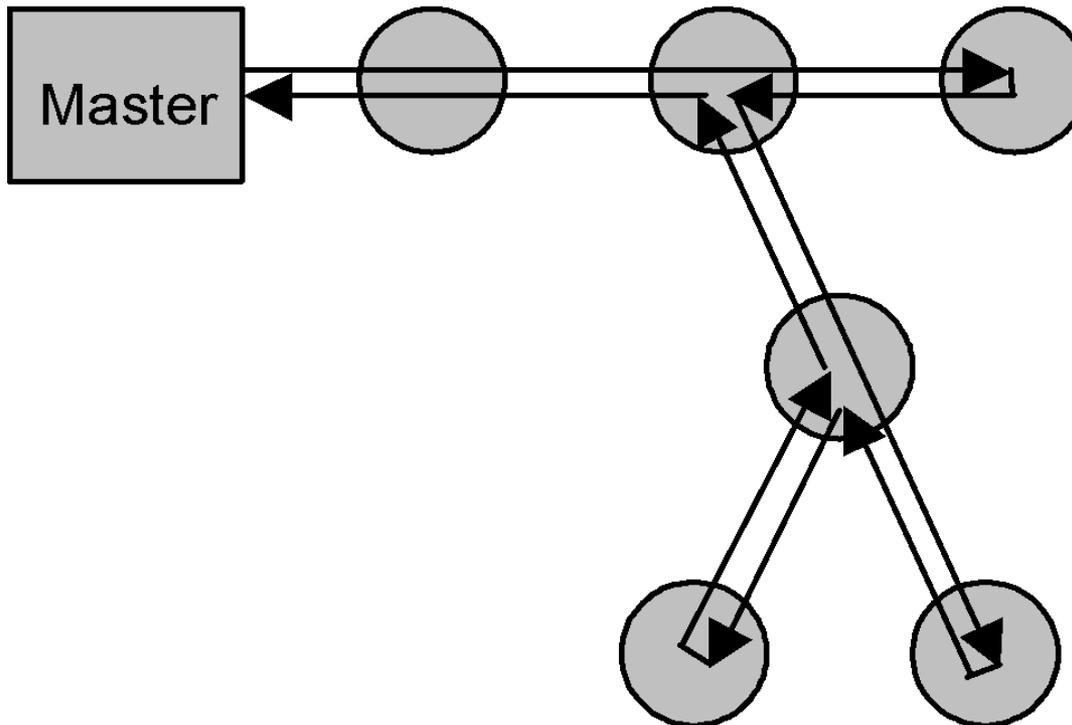
Powerlink-Telegramme für: SoC, Preq, PRes, EoC, SoA, AsyncInvite, AsyncSend



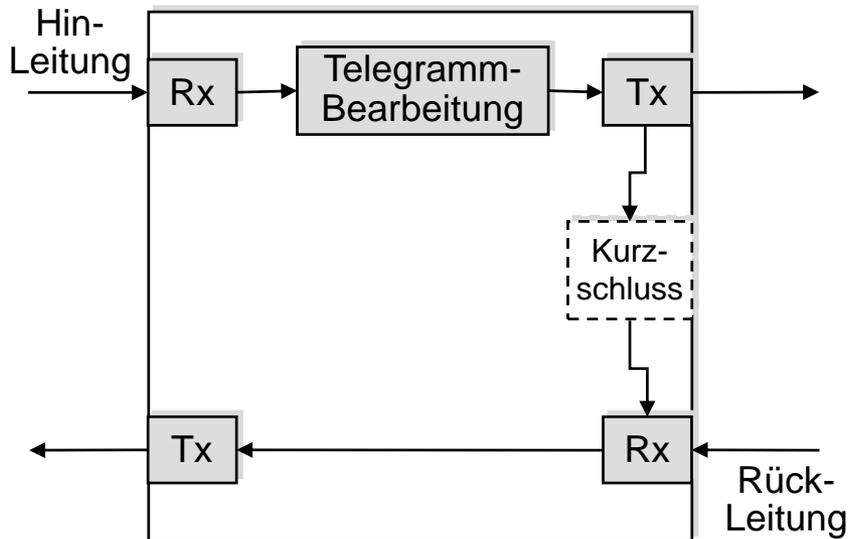
- Service Identifier (SID): Art der Botschaft (**Start-of-Cyclic, PollRequest** usw.)
- Destination Address (DA): Zielstation
- Source Address (SA): Absenderstation

