

Industrielle Bussysteme : Ethernet

Dr. Leonhard Stiegler
Automation

www.dhbw-stuttgart.de

Inhalt

- Ethernet Übersicht und Protokolle
- Ethernet Schicht-1
- Ethernet Link Schicht
- Medium Access Control
- Logical Link Control – LLC
- Ergänzende LAN Protokolle

Definitionen

- Ein Computernetz ist eine Zusammenschaltung von Host-Rechnern, die Informationen austauschen über
 - Übertragungsverbindungen und
 - Netzknoten
- Ein **Lokales Netz (LAN)** umfasst in der Regel einen begrenzten geografischen Bereich, wie z.B. ein Gebäude, Stockwerk oder einen Campus
- **Ethernet** ist eine weit verbreitete LAN Technologie. Sie definiert
 - das Übertragungsmedium
 - den Zugang zum Medium
 - die physikalischen Übertragungseigenschaften und Prozeduren
- Ethernet ist Teil der Standardisierungsfamilie 802

IEEE 802 Standardisierung

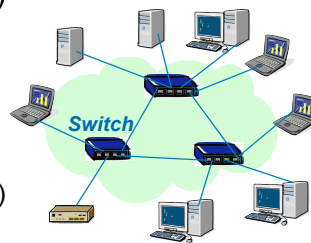
- 802.1 LAN/MAN Architecture**
WGs: Interworking, Security, Audio/Video Bridging and Congestion Management.
- 802.2 : Logical Link Control (LLC)**
- 802.3 : Ethernet**
 - Basic Ethernet 10 Mbit/s
 - Fast Ethernet 100 Mbit/s over copper or fibre
 - Gbit-Ethernet 1 Gbit/s over copper or fibre
 - 10G-Ethernet 10 Gbit/s over optical fibres
- 802.11 : WLAN**
- 802.16 : WMAN**
- 802.17 : Resilient Packet Ring**

- Section 1:** Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) Zugangsmethode und physikalische Schicht
- Section 2:** Einführung in 100 Mb/s Basisband Netze, 100BASE-T, FE
- Section 3:** Einführung in 1000 Mb/s Basisband Netze, GE
- Section 4:** Einführung in 10 Gb/s Basisband Netze
- Section 5:** Einführung in Ethernet für Teilnehmer-Zugangsnetze

- Führende Rolle in den Ethernet IEEE 802.3 Implementierungen
- Universelle IEEE 802.3 Medium Access Control Adressierung
- Hohe Datenrate: aktuell über 10 Gbit/s
- Möglichkeit der optischen Datenübertragung
- Entwicklung von Bus-Topologie (shared medium) zur Stern Topologie (dedicated media)
- Anwendungen:
Private Netze, Zugangsnetze, Städtetze (Metropolitan Area Networks) Weitverkehrsnetze (Wide Area Networks)
- Diesteintegration: Echtzeit Sprache und Video
- Wireless LAN Implementierungen (IEEE 802.11, IEEE 802.16)

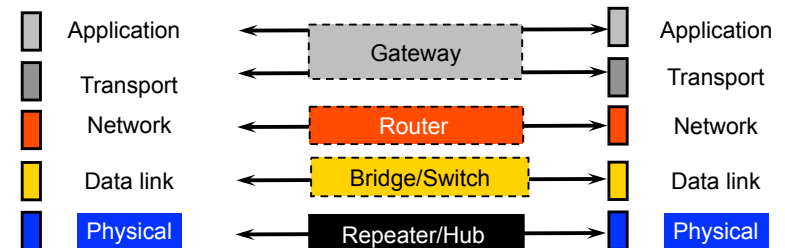
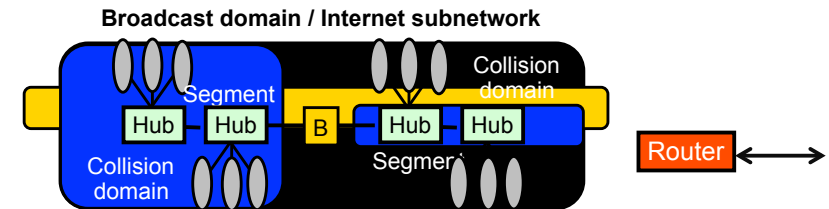
Lokale Netze (Local Area Networks)

- Arbeitsplatz
- Zuhause
- Telekommunikationsnetze
- Automatisierungstechnik
- Transport (Schiene, Luft, Wasser)
- Medizintechnik



Ethernet Elemente

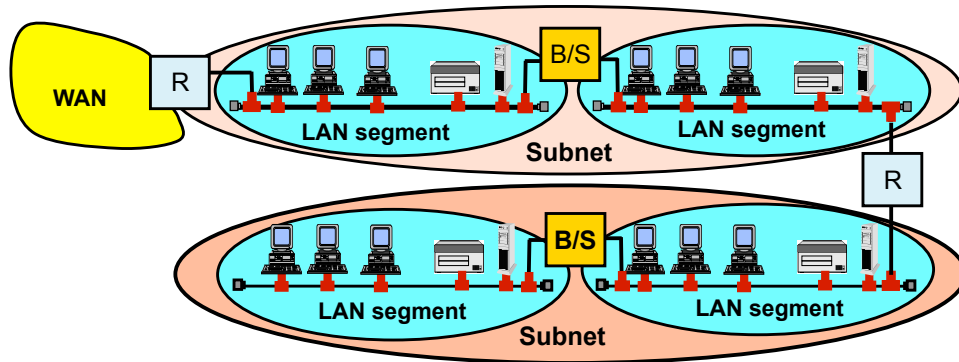
- Schicht-1 : Hub (wird nicht mehr verwendet)
- Switch / Bridge
 - Schicht-1 Funktion : Port
 - Schicht-2 Funktion :
Verbindung von Eingangsport mit Ausgangsport



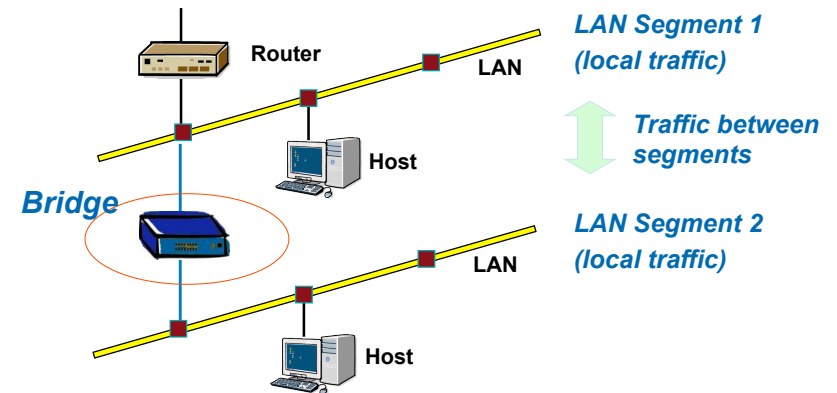
Bridge, Switch und Router

B/S • Bridge/Switch verbindet Schicht-2 LAN Segmente

R • Router verbindet Schicht-3 Netze

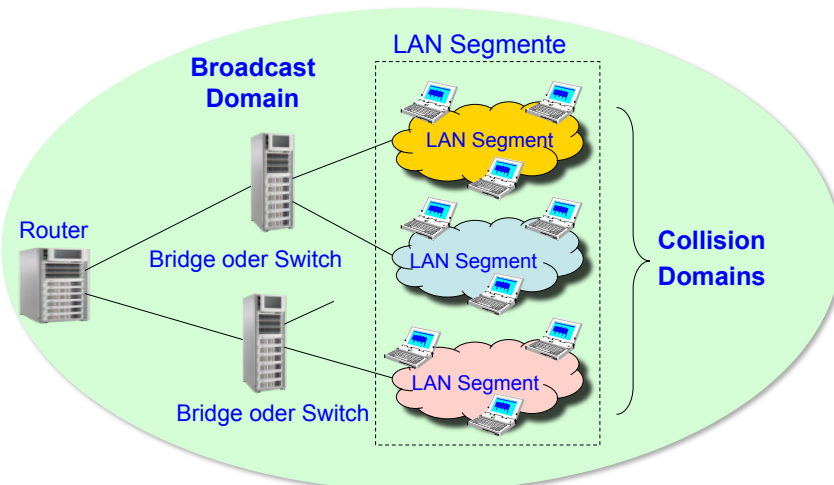


Netzelemente : vom Hub zur Bridge

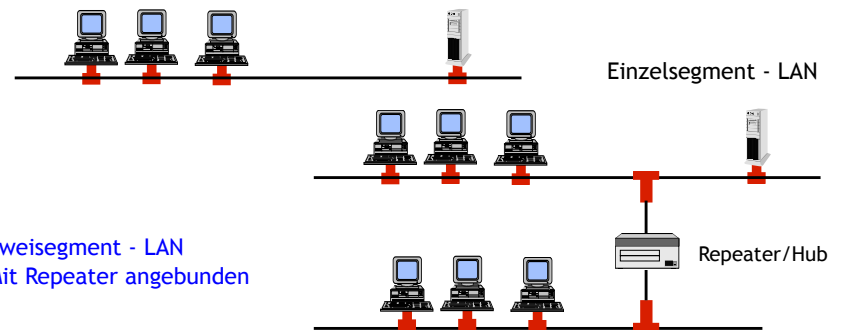


- Ein Hub "lötet" zwei LAN Segmente zusammen: jede Nachricht wird an alle Ports weiter verteilt
- Eine Bridge "überspannt" zwei LAN Segmente: nur Nachrichten an Empfänger im jeweiligen Segment werden übermittelt

LAN Architekturbeispiel



LAN Segmentierung



- Heutige LAN Implementierungen verwenden keine Repeater, da diese Funktionen so genannte Collision domains bilden
- Die Übertragungskapazität in collision domains wird durch das geteilte Medium reduziert

- Ethernet Übersicht und Protokolle
- Ethernet Schicht-1
- Ethernet Link Schicht
- Medium Access Control
- Logical Link Control – LLC
- Ergänzende LAN Protokolle

Ethernet (10Mbit/s)		Fast Ethernet - FE	Gigabit Ethernet	
		MAC User (e.g. LLC)		} LLC } MAC
		MAC Control (opt.)		
		Medium Access Control (MAC)		
PLS	Reconciliation	Reconciliation	Reconciliation	} PHY
AUI	MII	GMII	GMII	
	PLS	PCS	PCS	
	AUI	PMA	PMA	
PMA	PMA	PMD	PMD	
MDI				
Medium				

PLS: Physical Layer Signalling
 AUI: Attachment User Interface
 PMA: Physical Medium Access
 MDI: Media Dependent Interface

MII: Medium Independent Interface
 PCS: Physical Coding Sublayer
 PMD: Physical Media Dependent Sublayer
 LLC: Logical Link Control

Schicht-1 Funktionen

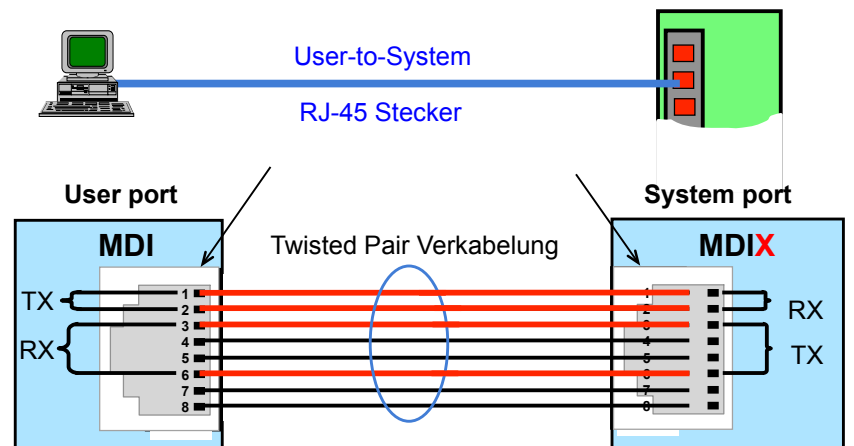
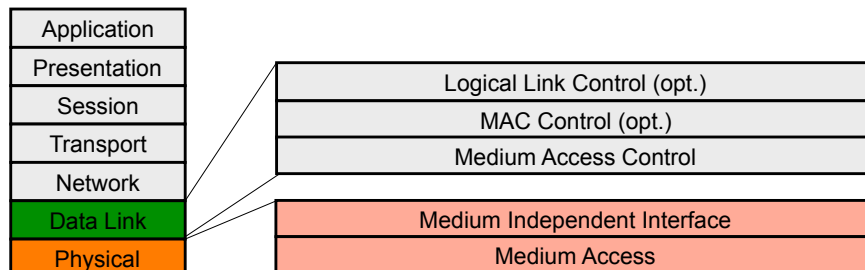
- Medium Access

Medium Independent Interface
 Medium Interface

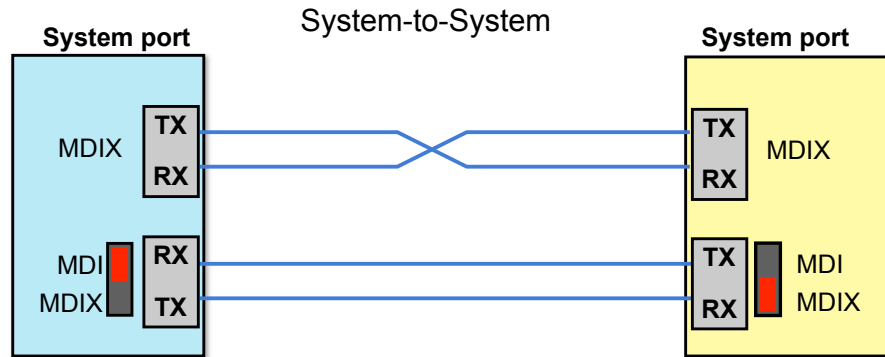
Schicht-2 Funktionen

- Zugang zum Übertragungsmedium
- Protokollsteuerung
- Link Verbindungssteuerung

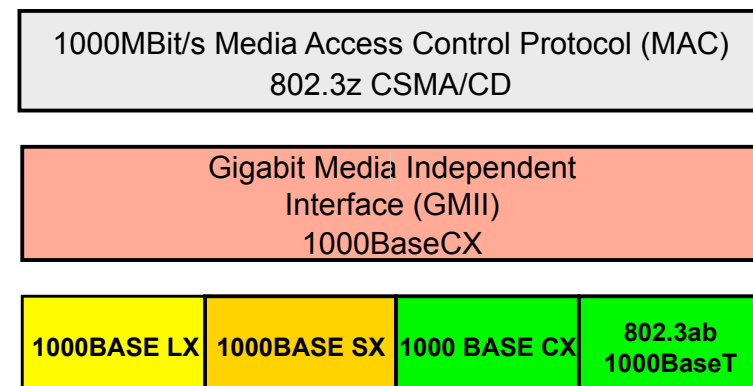
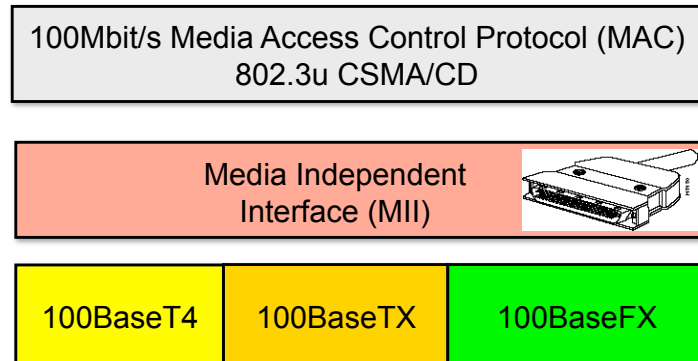
Medium Access Control
 MAC Control
 Logical Link Control



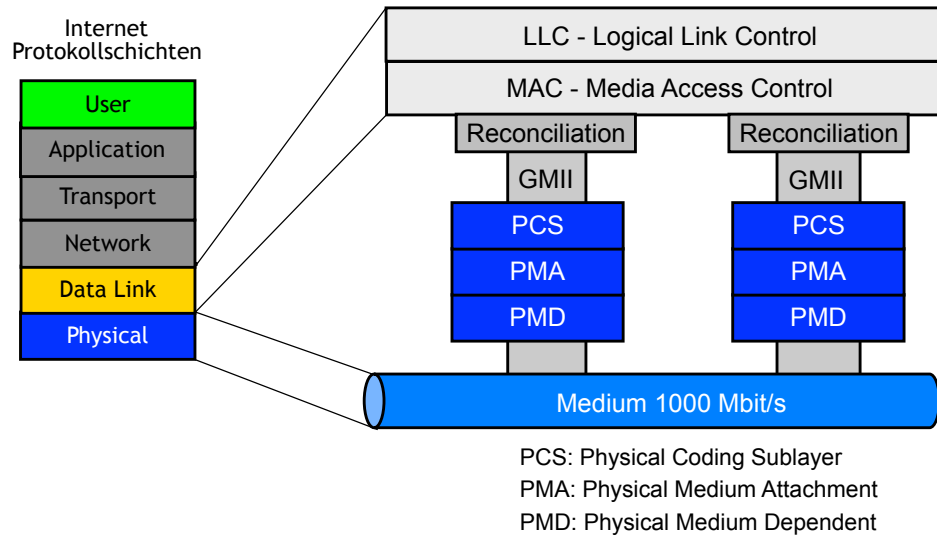
Bei einer 1:1 Verkabelung müssen die Ports einer Seite getauscht werden (MDIX).