Quelle: ETHERNET Powerlink Standardization Group

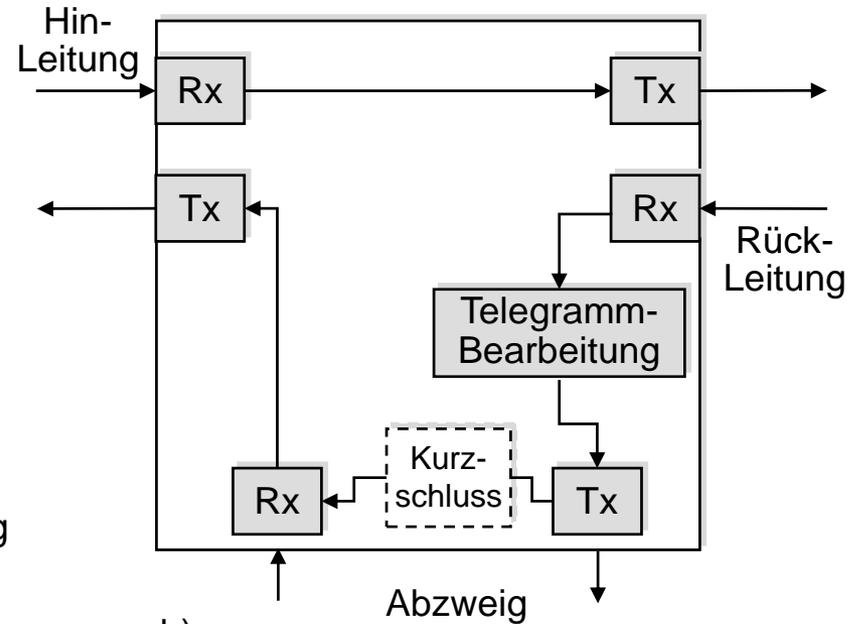
EtherCAT-Topologie mit Abzweigen: physikalischer Baum, logischer Ring



EtherCAT-Slaves: ohne und mit Abzweig



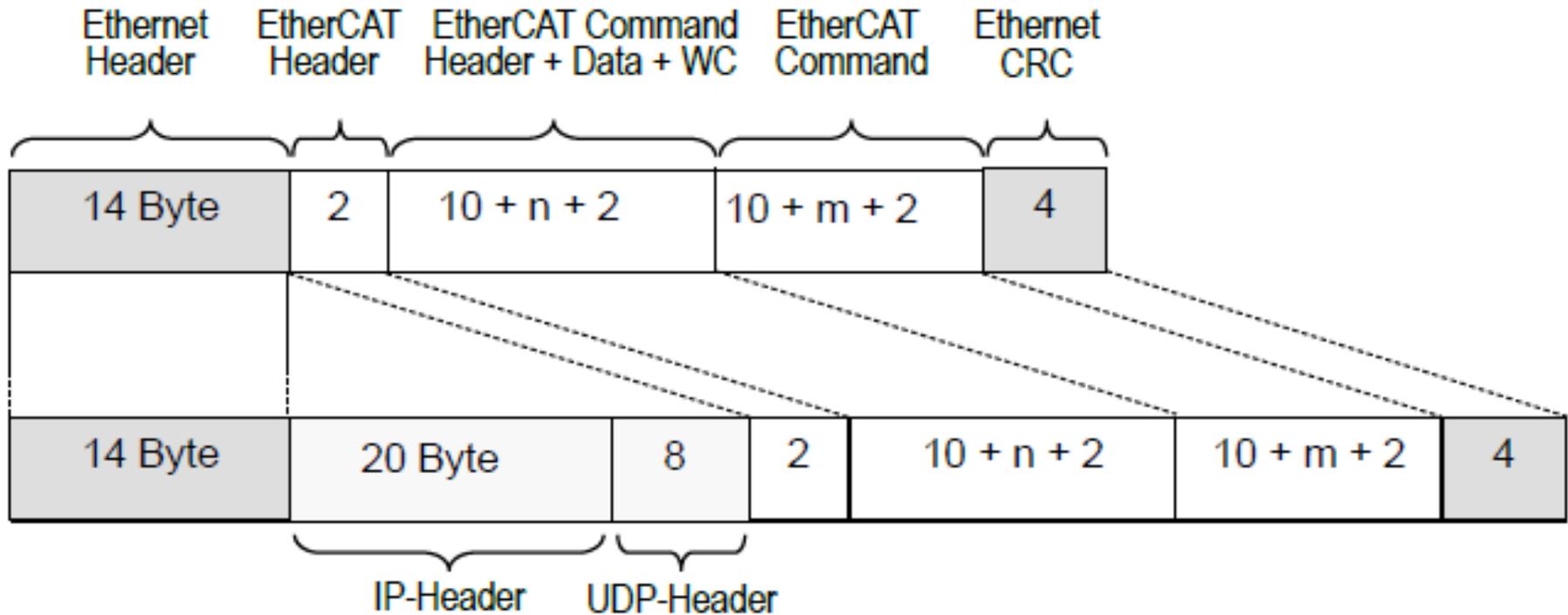
a)



b)

Quelle: EtherCAT Technology Group

EtherCAT-Telegrammaufbau

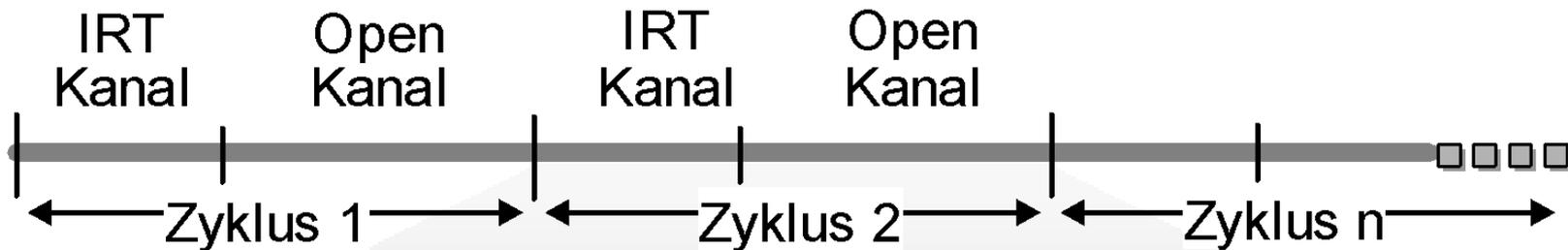


- Ein Ethercat Command pro TIn.; Daten: SW, IW, ...;
- WC = Workingpointer wird vom TIn. inkrementiert; Prüfung, ob TIn. Telegr. bearbeitet hat

Quelle: EtherCAT Technology Group

PROFnet-Versionen

- Zyklische Übertragung mit 2 Kanälen
- **Soft Real Time (SRT)** für zeitkritische Übertragung mit 5-10 ms Zykluszeit
- **Isochronous Real Time (IRT)** für Echtzeitübertragung mit Zykluszeiten von 1 ms (150 Teilnehmer) bis zu 0,25 ms (35 Teilnehmer) und einem Jitter von kleiner 1 μ s.