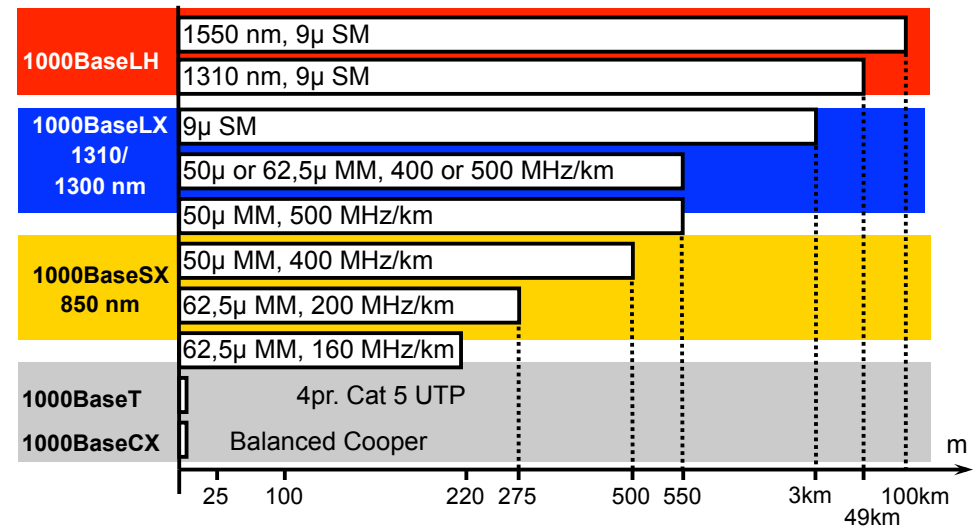
Variant Cable specification (min.)		Maximum Distance
Ethernet		
10BASE-T	Class C, 2 x UTP, 16 MHz	100 m HD/FD
Fast Ethernet		
100BASE-TX	Class D, 2 x UTP, 100 MHz	100 m HD/FD
100BASE-T4	Class C, 4 x UTP, 100 MHz	100 m HD
100BASE-FX	2 x 62,5/50 µm, MMF, 1310 nm	400 m HD 2 km FD
Gigabit Ethernet		
1000BASE-T	Class D, 4 x UTP, 100MHz	100 m HD
1000BASE-CX	STP 150 Ohm,	25 m HD
1000BASE-SX	50 µm, MMF, 850 nm	550 m FD
	62,5 µm, MMF, 850 nm	260 m FD
1000BASE-LX	50 µm, MMF, 1310 nm	550 m FD
	62,5 µm, MMF, 1310 nm	440 m FD
	9 µm, SMF, 1310 nm	3 km FD



Gigabit Ethernet Architektur

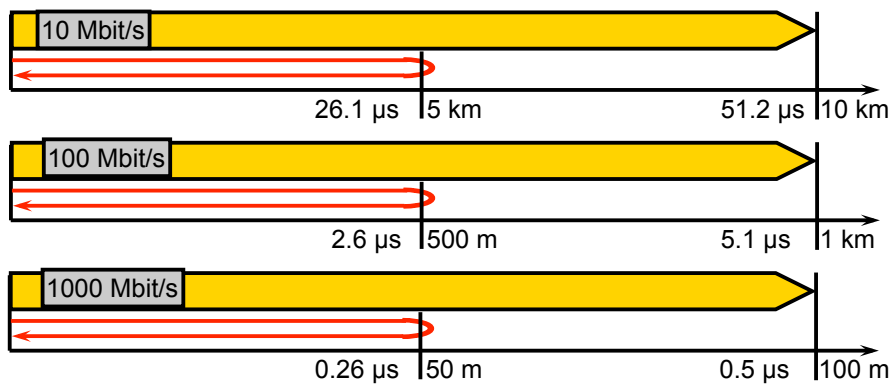


Medium und Übertragungsdistanz



Gigabit Ethernet und CSMA/CD

Roundtrip Delay und Übertragungsdistanz



Bedingungen:

- Rahmengröße = 64 bytes = 512 bits
- Signal-Ausbreitungsgeschwindigkeit = 200 000 km/s

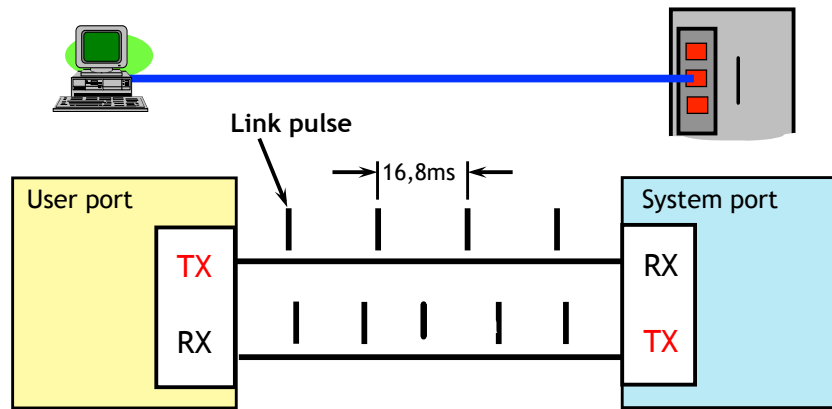
Auto-Negotiation

- Auto-Negotiation heißt die Prozedur, die zur Bestimmung einer gemeinsamen Übertragungsart (Mode) verwendet wird
- Modes: 10BASE, 100BASE (FE), 1000BASE (GE)
- Am Ende der Prozedur steht ist mit der Betriebsart auch die maximale Übertragungs-Datenrate festgelegt

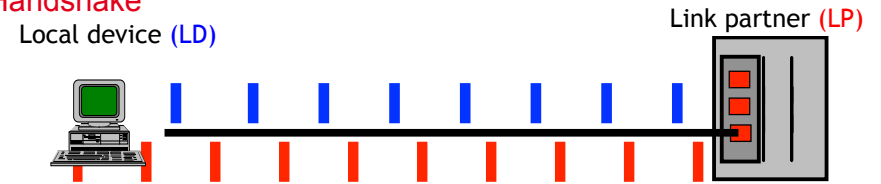
Basisfunktionen

- Falls nur ein Port Auto-Negotiation unterstützt (nicht üblich):
 - Verwendung von 10BaseT Mode.
- Beide Ports unterstützen Auto-Negotiation.
 - Verhandlung der Betriebsart (Geschwindigkeit)

Synchronisation: Link Pulse



Auto-Negotiation Synchronization : Link Handshake

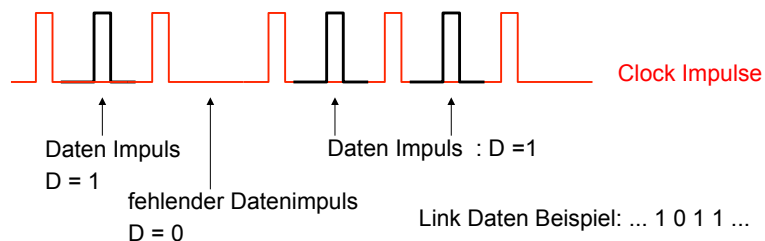


1. LCW kontinuierlich senden (LD) mit Ack=0 (Info to LP: I do not yet know about you.)
2. Empfang 3 aufeinander folgender, gleicher LCWs (LP) mit Ack=x (LD now recognizes the LCW of LP.)
3. LCW (LD) mit Ack=1 senden (Info to LP: I received your LCW.)
4. Empfang 3 aufeinander folgender, gleicher LCWs (LP) mit Ack=1 (Info from LP to LD: I received your LCW.)
5. Senden weiterer 6-8 LCWs (LD) mit Ack=1 (To be certain that the handshake is complete.)

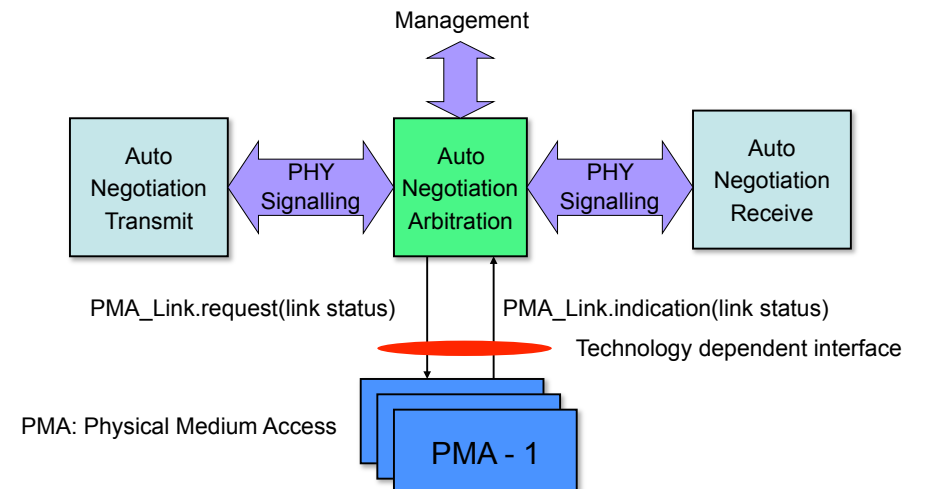
LCW: Link Control Word

Signalisierung bei der Auto Negotiation

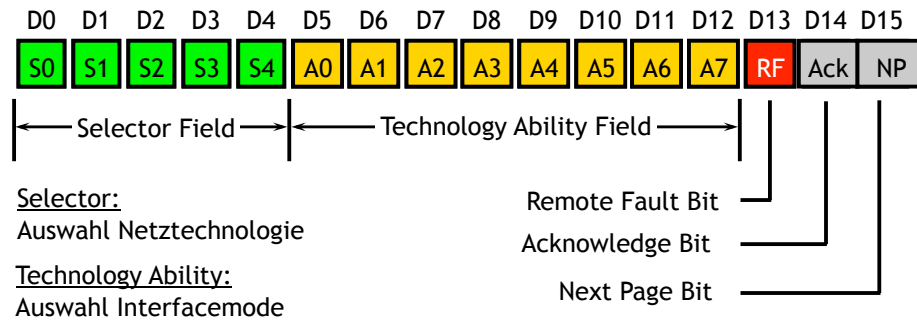
- PHY-Layer Primitive: PMA_Link.Request
Funktion: Link Control, Auto-negotiation.
- Der Link Control Parameter kann die Werte: SCAN_FOR_CARRIER, DISABLE, oder ENABLE einnehmen
- Der Fast Link Pulse (FLP) Burst besteht aus einer Gruppe 17 – 33 10BASE-T kömpatiblen Link Integrity Test Pulsen.
- Jeder FLP Burst kodiert 16 Datenbits mittels alternierender Takt- und Daten-Impulsfolge.



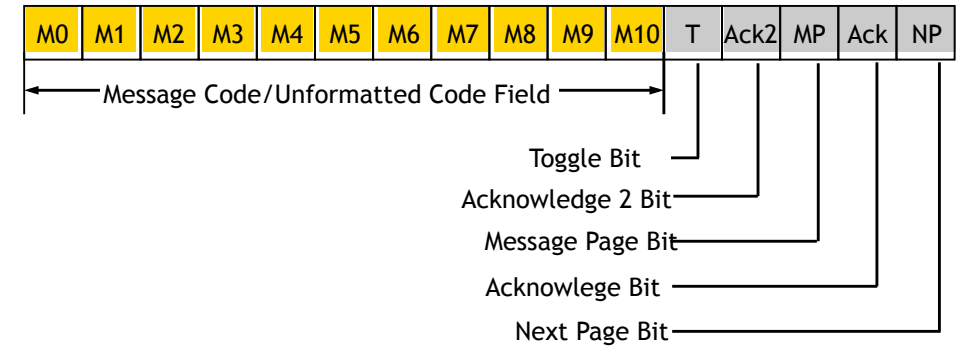
Arbitration Funktion



Base Link Codeword Format



Next Page Link Codeword Format



Inhalt

- Ethernet Übersicht und Protokolle
- Ethernet Schicht-1
- Ethernet Link Schicht
- Medium Access Control
- Logical Link Control – LLC
- Ergänzende LAN Protokolle

Ethernet Protokollschichten

Schicht-1 Funktionen

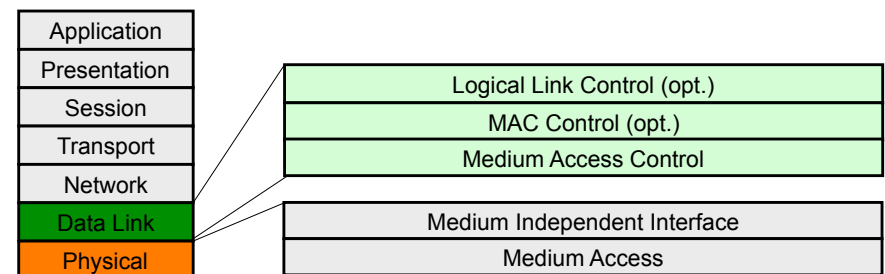
- Medium Access

Medium Independent Interface
Medium Interface

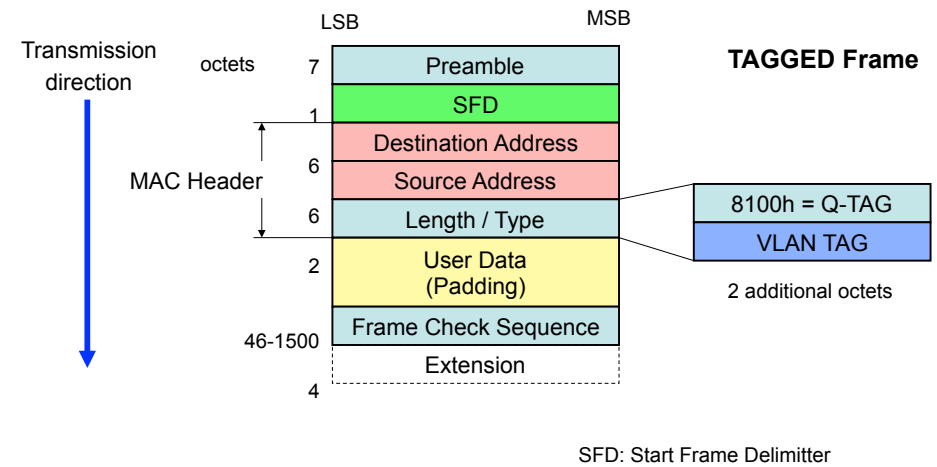
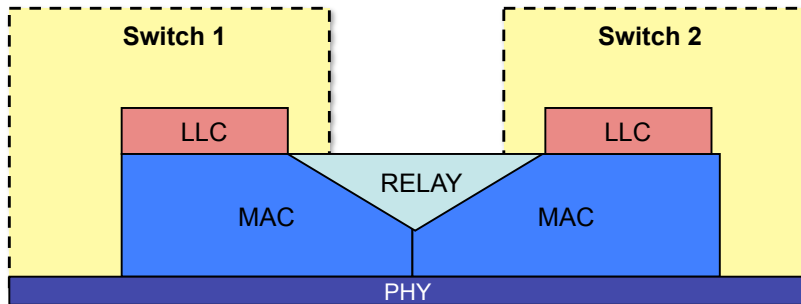
Schicht-2 Funktionen

- Zugang zum Übertragungsmedium
- Protokollsteuerung
- Link Verbindungssteuerung

Medium Access Control
MAC Control
Logical Link Control



Rahmen übertragen : Eingangsport -> Ausgangsport
 Fehlerhafte Rahmen beseitigen
 Rahmen zwischenspeichern und filtern
 Durchführung von Management Funktionen
 Durchführung von Quality of Service (priority, traffic class) Aufgaben



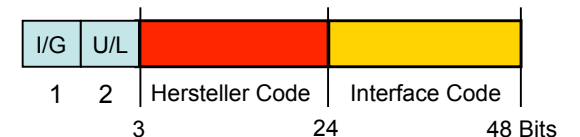
SFD: Start Frame Delimiter

- Aktivieren Sie Ihren Raspberry PI
- Laden Sie die GUI
- Verbinden Sie sich mit dem lokalen Kurs-WLAN
- Laden Sie das Trace-Programm Wireshark im shell-Fenster: sudo wireshark
- Aktivieren Sie einen Wireshark trace auf der WLAN0 – Schnittstelle
- Analysieren Sie die Ethernet Schicht

Beispiele:

Unicast: 00-01-68-50-23-45
 Broadcast: FF-FF-FF-FF-FF-FF
 Multicast: 01-80-C2-00-00-00

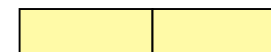
Multicast
 Bridge Management



I/G: 0 = Individuelle Adresse;
 1 = Gruppenadresse (Broadcast = FFh)
 U/L: 0 = Globale Adresse;
 1 = Lokale Adresse

Type / Length Field:

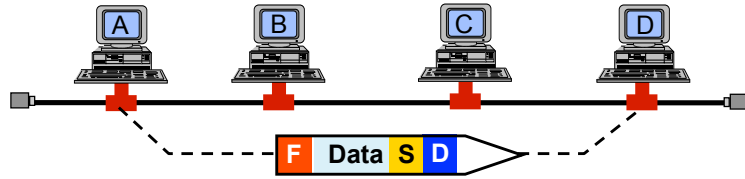
2 Octets



Beispiele: 0800 (2048): IP
 0806 (2054): ARP

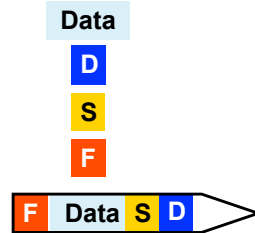
Falls Paket >= 1536 (0600h) TYPE - Interpretation : Protokoll - ID

MAC Adressierungsmethode

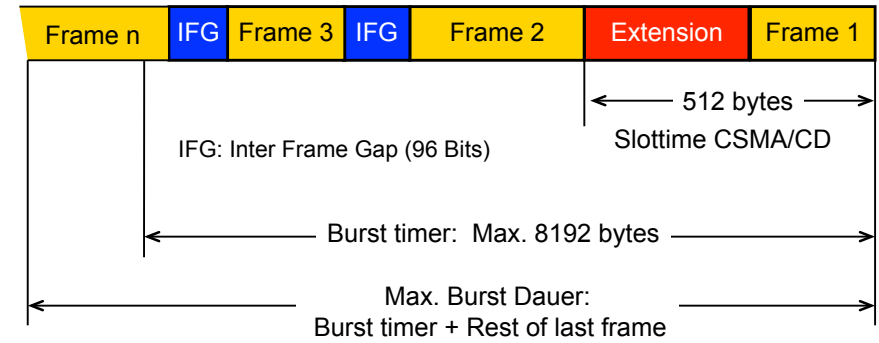


Nachricht (höhere Schichten):

- + Dest. address
- + Source address
- + Error checking
- = Frame (packet)



Frame Bursting

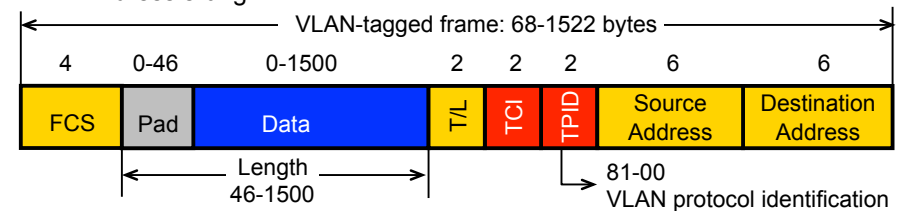


Inhalt

- Ethernet Übersicht und Protokolle
- Ethernet Schicht-1
- Ethernet Link Schicht
- Medium Access Control
- Logical Link Control – LLC
- Ergänzende LAN Protokolle

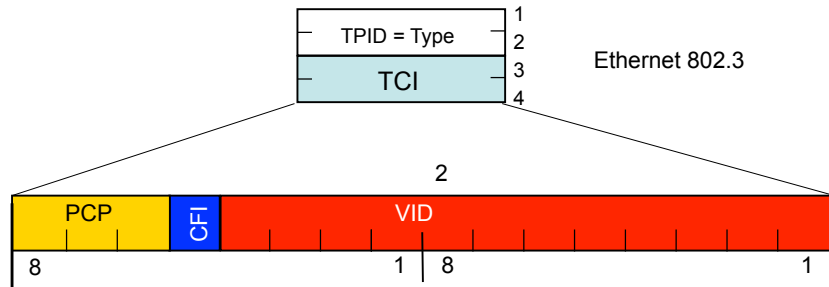
Virtual Local Area Network (VLAN)