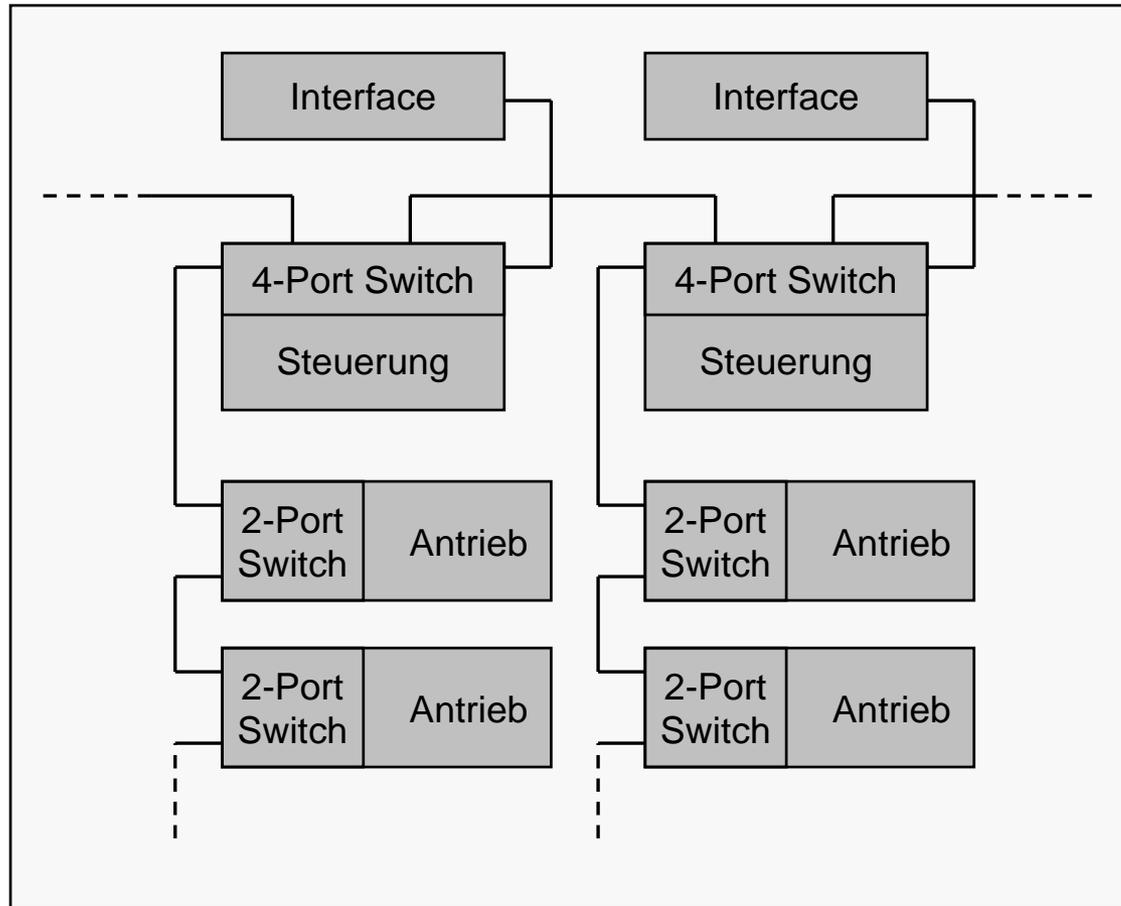


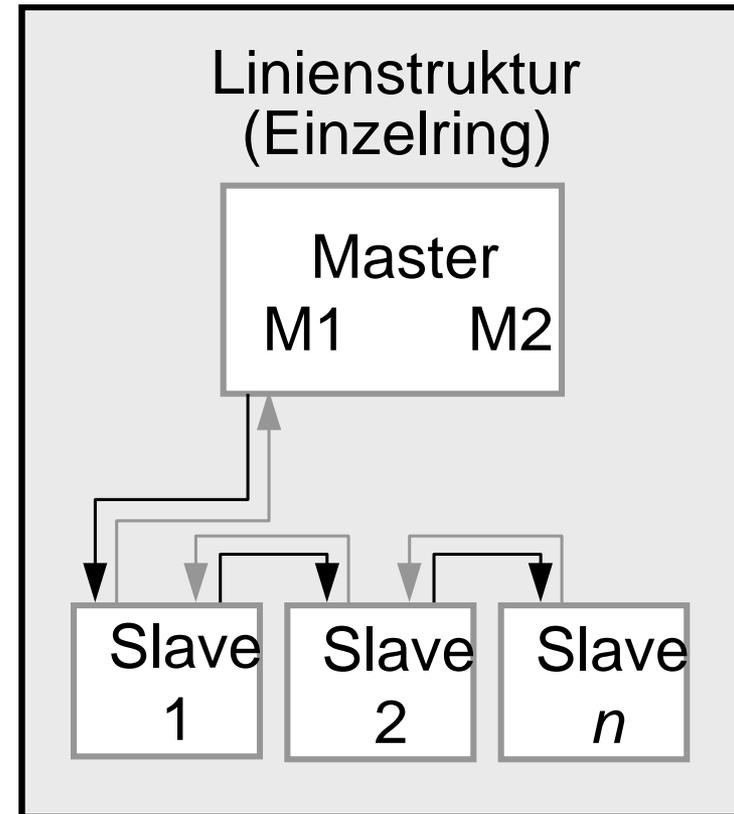
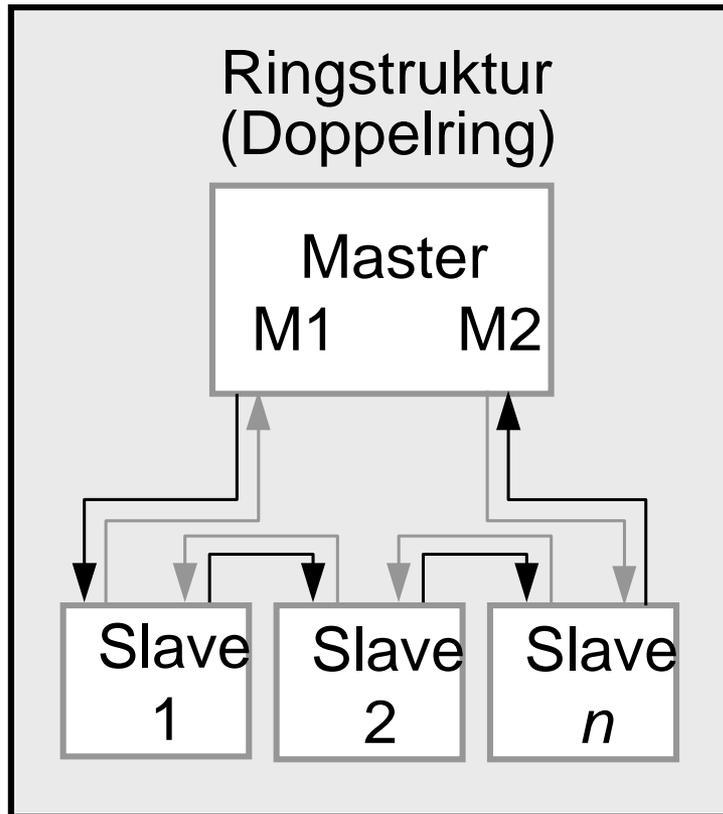
Beispiel: 1 ms-Positionsregelzyklus