- VLANs gruppieren Ethernet Hosts zu einem gemeinsamen LAN
- VLANs ermöglichen die Trennung der Ethernet Dienste
- Durch VLANs werden logische und physikalische Strukturen getrennt
- VLAN forwarding ermöglicht die Implementierung von Ethernet-basierten QoS Diensten
- Der Ethernet Header besitzt zusätzlich 2 Bytes für die VLAN Adressierung



TPID : TAG Protocol Identifier TCI: TAG Control Information

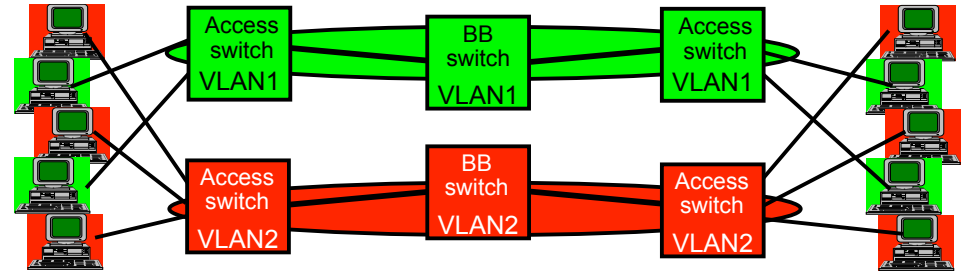
VLAN Tag Control Information (TCI)



- CFI:** Canonical format identifier
- VID:** VLAN identifier
- TPID:** TAG protocol ID
- PCP:** Priority Code Point
- TCI:** TAG control information

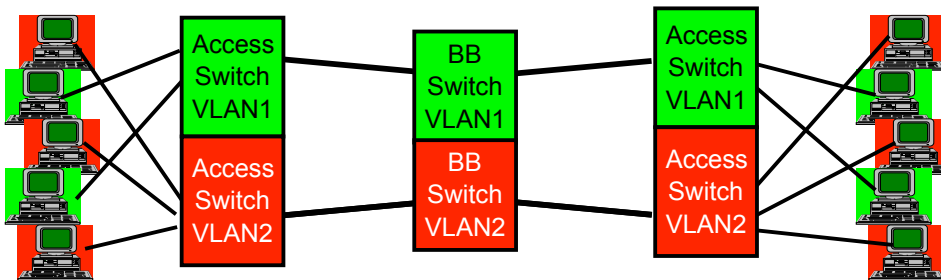
Virtual LAN Prinzipien (1)

- Virtual LAN Standard: IEEE 802.1Q
- VLAN Definition auf Port-Ebene
- Jedes VLAN kann als unabhängiges LAN betrachtet werden

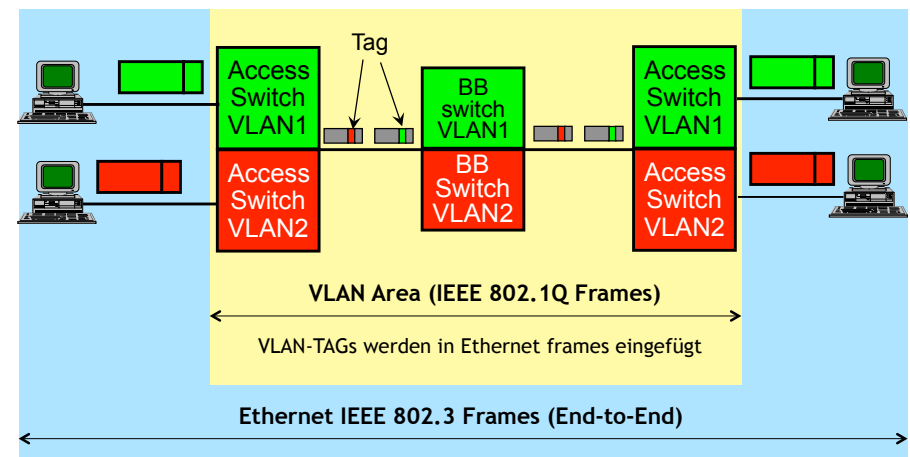


Virtual LAN Principles (2)

- Eine Netz-Infrastruktur für beide LANs



Virtual LAN Principles (3)



Ethernet Frame with VLAN Tag

IEEE 802.3/Ethernet DIX V2 Header

Frame Length : 68
 Destination Address : 00-80-16-00-80-C0,
 Source Address : 00-80-16-00-00-00,

802.1q Tag Type ID : 0x8100

Frame Checksum : Good,
 Frame Check Sequence : 01 4B 34 07

IEEE 802.1q - Virtual Bridged LAN

Tag Control Information : 0x2800
 1.... = Priority = 1
 ...0 = RIF Field is Not Present
 ... 1000 0000 0000 = VLAN ID = 2048

Frame Format : Ethernet DIX V2

Ethertype : 0x800 (IP)

IP - Internet Protocol
 Version : 4,
 Header length : 20
 Type of Service : 0x00

VLAN Arten (1)

Schicht-1 VLAN:

- LAN Switch Port abhängig
- unabhängig vom Schicht-2 Protokoll

Schicht-2 VLAN:

- Abhängig von der MAC-Adresse
- unabhängig vom Schicht-3 Protokoll

Schicht-3 VLAN:

- Abhängig von der IP-Adresse
- Definiert ein logisches Subnetz

Anwendungsschicht VLAN:

- Anwendungs-spezifisch z.B.VoIP

VLAN Arten (2)

Port-VLAN

Port	VLAN
1	1
2	1
3	2
4	1

Schicht-2 VLAN

MAC Address	VLAN
1212354145121	1
2389234873743	2
3045834758445	2
5483573475843	1

Protokoll-VLAN

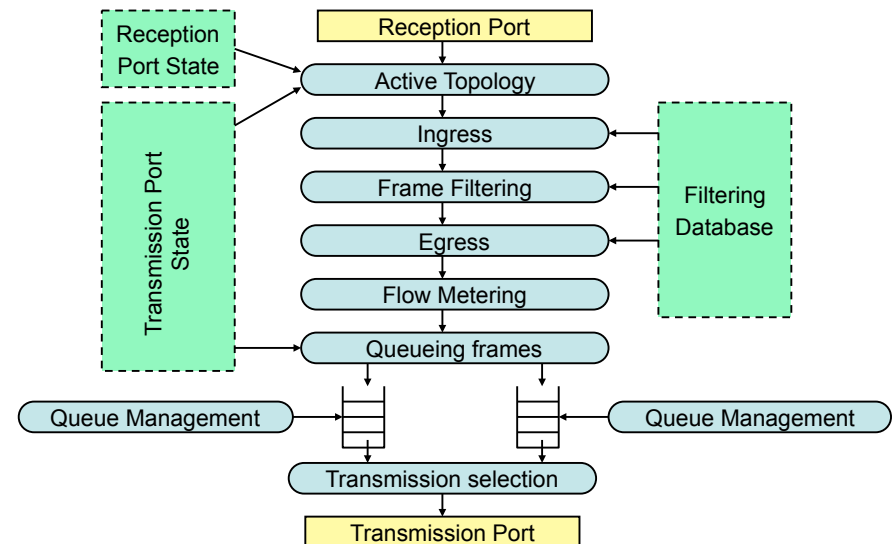
Protocol	VLAN
IP	1
IPX	2

Schicht-3 VLAN

IP Subnet	VLAN
23.2.24	1
26.21.35	2

802.1Q unterstützt Paketfilter für höhere Protokollschichten unterschiedliche Anwendungen können dadurch mit spezifischen QoS – Anforderungen transportiert werden

Forwarding Prozess



IEEE 802.1D/p

- Spezifiziert die dienstabhängige Verteilung und Priorisierung der LAN-Bandbreite
- 8 Priority Levels (0 – 7)
- Priorität wird durch die p-Bits im VLAN-Tag spezifiziert
- Möglichkeiten für das Management von :
 - Latenzzeit
 - Durchsatz

Network Control:

garantierte Zustellung der Rahmen mit höchster Priorität

Internetwork Control:

getrennte administrative Domains in großen Netzen

Sprache:

Verzögerung ≤ 10 ms, max Jitter nur durch die LAN Infrastruktur vorgegeben

Video:

Verzögerung ≤ 100 ms als primäre QoS Anforderung.

Kritische Anwendung:

garantierte min. Datenrate als primäre QoS Anforderung

Excellent Effort:

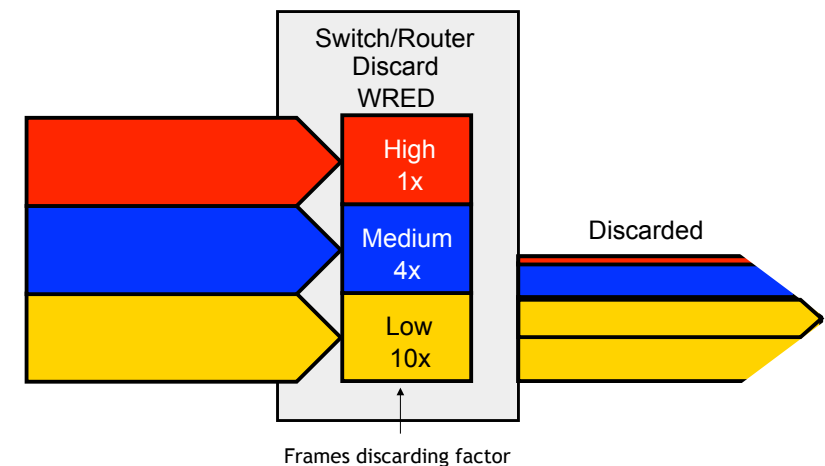
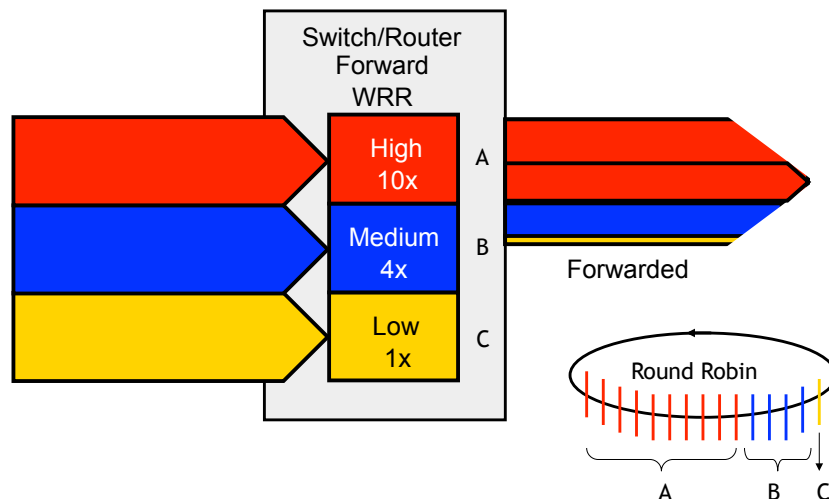
best-effort Service-Typ für Prime-users.

Best Effort:

Standard Verkehrsart für unpriorisierte Anwendungen

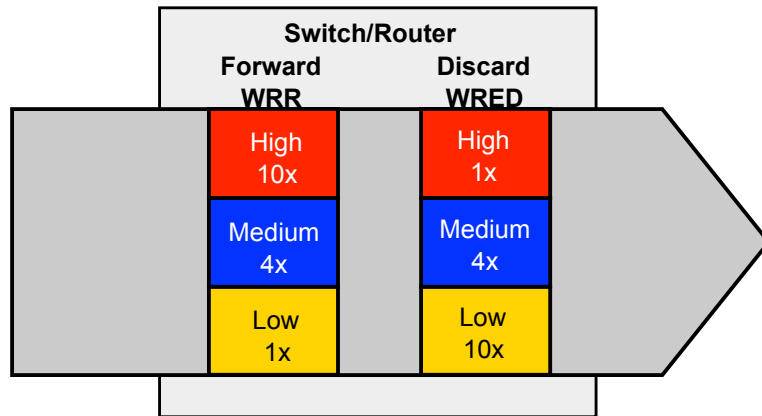
Background:

für Massendaten-Anwendungen ohne Auswirkungen auf die Netzgüte



Scheduling Methoden: WRR und WED

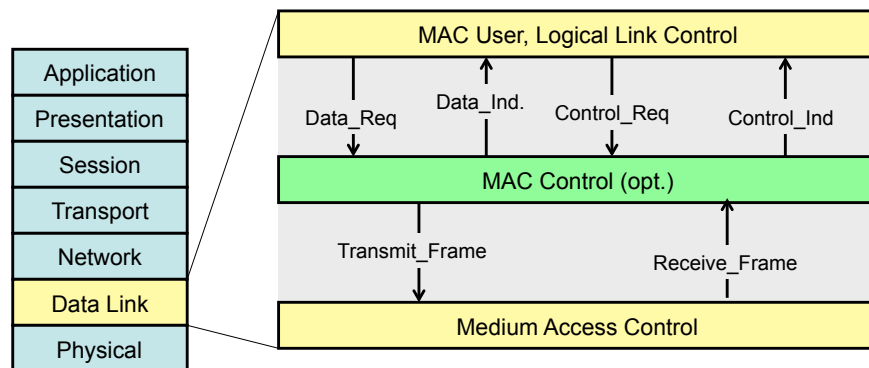
WRR: Weighted Round Robin
 WED: Weighted Early Discard



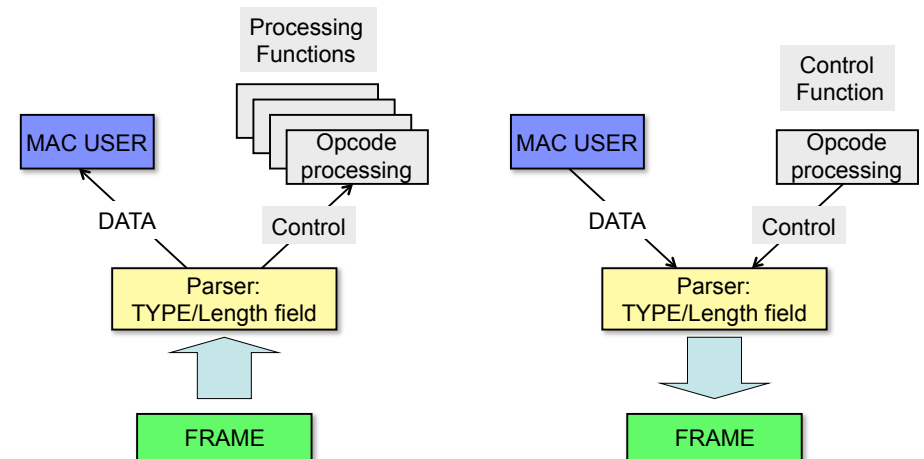
Inhalt

- Ethernet Übersicht und Protokolle
- Ethernet Schicht-1
- Ethernet Link Schicht
- Medium Access Control
- Logical Link Control – LLC
- Ergänzende LAN Protokolle

MAC Management Sublayer



Datentransport



Data Encapsulation (Senden und Empfangen)

- Rahmenbildung
frame boundary delimitation, frame synchronization
- Adressierung
source address und destination address
- Fehler Erkennung
Physical Medium Transmission Errors mittels FCS Berechnung

Media Access Management

- Medium Belegung
collision avoidance
- Bewerbung um das Medium
contention resolution, collision handling

Slot Time

Min. Übertragungszeit für einen Rahmen. **Berechnung:** $L_{min} \cdot \text{Übertragungsrate}$
 $L_{min} = 512$. Für 10Mbit/s : Slot time = $512 \cdot 10\text{Mbit/s} = 51.2 \mu\text{s}$ (1000Mbit/s: 0.512 μs)

Interframe Gap

Zeitintervall zwischen aufeinanderfolgenden Rahmen. Das Interframe Gap dauert 96 Bits. Bei 10 Mbit/s beträgt das Interframe Gap 9.6 μs (100Mbit/s: 0.96 μs)

Roundtrip Delay

Beträgt die doppelte Signalverzögerungszeit zwischen Sender und Empfänger.
 Regel: Roundtrip Delay < Slot Time

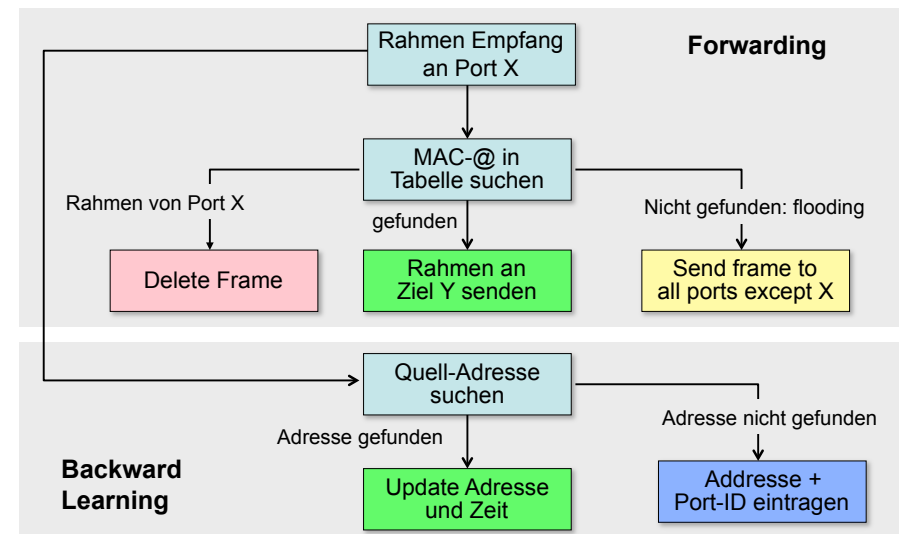
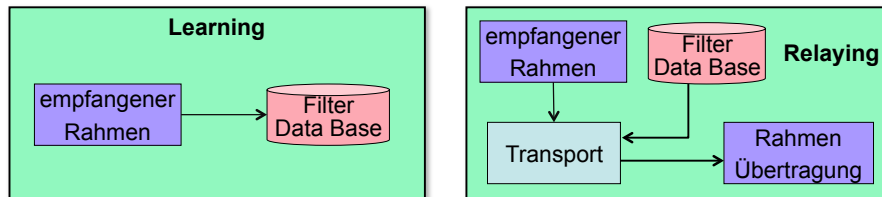
Backoff Time

Wartezeit nach einer Kollisionserkennung. Backoff time = $N \cdot \text{Slot Time}$. N ist eine Zufallszahl zwischen 1 und 1023. Maximalwert: 52377.6 μs .