Quelle: PROFIBUS International

Baumstruktur mit 2-Port und 4-Port PROFINet-Switches

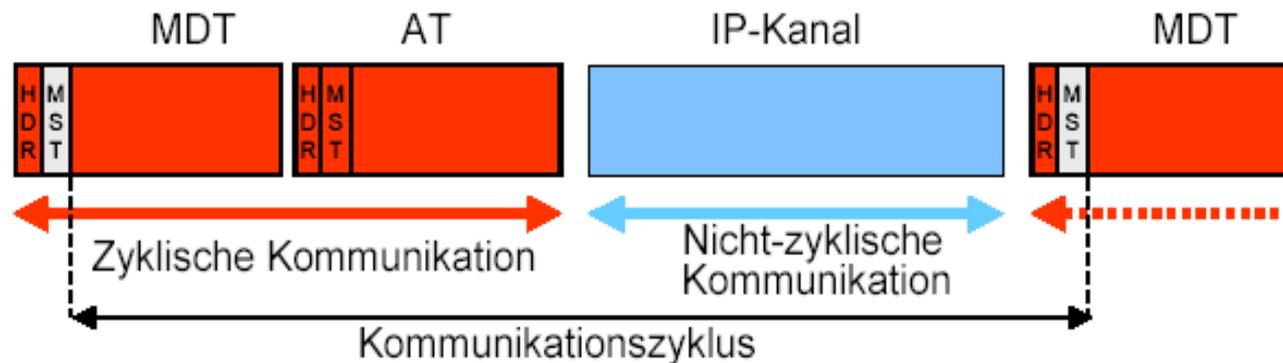