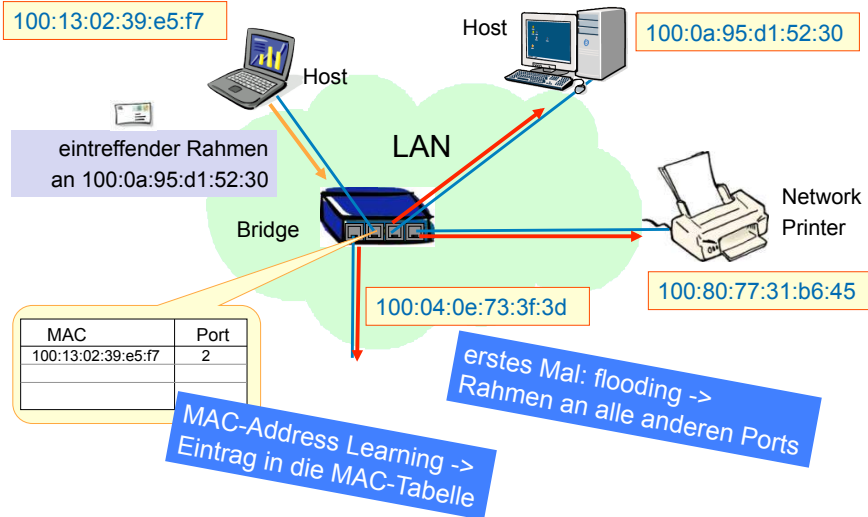
Frame Bursting

Zusammenfassung mehrerer Rahmen zu einem Burst mit einer max. Dauer von 65.536 μs .

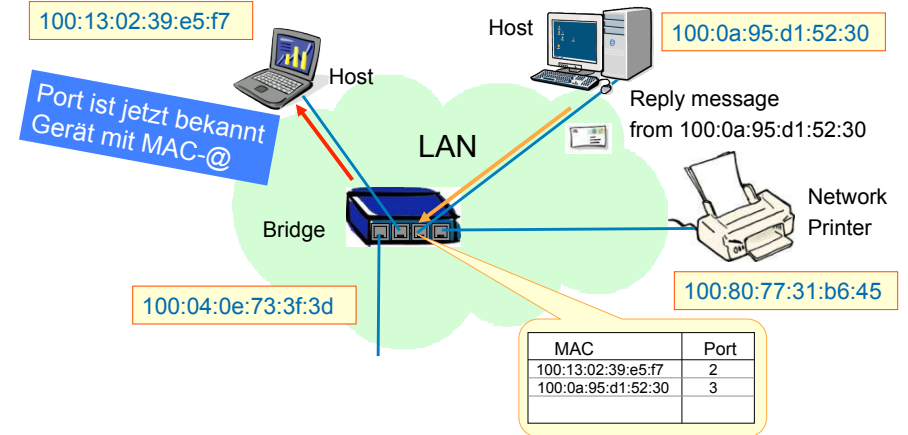
- Daten Filter ermöglichen die Kontrolle über spezielle Quell- und Zieladressen in bestimmten Netzsegmenten.
- Diese Funktion erlaubt den Aufbau von Verwaltungsgrenzen über welche bestimmte MAC-Adressen nicht weitergegeben werden
- Filter-Regeln und Filter-Entscheidungen werden bezüglich der MAC-Adressen durchgeführt



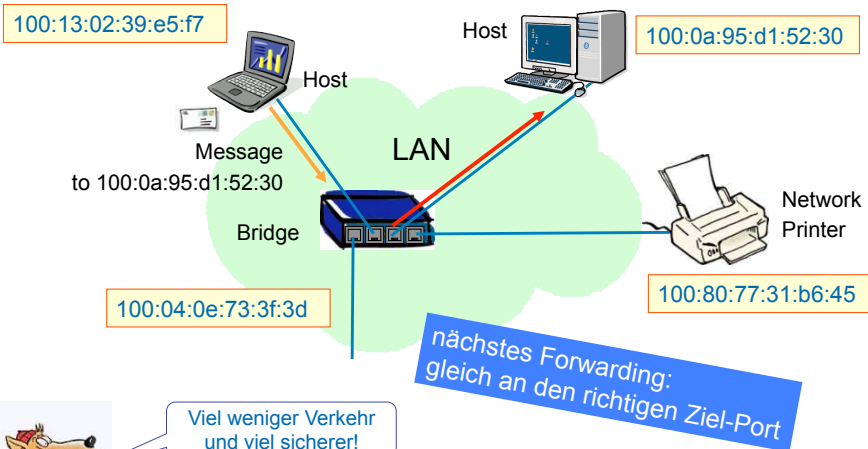
Ablauf : 1. Anfrage



Ablauf : Antwort



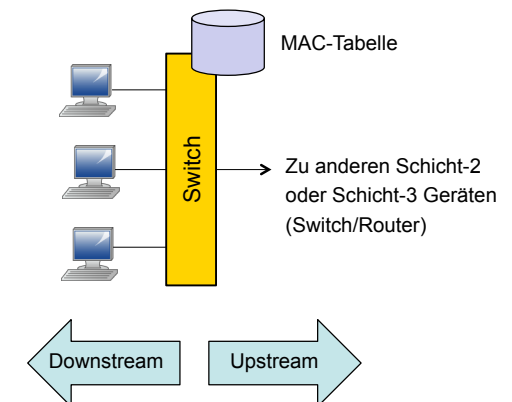
Ablauf : weitere Anfragen



Zusammenfassung

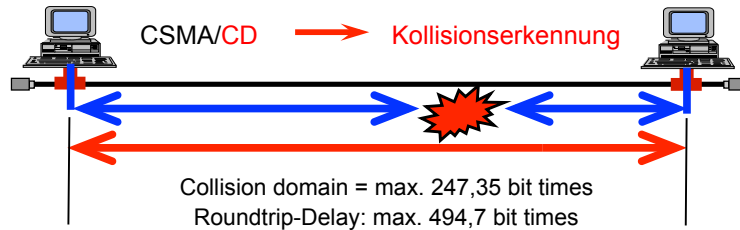
Schicht-2 Netzelement : Switch

- Die **MAC-Tabelle** enthält die Schicht-2 Adressen (MAC-Adressen) der angeschlossenen Geräte und deren Port-Nummer.
- Paketzustellung**
Packet Forwarding durch die Switch Software mit dieser Tabelle.
- Lebensdauer der MAC-Tabellen-Einträge ca. 300 sek.
- Eintrag wird gelöscht, wenn kein Paket übertragen wird.

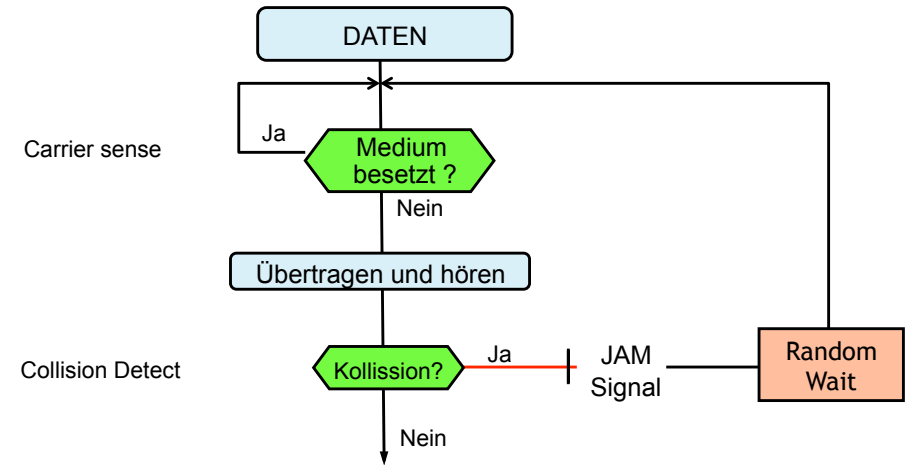


Kollisionen

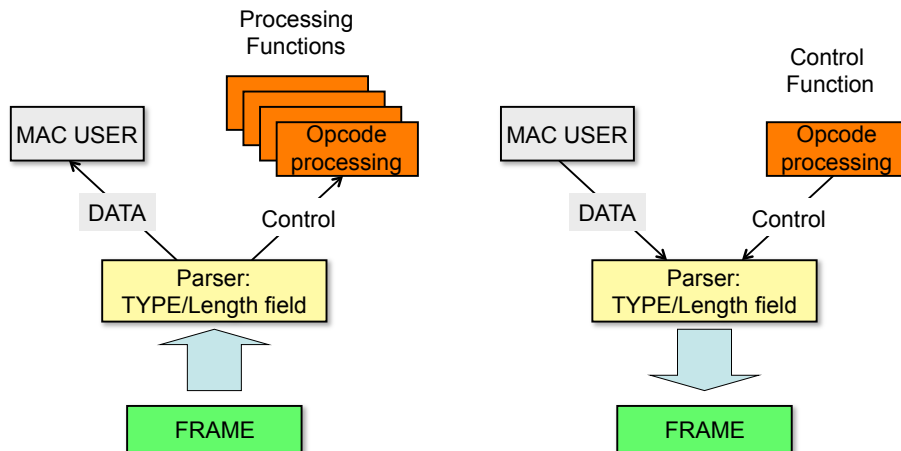
- Moderne Ethernet LANs vermeiden Kollisionen durch Punkt-zu-Punkt Topologie
- Eine Collision Domain ist ein Netzsegment in dem Datenkollisionen auftreten können, wenn zwei Stationen gleichzeitig den Bus belegen.
- Zur Vermeidung von Kollisionen dient CSMA-Zugangsmethode, bei der der Medium-Zustand überwacht wird.



CSMA/CD Prozedur



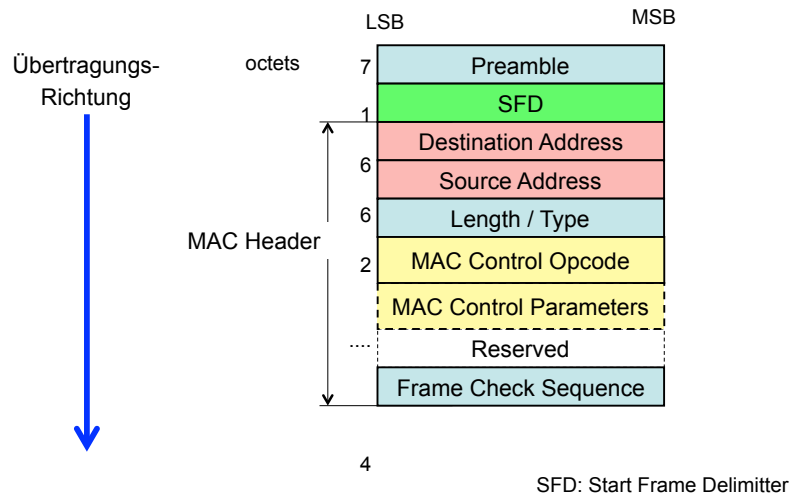
MAC-Schicht : Management Operations



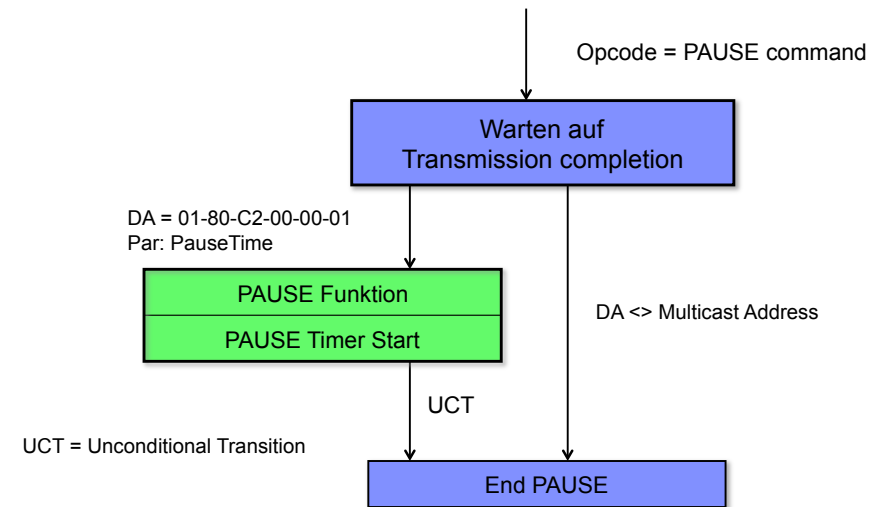
MAC Control Operations

Code	Function Name	Comment
00 00	Reserved	
00 01	PAUSE	Flow Control: stop transmission
00 02	GATE	Flow Control: start transmission
00 03	REPORT	Pending transmission requests
00 04	REGISTER_REQ	Flow Control: registration request
00 05	REGISTER	Flow Control: registration
00 06	REGISTER_ACK	Flow Control: registration acknowledged
00 07-FF FF	Reserved	

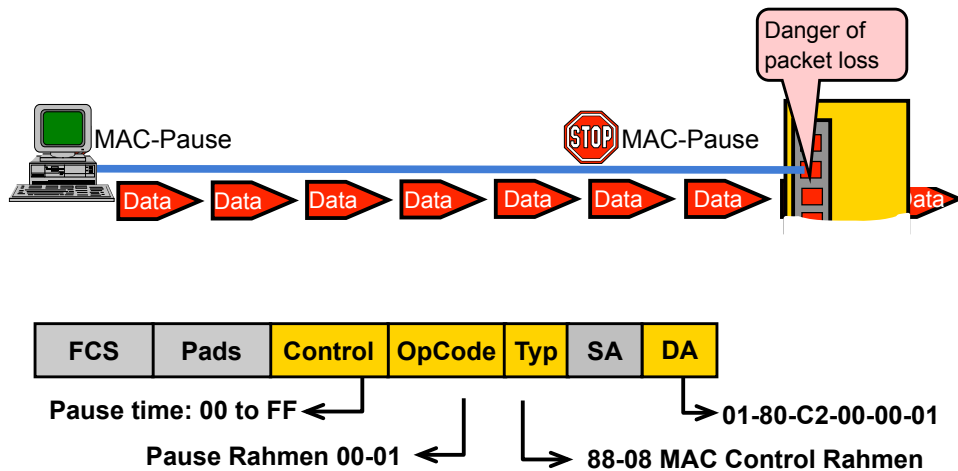
MAC Control Frame



PAUSE Operation

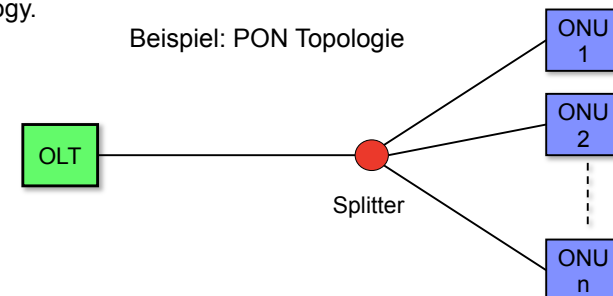


Full Duplex Flusskontrolle



Multipoint MAC Control

- Multipoint MAC Control deals with mechanism and control protocols required in order to reconcile the P2MP topology into the Ethernet framework.
- When combined with the Ethernet protocol, such a network is referred to as Ethernet passive optical network (EPON).
- P2MP is an asymmetrical medium based on a tree (or tree-and-branch) topology.



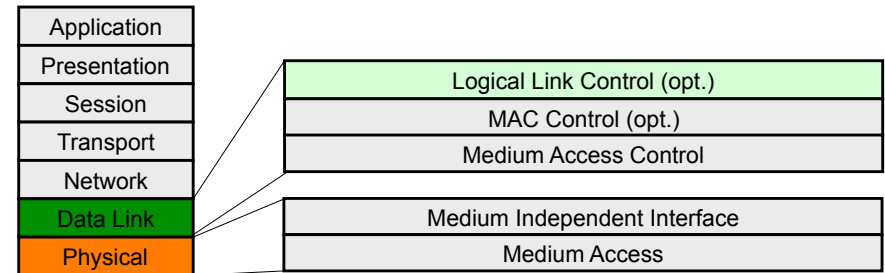
- Ethernet Übersicht und Protokolle
- Ethernet Schicht-1
- Ethernet Link Schicht
- Medium Access Control
- Logical Link Control – LLC
- Ergänzende LAN Protokolle

Schicht-2 Funktion

■ Link Verbindungssteuerung

Logical Link Control

LLC bildet die Schnittstelle zur Netz-Schicht (Schicht-3) wie z.B. das Internet Protokoll (IP)

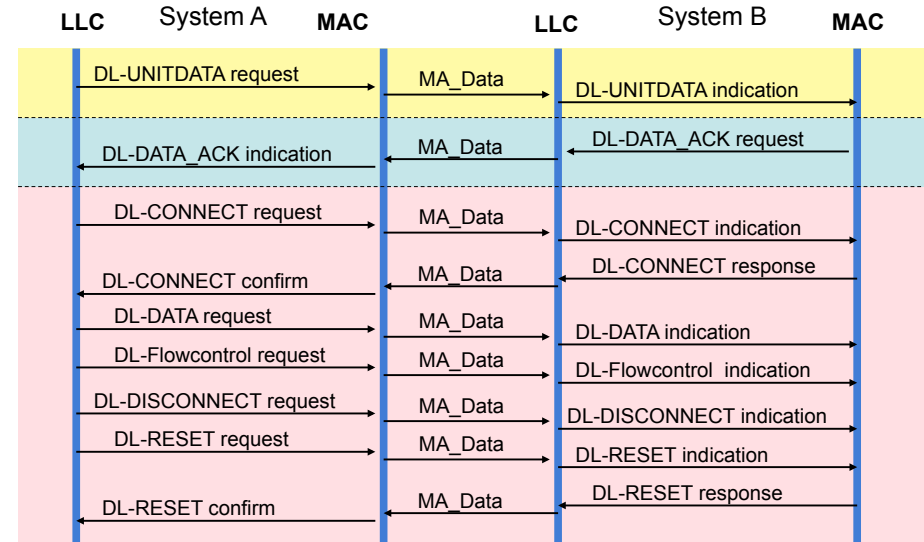


- Logical Link Control stellt der übergeordneten Schicht Dienste zur Verfügung, die durch **Service Access Point Addresses (SAP)** aktiviert werden.
- Ein SAP adressiert Prozeduren für spezifische Dienste der Protokollschicht
- SAPs werden z.B. für Signalisierung, Management und Datentransfer verwendet.
- LLC Dienste werden durch **LLC Dienstprimitive** aktiviert

LLC Service-Arten:

- Verbindungslos - unquittiert
- Verbindungsorientiert
- Verbindungslos - quittiert

- Type-1 Operationen
- Type-2 Operationen
- Type-3 Operationen



LLC Nachrichten

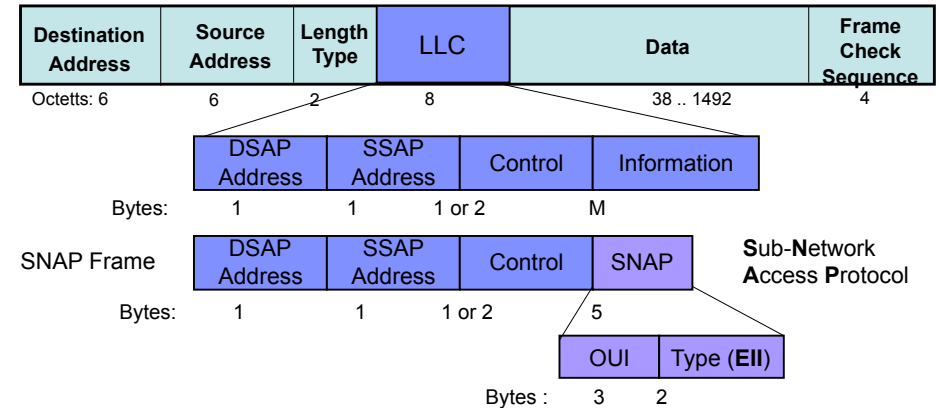
Symbol	Name	C/R
I	Information	C/R
RR	Receive Ready	C/R
RNR	Receive not Ready	C/R
REJ	Reject	C/R
FRMR	Frame Reject	R
UI	Unnumbered Information	C
UA	Unnumbered Ack	R
DISC	Disconnect	C
DM	Disconnect Mode	R
SABME	Set Asynchronous Balanced Mode extended	C

Symbol	Name	C/R
XID	Exchange Identification	C/R
TEST	Test message	C/R
AC0	Acknowledged CL Information Seq. 0	C/R
AC1	Acknowledged CL Information Seq. 1	C/R

non-HDLC Messages

HDLC Messages

LLC Rahmenformat



DSAP: Destination Service Access Point Address
SSAP: Source Service Access Point Address
Control: Command/Response function (16 bit format includes numbering)
Information: Protocol Parameter field

LLC Adresse und Control Format



I/G = 0: individual DSAP
 I/G = 1: Group DSAP

C/R = 0: Command
 C/R = 1: Response

Example:
 DSAP = 1 1 1 1 1 1 1 1 1 (FFh) : Global DSAP Address

Control field formats:

0	N(S) 7 bits		P/F	N(R) 7 bits	I-Format
1 0	S S	X X X X	P/F	N(R) 7 bits	S-Format
1 1	M M	P/F	M M M		U-Format

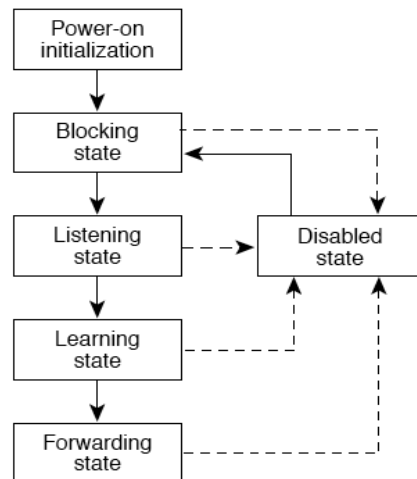
Inhalt

- Ethernet Übersicht und Protokolle
- Ethernet Schicht-1
- Ethernet Link Schicht
- Medium Access Control
- Logical Link Control – LLC
- Ergänzende LAN Protokolle
 - Spanning Tree Protocol – STP , RSTP
 - Link Aggregation Control Protocol - LACP

- Das Spanning Tree Protocol (STP) ist durch IEEE 802.1D spezifiziert
- STP wird durch das Rapid STP ersetzt
- RSTP kommuniziert mit STP
- RSTP ist wie STP ein Link Management Protokoll
- RSTP wird für die Ermittlung redundanter Links verwendet.
- Redundante Links führen zu ungewünschten Transport-Schleifen in lokalen Netzen.
- In einem Ethernet LAN kann zwischen zwei Stationen nur ein aktiver Pfad bestehen.
- RSTP definiert eine hierarchische Kommunikationsverbindung, das alle beteiligten Schicht-2 Netzelemente (Switches) einschließt
- RSTP blockiert alle redundanten Pfade

- Alle RSTP Switche sammeln mit Hilfe des Rapid Spanning Tree Protokolls Information über die existierenden Verbindungsleitungen
- Man nennt diese Nachrichten: Bridge Protocol Data Units (BPDUs)
- Die RSTP-Prozedur liefert:
 - Die Festlegung eines eindeutigen **Root Switches** als Ausgangspunkt für eine Spanning-Tree Netztopologie.
 - Die Festlegung eines **Designated Switches** für jedes LAN Segment.
 - Die Identifizierung von Schleifen (loops) im LAN-Netz und und Blockierung der redundanten Switch Ports

Jeder Port besitzt ein Status Register, das den aktuellen Port-Zustand enthält

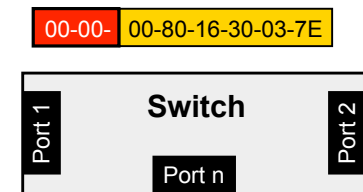


- Multicast address: 01-80-C2-00-00-00
- Bridge ID (BID):

Priority	MAC-Adresse
2 bytes	6 Bytes
- Port ID: Port 1; Port 2; Port n

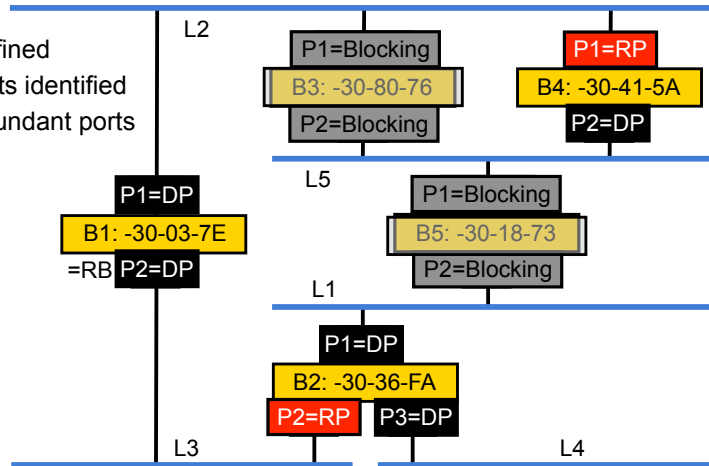
Spanning Tree Prozedur

1. Jeder Switch erhält eine relative Prioritätszahl. Die **BID = Prioritätszahl + MAC-Adresse** definieren die Bridge-Priorität
2. Die Bridge mit der niedrigsten BID wird die **Root Bridge**
3. Jede Bridge bestimmt einen **Root Port = niedrigste Path Cost + geringste Entfernung** zur Root Bridge.
Path Cost = 1000/line Kapazität in Mbit/s



Ergebnis der Spanning Tree Prozedur

1. Root Bridge defined
2. Designated ports identified
3. Blocking of redundant ports



Bridge Protocol Data Unit (BPDU)

PID	V	T	F	Root ID	Root Path Cost	Sender BID	PortID	M-Age	Max-A	Hello	FD
-----	---	---	---	---------	----------------	------------	--------	-------	-------	-------	----

Field Name	Length (Bytes)
Protocol ID (PID)	2
Version (V)	1
Type (T)	1
Flags (F)	1
Root ID	8
Root Path Cost	4
Sender BID	8
Port ID	2
Message Age (M-Age)	2
Max-Age (Max-A)	2
Hello	2
Forward Delay	2

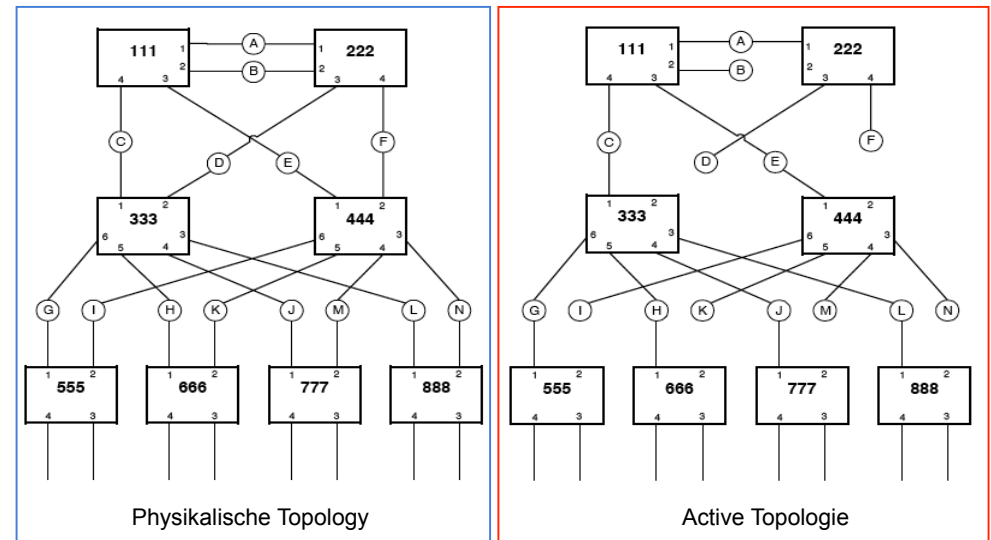
Priority Vector

- Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) Bridges tauschen Informationen (BPDUs) aus zur Ermittlung der **Root Bridge** und der **kürzesten Entfernung** (shortest path) von jedem LAN und allen anderen Bridges.
- Diese Information heißt: *Spanning Tree Priority Vector*.

Priority Vector Komponenten

Root Bridge Identifier, Root Path Cost zur Root Bridge von der sendenden Bridge	Netz
Bridge Identifier der sendenden Bridge Port Identifier von dem Port über den die Nachricht übertragen wurde	Lokal
Port Identifier von dem Port über den die Nachricht empfangen wurde	internal

Bridge Configuration Example



Priority Vector Berechnung

port priority vector = {RootBridgeID : RootPathCost : DesignatedBridgeID : DesignatedPortID : BridgePortID}

message priority vector = {RD : RPCD : D : PD : PB}

root path priority vector = {RD : RPCD + PPCPB : D : PD : PB }

Bedingungen für die Message Priority Vector als Ersatz für den Port Priority Vector:

- A ((RD < RootBridgeID)) ||
- B ((RD == RootBridgeID) && (RPCD < RootPathCost)) ||
- C ((RD == RootBridgeID) && (RPCD == RootPathCost) && (D < DesignatedBridgeID)) ||
- D ((RD == RootBridgeID) && (RPCD == RootPathCost) && (D == DesignatedBridgeID) && (PD < DesignatedPortID)) ||
- E ((D == DesignatedBridgeID.BridgeAddress) && (PD == DesignatedPortID.PortNumber))

Inhalt

- Ethernet Übersicht und Protokolle
- Ethernet Schicht-1
- Ethernet Link Schicht
- Medium Access Control
- Logical Link Control – LLC
- Ergänzende LAN Protokolle
 - Spanning Tree Protocol – STP , RSTP
 - Link Aggregation Control Protocol - LACP

Link Aggregation - LACP

Definition

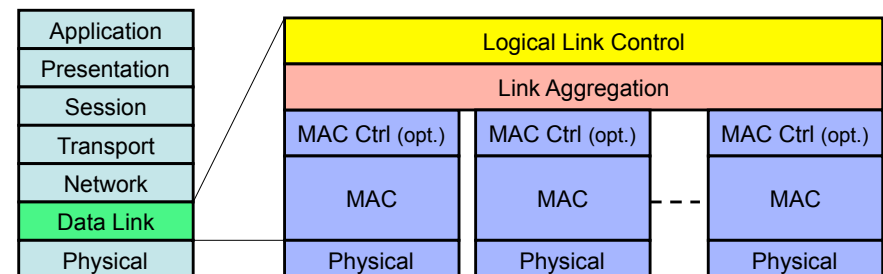
- Das Link Aggregation Control Protocol LACP unterstützt die Gruppierung von physikalischen Links zu einer logischen Einheit. Diese Link-Gruppe wird wie ein physikalischer Link behandelt

Eigenschaften:

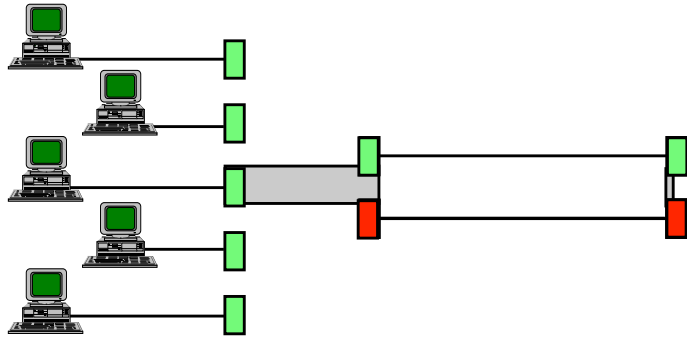
- **Erhöhung der Datenrate:**
Die Kapazität mehrerer Ports addiert sich zu einem logischen Link
- **Load sharing:**
Schicht-2 Verkehr wird über mehrere Links verteilt
- Keine Änderung im IEEE 802.3 Rahmenaufbau
- **Netzmanagement:**
Link Aggregation Objecte sind im Standard Netzmanagement definiert
- Link Aggregation ist nur für **Punkt-zu-Punkt Verbindungen** im Full-duplex Mode verfügbar

Ethernet Protocol Layers

Link Aggregation umfasst einen optionalen Sublayer zwischen der MAC User und der MAC- oder optionalen MAC Control - Schicht

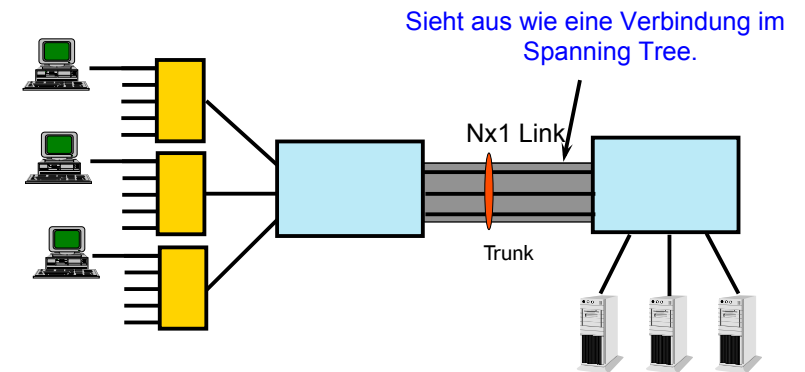


Spanning Tree Nachteile



- **Redundanz:** hohe Umschaltzeit aus dem Blockierungszustand
- **Lastverteilung:** ungeeignet
- **Skalierbarkeit:** 10M/100M/1G; nicht n x 100M

Link Aggregation (IEEE 802.3-Clause 43)



Funktionsprinzip

Aggregator:

- verbindet einen oder mehrere Hardware-Ports in einem System.
- **verteilt** Rahmen vom MAC Client an die Ports
- **sammelt** empfangene Rahmen aus den Ports an den MAC Client

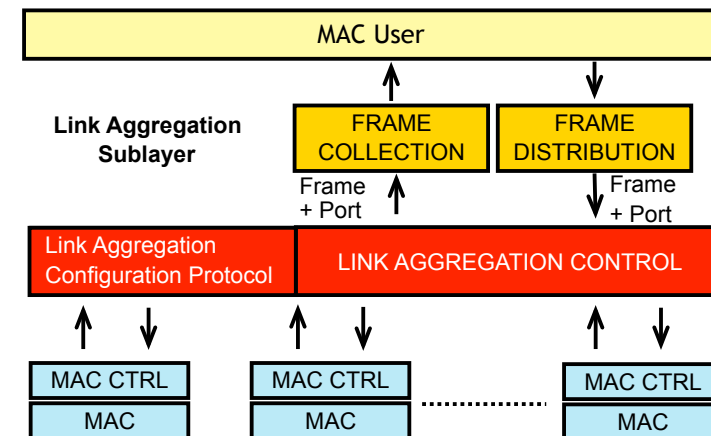
System:

- kann mehrere Aggregatoren für mehrere MAC Clients enthalten
- ein Port gehört zu einer bestimmten Zeit einem bestimmten Aggregator
- Ein MAC Client wird zu einer bestimmten Zeit von einem bestimmten Aggregator bedient

Link Aggregation Control Function (LAC):

- Die Port-Aggregation wird durch die Link Aggregation Control Function realisiert.

Referenzmodell



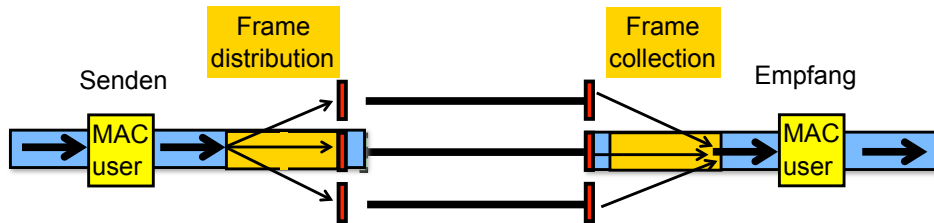
Frame Distribution / Frame Collection Functions

Frame distribution

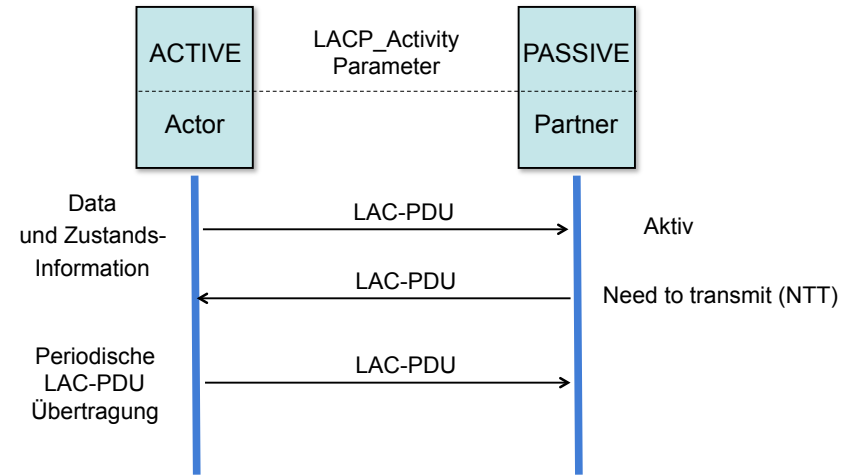
- Zuständig für die **Verteilung** der Frames über die physikalischen Links.
- Sicherstellung dass keine Frames verdoppelt wurden

Frame collection

- Zuständig für die ursprüngliche Wiederherstellung der Paket-Reihenfolge
- Ablieferung der Pakete an die **MAC Client** Funktion.