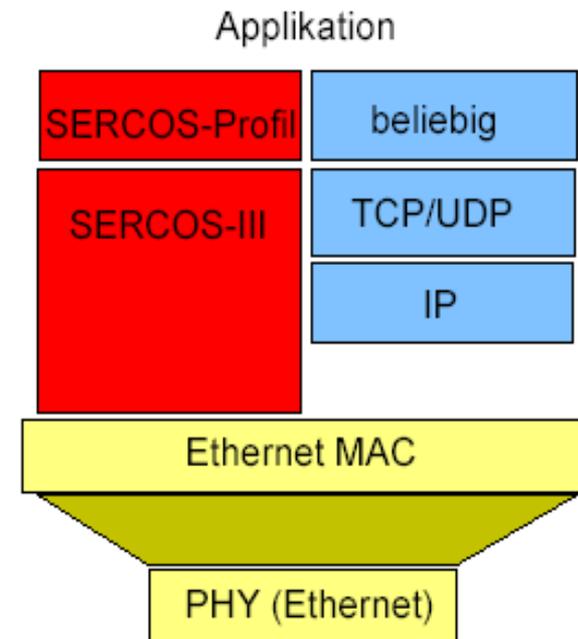




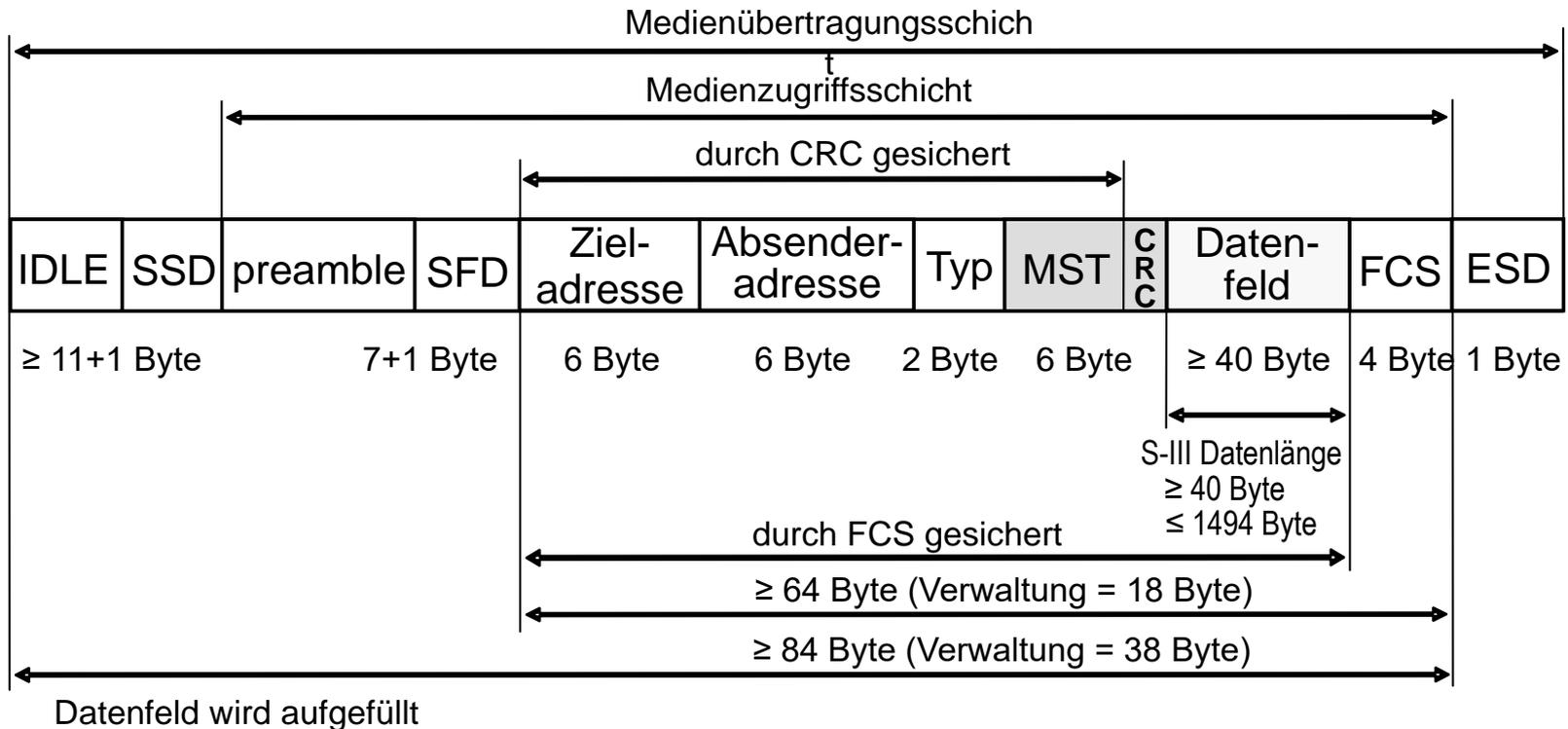
Quelle: Interessengemeinschaft SERCOS interface e.V.