Link Aggregation Control Protocol Konzept

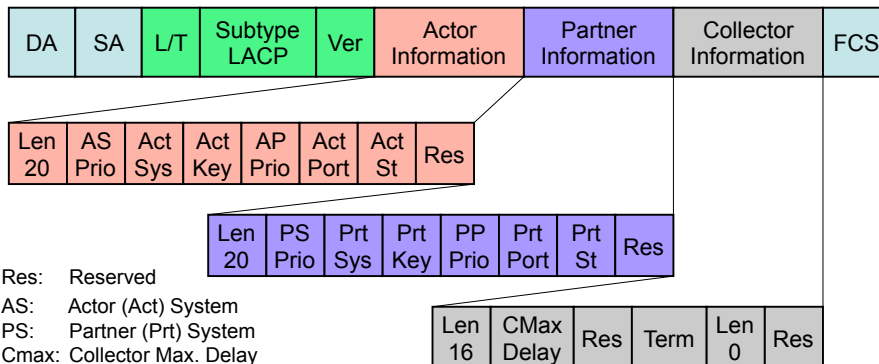


Im LACP gibt es keinen Frame Loss Detection und Retry Mechanismus

LACP Nachrichten

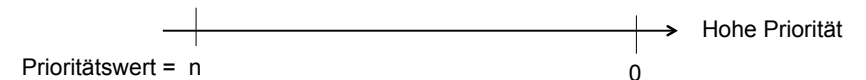
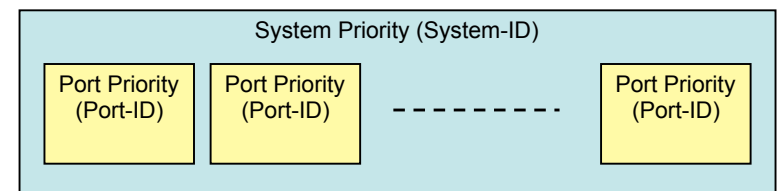
Link Aggregation Control konfiguriert und überwacht den Link Aggregation sublayer mittels statischer und dynamischer Informationen

LACP Protocol Data Unit Format:



Link Priority

- Jedem LACP-Link ist eine eindeutige Priorität zugewiesen
- Prio-0 ist der höchste Prioritätswert.
- Ports werden gemäß ihrer lokalen **Priorität bezeichnet**.



Industrielle Bussysteme : Internet

Dr. Leonhard Stiegler
Automation

www.dhbw-stuttgart.de

- Einführung: Telekommunikationsprotokolle
- Internet Protokollschichten
- IP Version 4
- Beziehung : MAC-Adresse – IP-Adresse
- IP Adressierung, Subnetze
- Übersicht : IP-Routing
- IP Transportschichten: TCP und UDP
- Internet Control Protocol ICMP

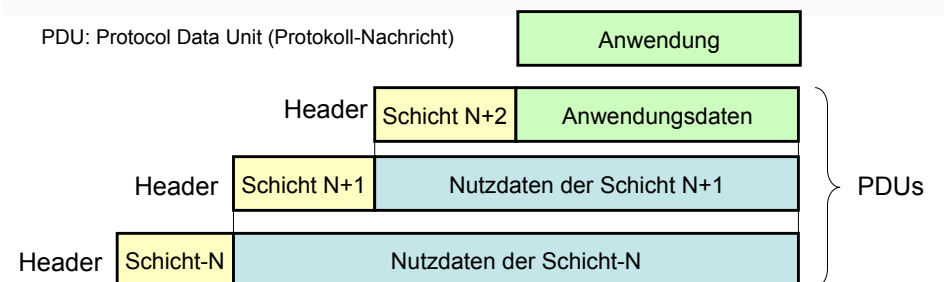
Definition: Kommunikationsprotokoll

Kommunikationsprotokolle spezifizieren :

- Formate, Datentypen und Inhalte der Protokollnachrichten (PDUs)
- Protokollschichten, welche PDUs austauschen
- Zeitbedingungen für den PDU-Austausch
- Dienste, welche von unteren Schichten zur Verfügung gestellt werden
- Protokoll-Zustände und die erlaubten Zustandsübergänge *beschrieben durch Zustandsdiagramme*
- Fehlerbehandlung

Kommunikation der Protokollschichten

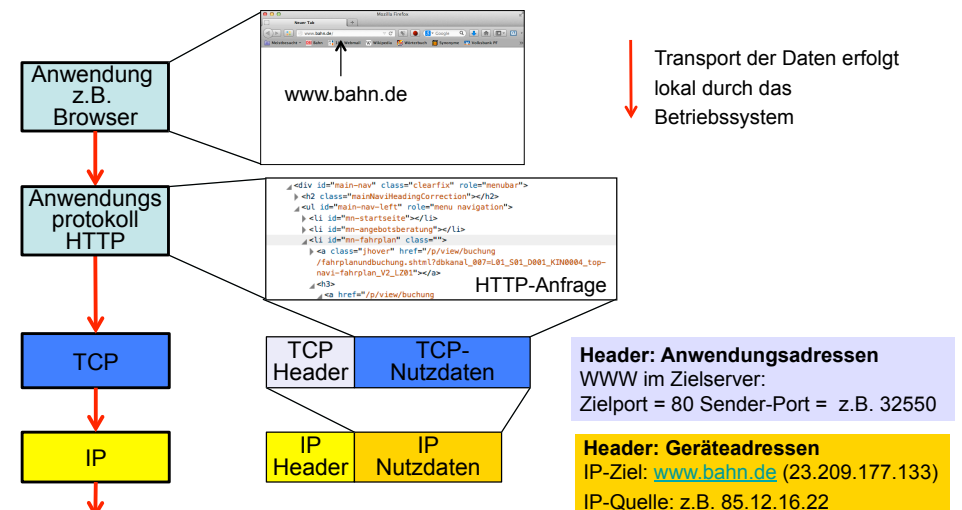
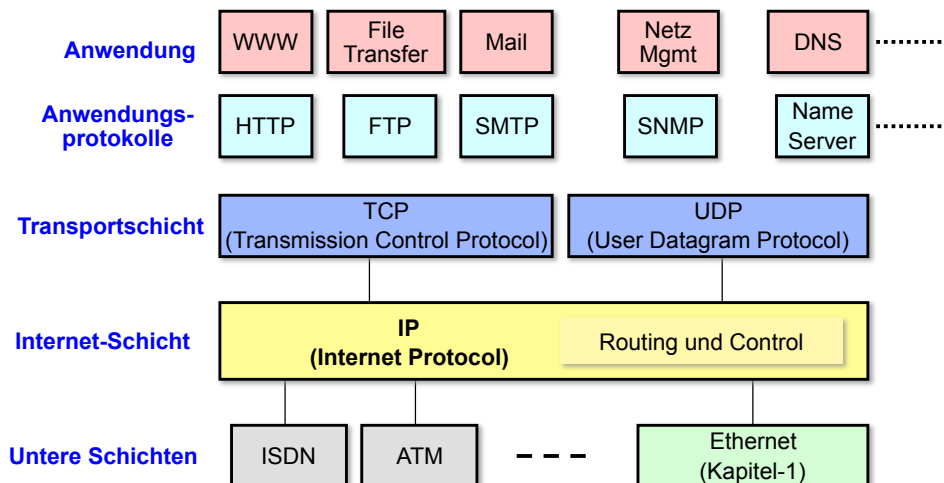
- Jede Protokollschicht besitzt einen Protokollheader, der die Funktionen der Protokollschicht realisiert.
- Jede Protokollschicht stellt ihren Header vor die Daten der darüber liegenden Schicht
- Eine Protokollnachricht der Schicht-N enthält alle darüber liegenden Protokollschichten.

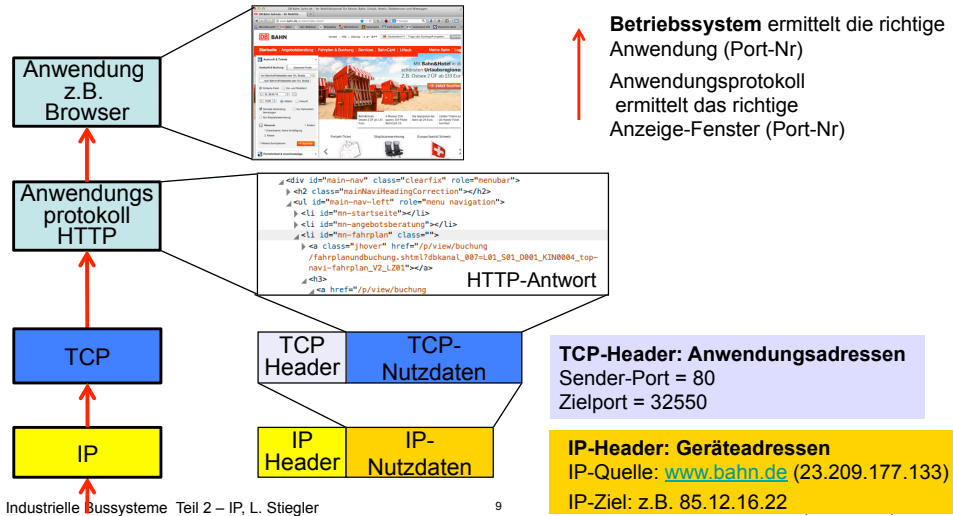


Request for Comments RFC: offizielle IETF Dokumente

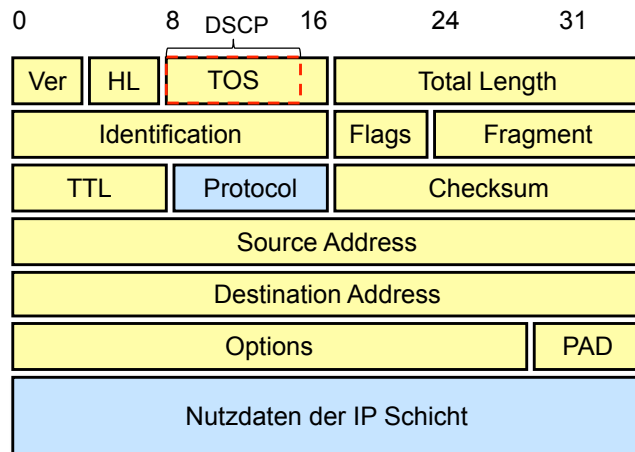
- Experimental RFC: Versuchsstadium
- Informal RFC: zur Information und Koordination
- Best Current Practice RFC: Implementierungs-Hinweise
- Standards Track RFC: offizielle Standards (Standard-Vorschläge, Draft standard)
- Internet Draft Documents (ID): nicht-offizielle Arbeits-papiere, mögliche RFC-Vorläufer

- Einführung: Telekommunikationsprotokolle
- **Internet Protokollschichten**
- IP Version 4
- Beziehung : MAC-Adresse – IP-Adresse
- IP Adressierung, Subnetze
- Übersicht : IP-Routing
- IP Transportschichten: TCP und UDP
- Internet Control Protocol ICMP





- Einführung: Telekommunikationsprotokolle
- Internet Protokollschichten
- IP Version 4
- Beziehung : MAC-Adresse – IP-Adresse
- IP Adressierung, Subnetze
- Übersicht : IP-Routing
- IP Transportschichten: TCP und UDP
- Internet Control Protocol ICMP



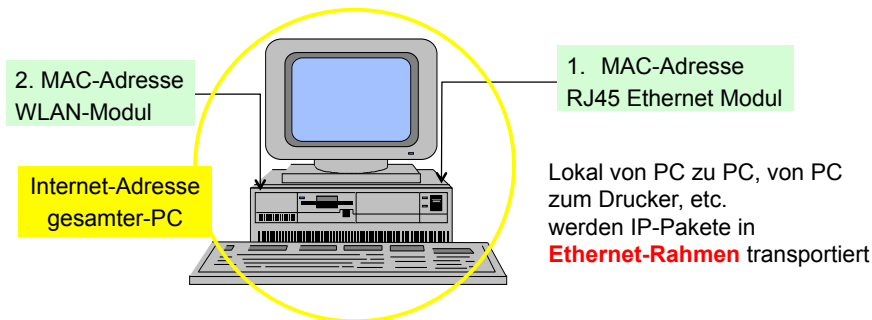
DSCP: Differentiated Services Code Point

Feldname	Länge [Bits]	Bedeutung
VER	4	IP Versionsnummer
HL	4	Header Länge in 32-Bit Einheiten
TOS	8	Type of Service Bits 0-5: DSCP (Differentiated Services Code Point) Bits 6-7: ECN (Explicit Congestion Notification – IP-Flusskontrolle)
Total Length	16	Paketlänge in Bytes
Identification	16	Steuerung der Fragmentierung
Flags	3	Bit 0 reserviert = 0 Bit 1 DF Don't Fragment Bit 2 MF More Fragments
Fragment	13	Fragment Offset

Feldname	Länge [Bits]	Bedeutung
TTL	8	Time to Live : Lebensdauer in Anzahl der Hops
Protocol	8	Protokollname der folgenden Schicht
Checksum	16	Header Prüfsumme
Source Address	32	Sender-Adresse
Destination Address	32	Ziel-Adresse
Options	Max. 32	Zusatzinformation für Routing und Transport-Sicherheitsmethoden
PAD	Variabel	Füllbits zu 32 Bit
Data	Variabel	Nutzdaten

- Einführung: Telekommunikationsprotokolle
- Internet Protokollschichten
- IP Version 4
- **Beziehung : MAC-Adresse – IP-Adresse**
- IP Adressierung, Subnetze
- Übersicht : IP-Routing
- IP Transportschichten: TCP und UDP
- Internet Control Protocol ICMP

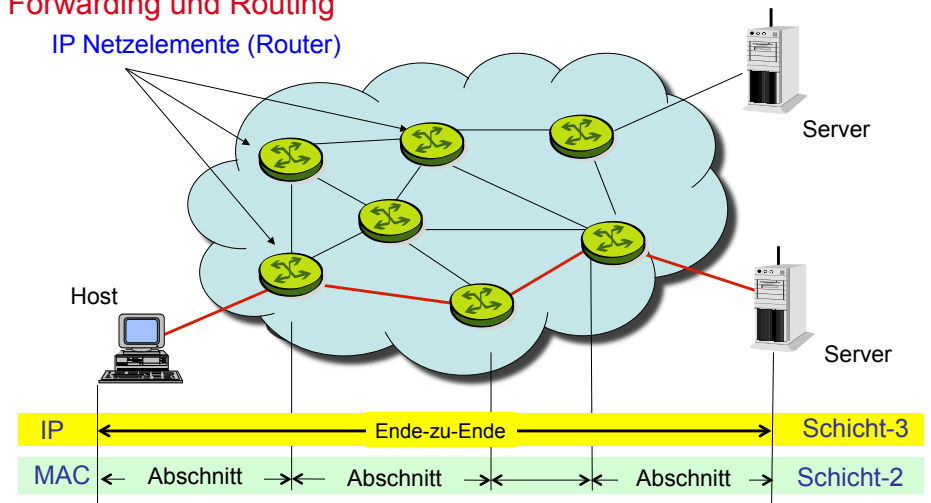
MAC-Adressen sind vom Hersteller fest vorgegeben



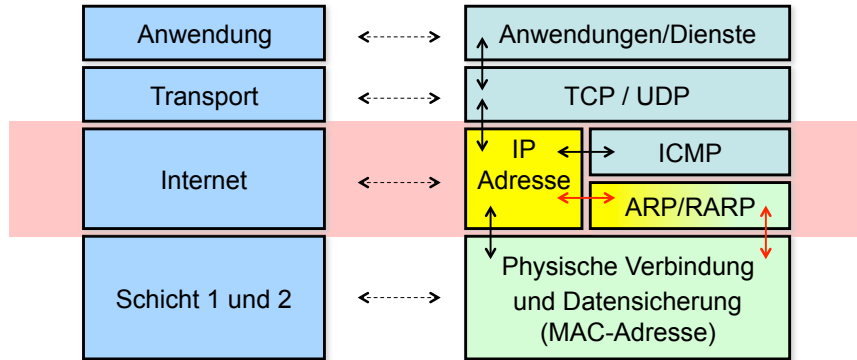
Internet Adressen werden **zugeweiht**

Mittels der Internet Adresse wird ein Gerät (Host) eindeutig adressiert

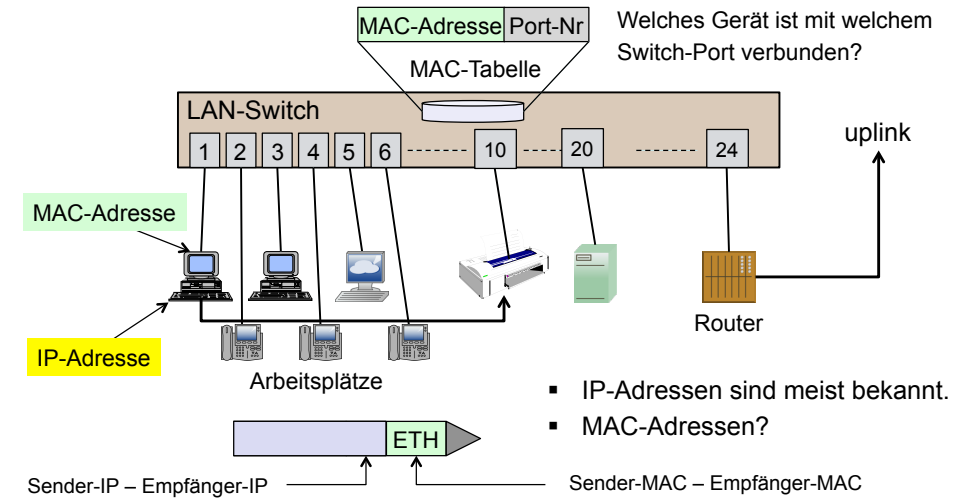
IP Netzelemente (Router)



Die Kooperation zwischen Schicht-2 und Schicht-3 spielt für die Kommunikation im Anschlussbereich eine entscheidende Rolle.

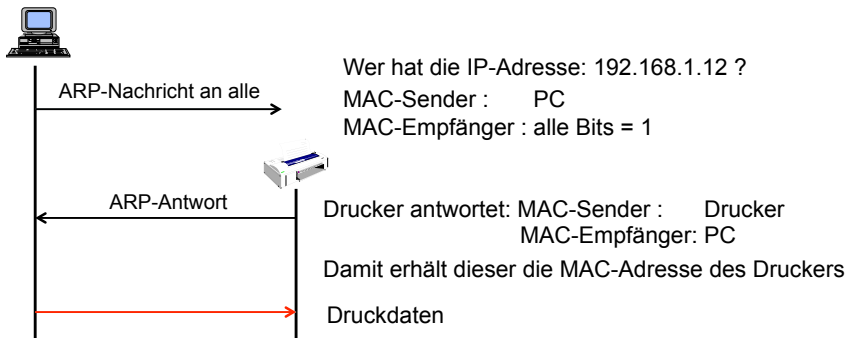


Drahtgebunden z. B. Ethernet oder drahtlos z.B. WLAN



- IP-Adressen sind meist bekannt.
- MAC-Adressen?

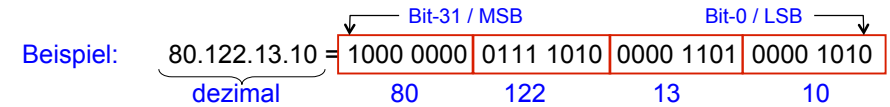
- PC kennt die IP-Adresse des Druckers (z.B. 192.168.1.12 aus der Drucker-Konfiguration) aber nicht dessen MAC-Adresse
- PC benötigt die MAC-Adresse des Druckers um diesen ein Ethernet-Paket schicken zu können



- Analysieren Sie mittels Wireshark das Protokollverhalten Ihres Raspberry PI sobald er mit dem WLAN Router verbunden ist.
- Auf welche Weise wird die MAC-Adresse des Routers ermittelt?

- Einführung: Telekommunikationsprotokolle
- Internet Protokollschichten
- IP Version 4
- Beziehung : MAC-Adresse – IP-Adresse
- IP Adressierung, Subnetze
- Übersicht : IP-Routing
- IP Transportschichten: TCP und UDP
- Internet Control Protocol ICMP

- Internet Adressen des IPv4-Protokolls sind 32-Bit lang.
- Sie werden in vier Teile a' 8 Bit zerlegt und als Dezimalzahlen angegeben



- Die Internetadresse wird in zwei logische Teile zerlegt:
- Der vordere Teil (höherwertige Bits) benennt das **Netz**, zu dem die IP-Adresse angehört (**Netz-Teil**)
- Der hintere Teil (niederwertige Bits) adressiert alle Terminals (**Hosts**).
- Die **Netzmaske** legt die beiden Teile (Netz- und Host-Adresse) fest.

IPv4 Adressen werden in Klassen und Spezialfunktionen eingeteilt.
Die Klasseneinteilung geschieht je nach Größe der Netz- bzw. Host-Anteile.

- **Klasse-A:** Prefix: **0**
8-bit Network (/8) **Bereich:** 0.0.0.0 bis 127.0.0.0
8-Bit Netz + 24-Bit Host
- **Klasse-B:** Prefix: **1 0**
16-bit Network (/16) **Bereich:** 128.0.0.0 bis 191.255.255.255
16-Bit Netz + 16-Bit Host
- **Klasse-C:** Prefix: **1 1 0**
24-bit Network (/24) **Bereich:** 192.0.0.0 bis 223.255.255.255
24-Bit Netz + 8-Bit Host
- **Klasse-D:** Prefix: **1 1 1 0**
Adressierung von Host-Gruppen (Multicast) **Bereich:** 224.0.0.0 bis 239.255.255.255
- **Klasse-E:** Prefix: **1 1 1 1**
reservierter Bereich **Bereich:** 240.0.0.0 bis 255.255.255.255

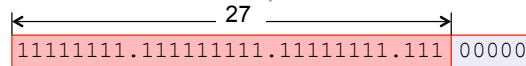
- Subadressierung durch Maskierung = Trennung von Netz- und Host-Adressen

Klasse	NETZ	HOST	Netzmaske	
A	11111111	00000000	00000000	255.0.0.0 /8
	11111111	1 0000000	00000000	255.128.0.0 /9
	11111111	11 000000	00000000	255.192.0.0 /10
	11111111	111 00000	00000000	255.224.0.0 /11
	11111111	1111 0000	00000000	255.240.0.0 /12
	11111111	11111 000	00000000	255.248.0.0 /13
	11111111	111111 00	00000000	255.252.0.0 /14
	11111111	1111111 0	00000000	255.254.0.0
	B	11111111	11111111	00000000

Beispiel: IP-Adresse:	01010000	01111010	00011010	00001010 / 24
AND-Funktion:	11111111	11111111	11111111	00000000
Netz-Anteil:	01010000	01111010	00011010	00000000
	Auswertung durch den Router			Hostadressen

Subnetz-Berechnung

- Beispiel: Klasse-C Netz
Berechnungstabelle:



Bit-Wert	128	64	32	16	8	4	2	1
geborgte Bits	1	2	3	4	5	6	7	8
Maskenwert	128	192	224	240	248	252	255	256
Prefix	/25	/26	/27	/28	/29	/30		
Max. Anzahl an Hosts +1 (Broadcast) + 1(Netz)	126	62	30	14	6	2		

- Beispiel: 192.168.10.40 /27 :**
 Subnetz-Maske: 255.255.255.224
 3-Bits wurden vom Klasse-C Netz entnommen: $2^3 = 8$ Subnetze
 3-Bits entsprechend dem Bitwert
 gehört zur Netzadresse: 192.168.10.32
 gehört zur Broadcast-Adresse: 192.168.10.63
 Nächstes Subnetz: 192.168.10.64

Dimensionierung von Sub-Netzen

- Variable Length Subnet Masking** ist eine Methode, mit der Netz-Administratoren den verfügbaren Adressenraum in Subnetze von unterschiedlicher Größe einteilen können. URL: <http://www.vlsm-calc.net/>
- Beispiel: Adressenberechnung für 6 Subnetze

Ergebnis: (Auszug)

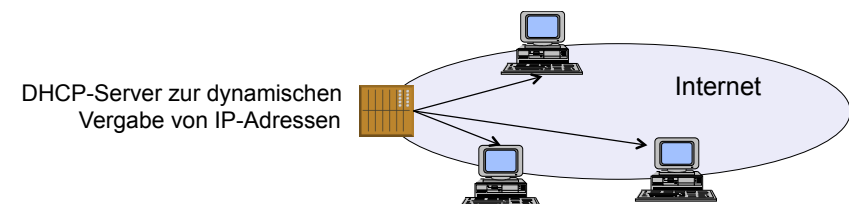
Address	Mask
192.168.1.0	/25
192.168.1.128	/25
192.168.2.0	/27
192.168.2.32	/27
192.168.2.64	/28
192.168.2.80	/28

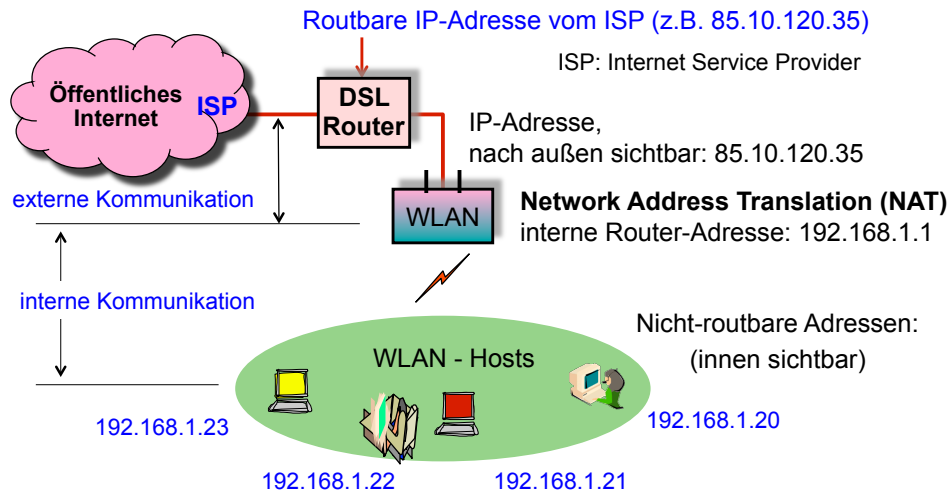
Private Internet-Adressbereiche

- Nicht-öffentliche Adressbereiche**
 - sind nicht eindeutige, mehrfach verwendbare Adressen
 - werden verwendet für effektive Verwendung des begrenzten Adressraumes
 - sind durch spezielle IETF-Standards definiert
- Als **nicht-öffentliche Adressbereiche** sind reserviert:
 - 10. 0. 0. 0 – 10.255.255.255 (/8)
 - 172.16. 0. 0 – 172. 31.255.255 (/12)
 - 192.168. 0. 0 – 192.168.255.255 (/16)
 - 100. 64. 0. 0 – 100. 64. 255. 255 (/10) für Internet Service Provider

IP Adressenvergabe

- Jeder Internet-Host benötigt für die Kommunikation eine eigene Internet-Adresse
- Die Vergabe dieser IP-Adresse erfolgt entweder
 - automatisch (**dynamisch**) durch einen speziellen **DHCP-Server** oder
 - statisch** durch den Administrator
- Die automatische / dynamische Adressenvergabe verwendet das **Dynmanic Host Configuration Protocol - DHCP**
- Die DHCP-Funktion kann auch von einem Router ausgeführt werden





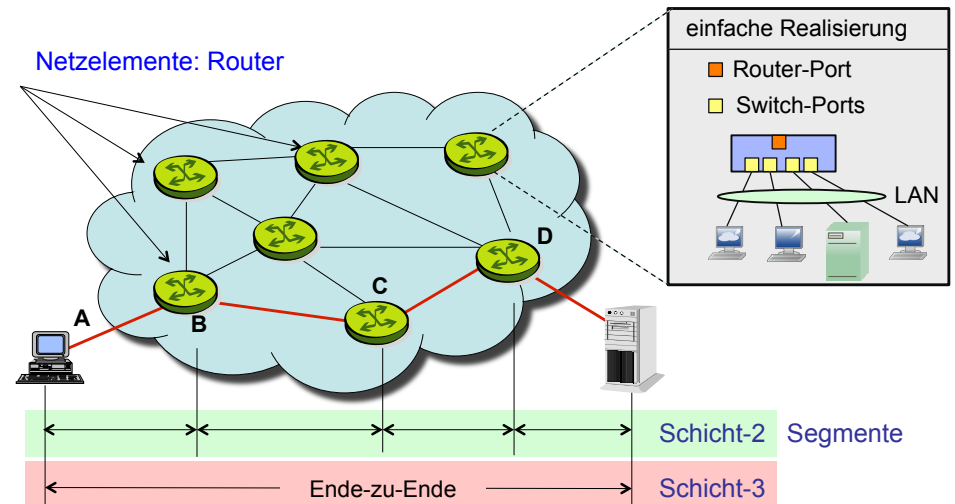
- Einführung: Telekommunikationsprotokolle
- Internet Protokollschichten
- IP Version 4
- Beziehung : MAC-Adresse – IP-Adresse
- IP Adressierung, Subnetze
- Übersicht : IP-Routing
- IP Transportschichten: TCP und UDP
- Internet Control Protocol ICMP

Grundlegender Prozess in allen Telekommunikations- Netzen

Routing-Aufgaben werden vom Router durchgeführt

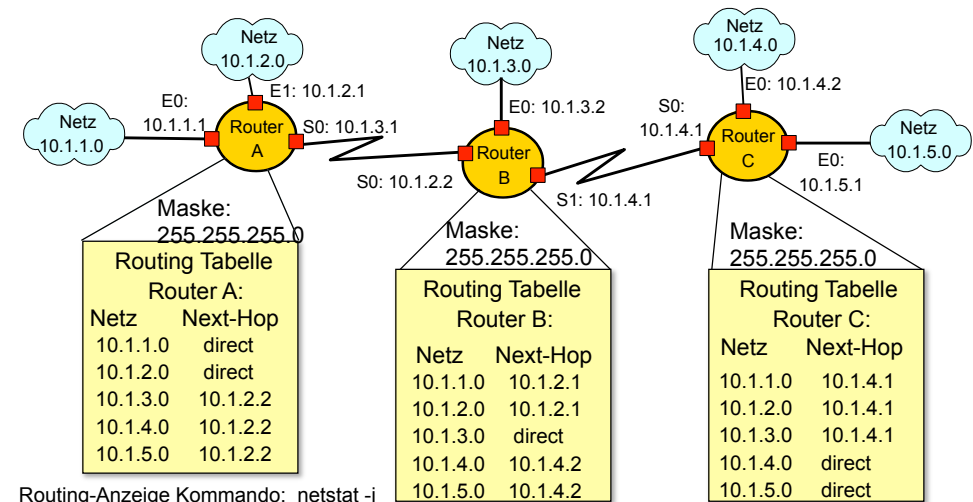
Der Router

- leitet Information von der Quelle zum Ziel
- verwendet dafür spezielle Methoden, einschl. grafische Theorie
- verwendet spezielle Routing-Protokolle
- wertet die Ziel-Adressen aus um den optimalen Pfad durch das Netz zu finden
- bewertet spezielle Kriterien (Metrik) für die Wege-Auswahl
- behandelt Netzfehler bei der Weiterleitung von Informationen



Inhalt einer Routing-Tabelle

- Zieladresse (erforderlich) : bestimmt das Zielnetz für den Router
- Zielführung (erforderlich) : markiert ein direkt verbundenes Netz oder einen Folge-Router (next-hop), welcher einen Schritt näher am Ziel liegt
- Angabe über das Routingprotokoll
- Art des verbundenen Netzes oder Netzabschnitts, z.B. Ethernet, serial link, usw.
- Standard Route (default route indication)



Routing Prozeduren dienen

- dem Austausch von Erreichbarkeits-Informationen zwischen Routern
- der Erstellung einer Routing-Tabelle
- der Berücksichtigung von Netz-Topologie-Änderungen in der Routing-Tabelle
- der Bewertung von empfangener Erreichbarkeits-Information
- der Bestimmung optimaler Routes basierend auf der Erreichbarkeitsinformation

- wird bei großen Netzen verwendet
- Routing-Aufwände nehmen mit der Netzgröße zu: proportional zur Anzahl der Knoten
- Behandlung von Routing-Tabellen : langsam und umständlich in sehr großen Netzen
- Konsequenz : Strukturieren von Netzen in mehrere untereinander verbundene Domänen (z.B. Autonomous Systems AS im Internet)
- Hierarchisches Routing : intra-domain und inter-domain
- Verschieden Protokolle : Interior Gateway Protocols IGP (intra-domain) und Exterior Gateway Protocols EGP (inter-domain)

Charakteristika und Optionen

- Definition und Bildung einer Routing-Tabelle für jeden Router im Netz
- Manuelle Eingaben fester Leitwege durch den Operator
- Exakte Kontrolle und Voraussage von Paket-Laufwegen
- Neu-Definition und manuelle Eingabe bei Konfigurationsänderung
- Summen (summary) Routes für die Bearbeitung spezifischer Adressen in der Routing-Tabelle : Definition von Adressmasken

Charakteristika und Optionen

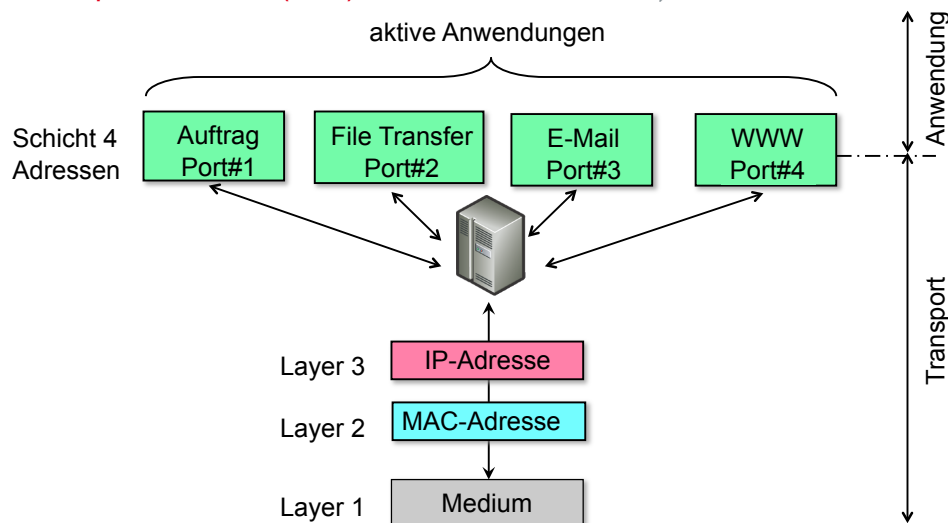
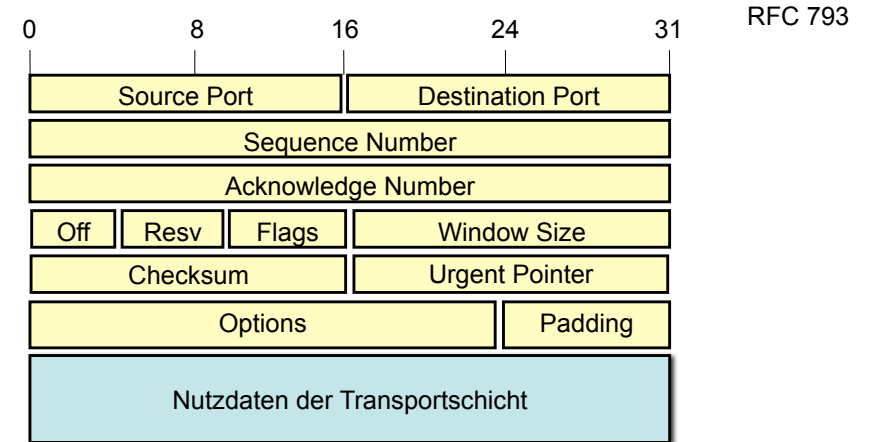
- Automatische Generierung von Routing-Tabellen bei der Inbetriebnahme des Netzes.
- Austausch von Erreichbarkeits-Information zwischen den Routern der angeschlossenen Netze
- Verwendung spezieller Routing-Protokolle, welche den Informationsaustausch regeln
- Verbreitung spezifischer Algorithmen zur Berechnung der optimalen Pfade durch das Netz und Generierung der Routing-Tabellen
- Flexible, dynamische Anpassung der Routing-Tabellen auch bei Netz-Topologieänderungen.