SERCOS-III: Telegrammstruktur

- ▶ Verwendung von Standard Ethernet Frames
- ▶ Konfigurierbare Zykluszeit
- ▶ Konfigurierbarer IP-Kanal



SERCOS III-Telegramm



Quelle: Interessengemeinschaft SERCOS interface e.V.

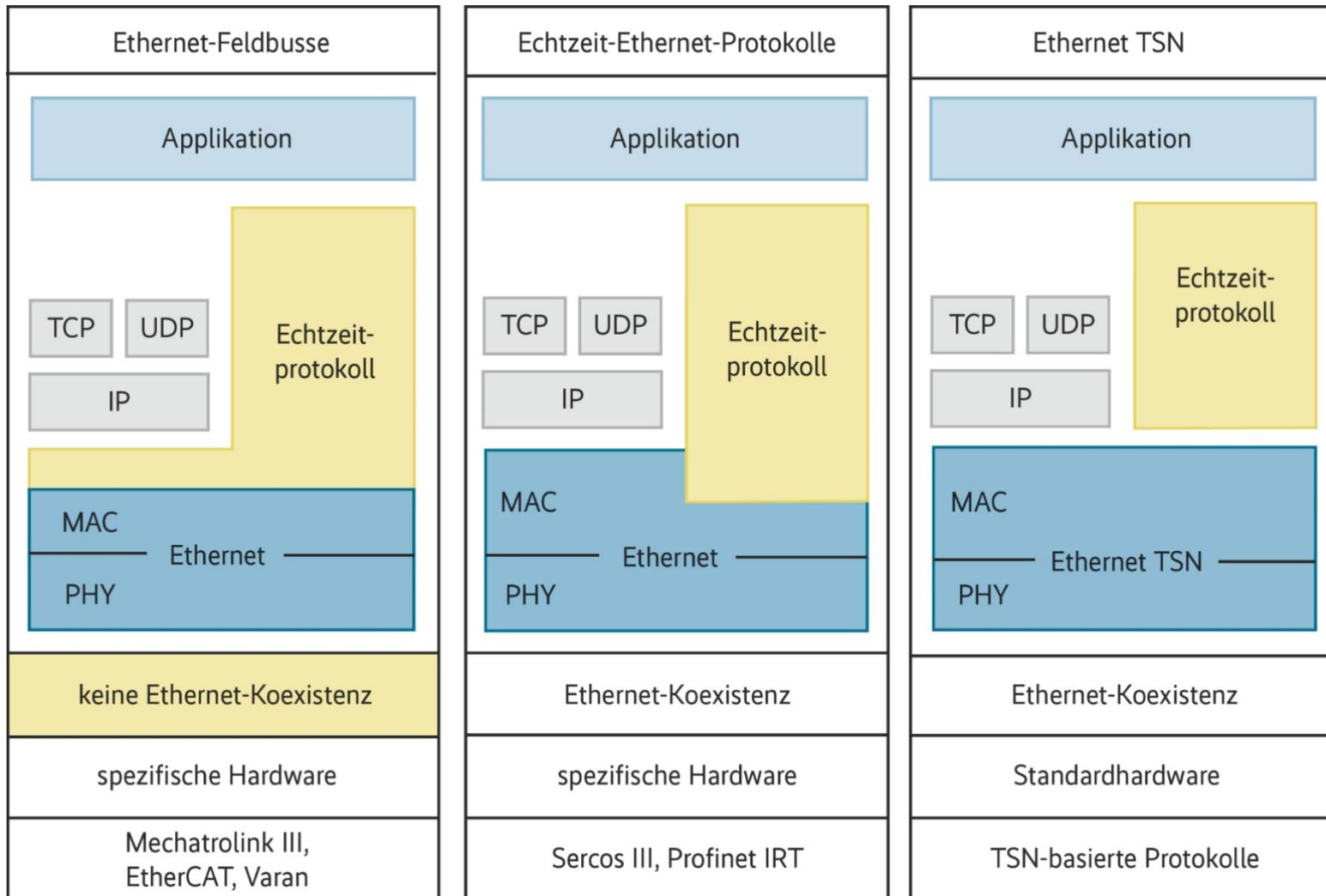
Leistungsdaten verschiedener Echtzeit-Ethernetsysteme nach Herstellerangaben

	ETHERNET Powerlink		EtherCAT	PROFINet mit IRT		SERCOS III	
Zykluszeit [ms]	1,0	0,2	0,1	1,0	0,25	1,0	0,03125
Teilnehmer	44	8	100	150	35	254	8
Nutzdaten [#Byte]	46	46	12	keine Angabe	keine Angabe	16	8
Anmerkung	Es ist Bandbreite für zyklische Kommunikation mit TCP/UDP/IP reserviert						
Jitter	< 1 µs		< 1 µs	< 1 µs		< 1 µs	
Standard-Ethernet-Hardware	Ja, Jitter und Latenzzeit fallen entsprechend den Komponenten aus.		Nein	Nein		Nein	
Buszugriff/Synchronisierung	Polling jedes einzelnen Slaves durch Master		Summentelegramm wird von Slave zu Slave gesendet	Switches sind zeitlich hochgenau synchronisiert. Paketpfad über Switches vorab eingestellt.		Zeitschlitze für Slaves synchronisiert durch ein Master-SYNC-Telegramm	
Topologien	Linie, Stern, Baum		Linie, Baum	Linie, Baum		Ring, Linie	

Time Sensitive Networking is an enhancement to IEEE 802 networks enabling the convergence of real-time control with time-critical streaming and and bulk data into a single communication network.

- It provides guaranteed latency, low-jitter and zero congestion loss for all critical control data of various data rates.
- It reduces complexity and costs through convergence of multiple kind of applications into a single network.
- It protects critical traffic to effects of converged, non-critical bulk traffic
- It simplifies overall networking through common design, provisioning, and maintenance of a single infrastructure.

Ethernet TSN



Quelle: <https://www.heise.de/ix/heft/Keine-Zeit-verschwenden-3920173.html>