Aufgabe einer Metrik

- Es existieren i.a. mehrere alternativ-Routen zwischen Quelle und Ziel
- Aufgabe: Erkennen der am besten geeigneten Route unter verschiedenen Alternativen
- Definition einer Metrik als Maß für die optimale Eignung einer Route
- Eine oder mehrere Metriken werden ausgewählt für spezielle Routing-Protokolle
- Wichtige Metriken für dynamisches Routing:
 - hop count
 - Bandbreiten-Bedarf
 - Verkehr
 - Paket-Verzögerung
 - Zuverlässigkeit (z.B. Fehlerrate)
 - Kosten

- Einführung: Telekommunikationsprotokolle
- Internet Protokollschichten
- IP Version 4
- Beziehung : MAC-Adresse – IP-Adresse
- IP Adressierung, Subnetze
- Übersicht : IP-Routing
- IP Transportschichten: TCP und UDP
- Internet Control Protocol ICMP

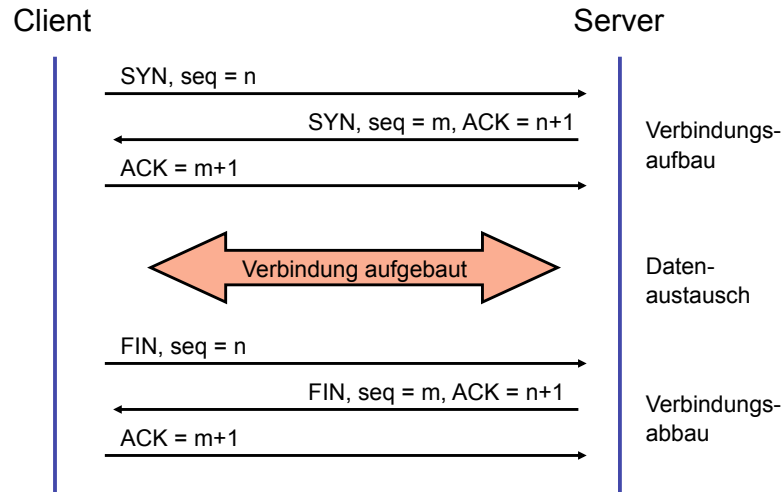
- Die IP-Protokoll-Architektur bietet auf der Transport-Ebene zwei grundsätzliche Transport-Verfahren
- Das **TCP - Transmission Control Protocol** unterstützt den **verbindungsorientierten** und gesicherten Transport von Daten
- Das **UDP - User Datagram Protocol** unterstützt den **verbindungslosen** und ungesicherten Transport von Daten



In einer UNIX-Umgebung werden die verfügbaren Standard-Anwendungen in der Datei: `etc/services` aufgelistet:

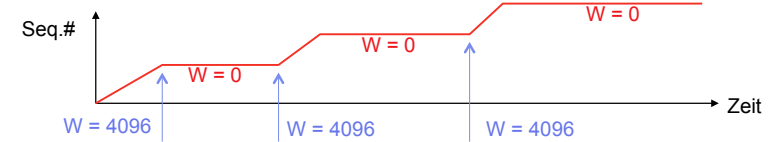
ftp-data	20/udp/tcp	# File Transfer [Default Data]
ftp	21/udp/tcp	# File Transfer [Control]
ssh	22/udp/tcp	# SSH Remote Login Protocol
telnet	23/udp/tcp	# Telnet
smtp	25/udp/tcp	# Simple Mail Transfer
tftp	69/udp/tcp	# Trivial File Transfer
www	80/tcp	#www, http
pop3	110/udp/tcp	# Post Office Protocol - Version 3
ntp	123/udp/tcp	# Network Time Protocol
snmp	161/udp/tcp	# SNMP
snmptrap	162/udp/tcp	# SNMPTRAP
ldap	389/udp/tcp	# Lightweight Directory Access Protocol

TCP Signalisierung

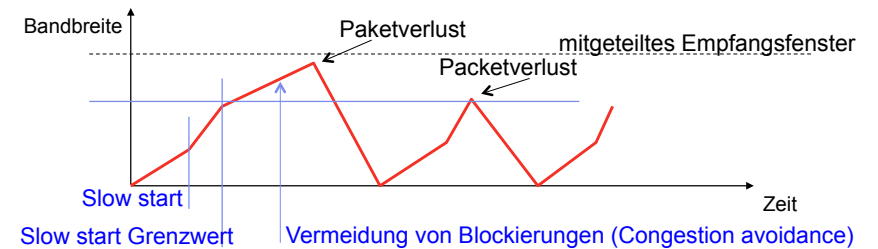


Flusskontrolle / Blockierungs-Kontrolle

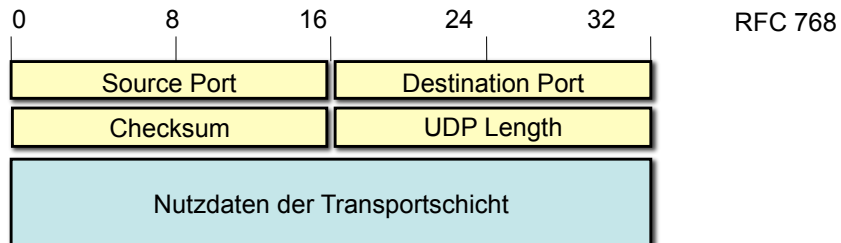
1. Der Empfänger bestimmt die Quittungs-Fenstergröße des Senders



2. Paketverlust:



User Datagram Protocol UDP



- Verbindungslose Kommunikation
- Ungesicherter Datentransport
- Keine Fehlerbehebung bei fehlerhaften Daten
- Für Echtzeitverbindungen geeignet

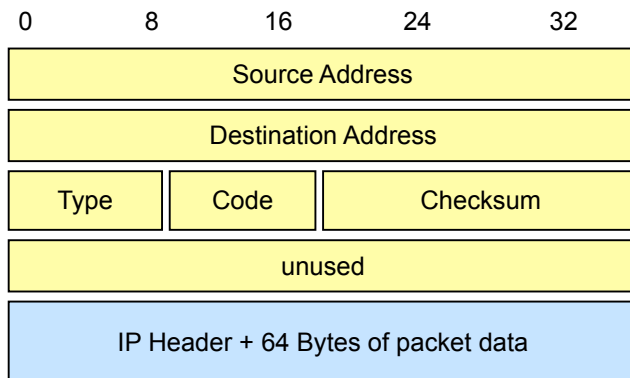
Kursgliederung

- Einführung: Telekommunikationsprotokolle
- Internet Protokollschichten
- IP Version 4
- Beziehung : MAC-Adresse – IP-Adresse
- IP Adressierung, Subnetze
- Übersicht : IP-Routing
- IP Transportschichten: TCP und UDP
- Internet Control Protocol ICMP

- ICMP ist ein integraler Bestandteil des Internet Protokolls, und muss in jedem IP-Modul implementiert sein. ICMP Protocol-Id = 1
- ICMP Nachrichten zeigen Protokollfehler bei der Verarbeitung von IP-Paketen an.
- ICMP Nachrichten werden in verschiedenen Umständen generiert:
 - wenn ein Paket sein Ziel nicht erreichen kann,
 - wenn ein Netzknoten nicht genug Speicherkapazität besitzt, um ein Paket weiterzuleiten
 - usw...

Name der Nachricht	Nr
Destination Unreachable	3
Time exceeded (TTL-Fehler)	11
Parameter Problem	12
Source Quench	4
Redirect	5
Echo (z.B. ping)	8
Echo Reply (z.B. ping)	0
Timestamp	13
Timestamp Reply	14
Information Request	15
Information Reply	16

Nachrichtenname: Destination unreachable (3):



Industrielle Bussysteme : Übersicht

Dr. Leonhard Stiegler
Automation

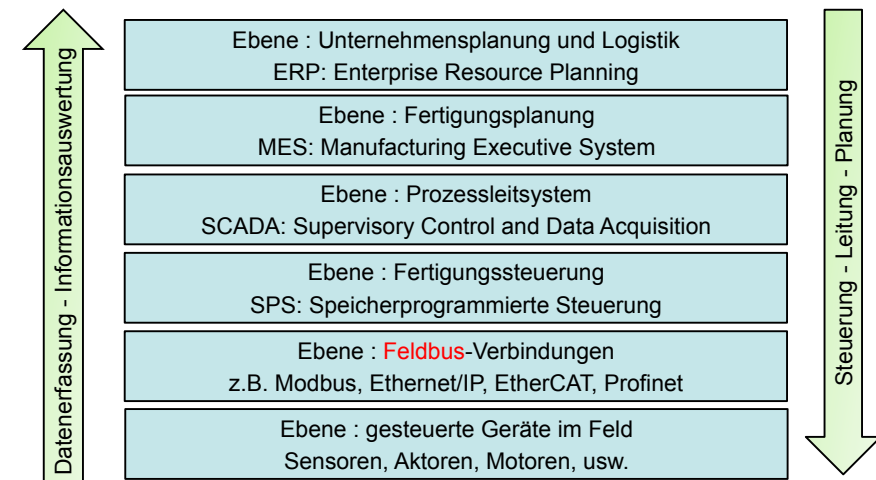
www.dhbw-stuttgart.de

Übersicht über industrielle Bussysteme

- Konfiguration und Architektur
- Anforderungen und Standards
- Implementierungen
- Parameter und Vergleich

- Kontinuierlichen Wandel der Automatisierungstechnik durch kürzere Innovationszyklen bei neuen Produkten
- Feldbustechnologie als Schlüsseltechnologie ermöglicht die Migration von zentralen zu dezentralen Automatisierungssystemen.
- Ethernet und Informationstechnologie (IT) mit Internet Standards wie z.B. TCP/IP und XML gewinnen zunehmend an Einfluss

- Verbindung vieler Stationen unterschiedlicher Art mit einem Steuergerät in einem einheitlichen Netz
- Implementierung bedarfsgerechter Netz-Topologien: Stern, Bus, Ring, Baum und Mischstrukturen
- Ersetzen aufwändiger Parallelverdrahtung zu jedem einzelnen Gerät
- Einbinden in den Kontext umfassender Lösungen der Automatisierung

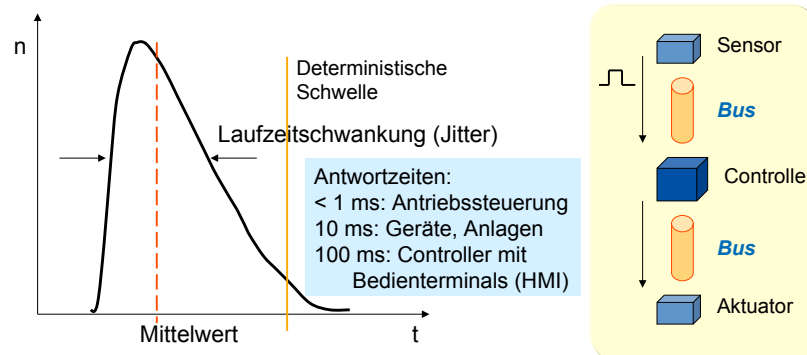


Übersicht über industrielle Bussysteme

- Konfiguration und Architektur
- Anforderungen und Standards
- Implementierungen
- Parameter und Vergleich

Grundlegende Kriterien für Feldbus-Systeme

- Kurze Zykluszeiten durch hohe Übertragungsgeschwindigkeit und schnelle Verarbeitung
- Exakte zeitliche Synchronisation der Feldbus-Stationen
- Hoher Datendurchsatz
- Sicherheit der übermittelten Prozessdaten
- Kosten für Entwicklung, Implementierung und Pflege
- Offene Standards bevorzugt vor Firmenlösung

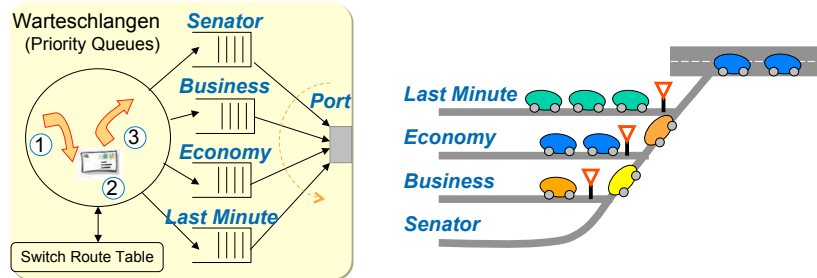


- Echtzeit = definierte Antwortzeiten, Jitter und Paketverlust
- Hohe Systemverfügbarkeit mit hinreichend kurzen Umschaltzeiten

Kriterien für Feldbus-Netze

- Große Anzahl von Stationen und flexible Topologie des Netzes
- Redundanz im Netzaufbau
- Einbindung in die gesamte Fertigungsautomatisierung
- Einsatz marktgängiger Komponenten (Kabel, Stecker, Router, Switches, Controller, usw.)
- Unterstützung von Internet-Protokollen (IP, TCP, UDP)

Verkehrsklassen mit Priorisierung (Quality of Service)

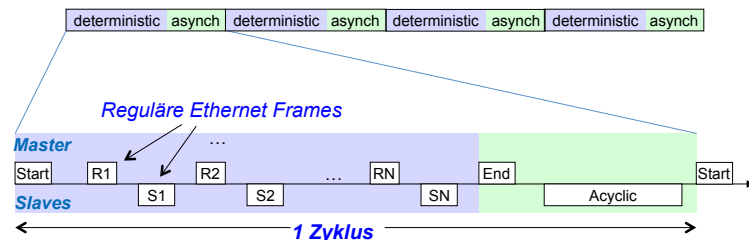


- Überschaubarer Verkehr bei Prozessdaten (Menge, Zyklus)
- Interferenz mit Verkehr niedriger Klassen ist unvermeidlich, jedoch planbar (abhängig von maximaler Paketlänge, Übertragungsrate und Netztopologie)

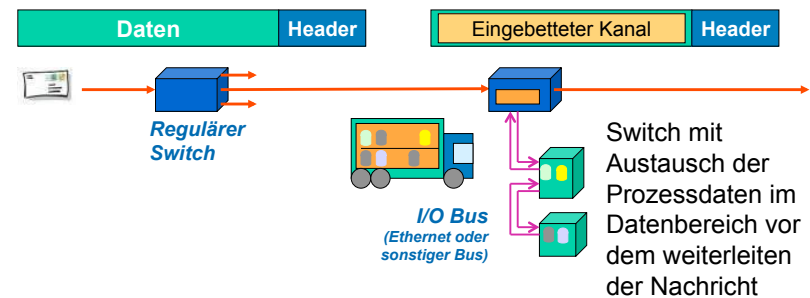
- Standardisierung von Feldbus-Systemen durch die International Electrotechnical Commission in "IEC 61158 – Fieldbus for use in industrial Control Systems"
- Part 1: Overview and Guidance for the IEC 61158 series
- Part 2: Physical layer specification and service definition
- Part 3: Data link service definition
- Part 4: Data link protocol specification
- Part 5: Application layer service definition
- Part 6: Application layer protocol specification



- Zeitmultiplex zwischen Prozessdaten und allen anderen Daten
- Bus-Master organisiert die Kommunikation der Prozessdaten zwischen Sendern und Empfängern.



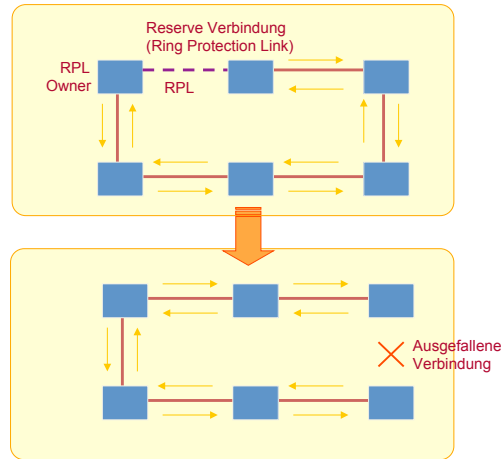
Prozessdaten als gemeinsames Telegramm im Datenbereich



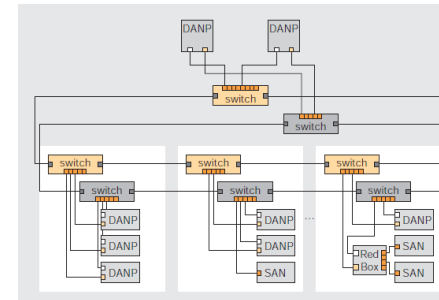
- Standard Ethernet Rahmen
- Topologie: Verkettung aller Teilnehmer in einem Busabschnitt, ein Telegramm für alle anstelle einzelner Nachrichten
- Austausch der Prozessdaten beim weiterleiten des Ethernet Rahmens (erfordert spezielle Hardware für alle Teilnehmer)

Redundanz

- **Sternförmige** Verkabelung ist nicht praktikabel, lineare Topologie
- **Ring** mit Reserveverbindung (Ring Protection Link), die bei Verlust einer Verbindung aktiviert wird
- Überwachung des Betriebs durch Redundanz-Manager (RPL-Owner)
- Umschaltung auf die neue Topologie im Fehlerfall unter 500 ms



Beispiel : Elektrische Schaltanlagen

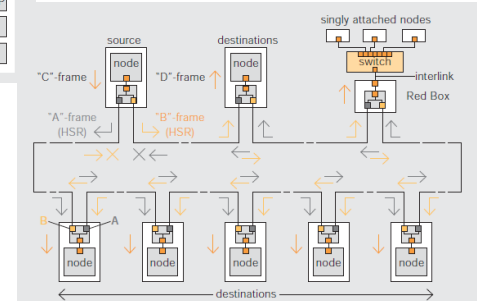


Doppelring mit Doppelstern
Parallel Redundancy Protocol (PRP)

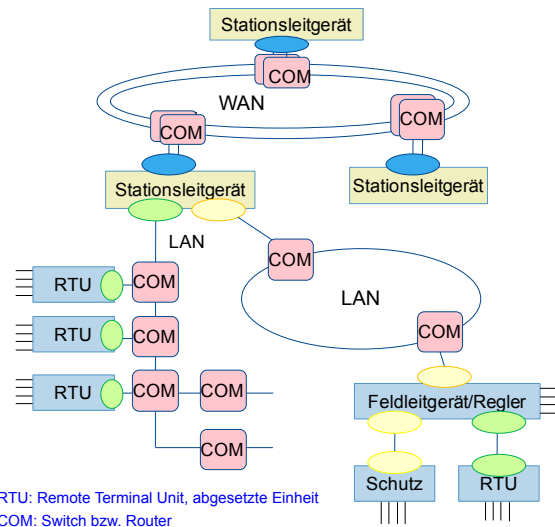
HSR: High-Availability Seamless Redundancy
MRP: Media Redundancy Protocol

Quelle: ABB

Ringredundanz Protokolle: HSR, MRP



Netztopologien



Fernwirken (Wide Area Network, IP/Ethernet):

Redundante Verbindungen

- Doppelstern
- Doppelring

Lokales Netz (Local Area Network, Ethernet):

einfache und redundante Verbindungen

- Baumstruktur
- Ringstruktur

Inhalt

Übersicht über industrielle Bussysteme

- Konfiguration und Architektur
- Anforderungen und Standards
- **Implementierungen**
- Parameter und Vergleich

Wesentliche Ethernet-basierte Feldbus-Systeme

- **Modbus/TCP**
- **EtherNet/IP**
- **EtherCAT**
- PROFINET IO
- Sercos III
- Powerlink
- CC-Link IE

Ethernet-basierte Feldbus-Systeme : Problem

- Standard-Ethernet und UDP/TCP/IP in Hardware und Software: Güteanforderungen anspruchsvoller Anwendungen der Automatisierung nicht erfüllbar
- Option: spezielle Hardware, insbesondere Controller
- Option: spezielle Protokolle und Kommunikations-Software
- Option: besondere Maßnahmen zur Sicherung der Dienstgüte (QoS – Quality of Service), z.B. DiffServ, Priorisierung

Bewegungsregelung durch Feldbus-Systeme

- Bewegungsregelung („Motion Control“) als wesentlicher Einsatzfall in der Automatisierung
- Steuerung der Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung von Servomotoren
- Einsatzbeispiele: Roboter, Verpackung, Positionierung, Baugruppenfertigung
- Hohe Anforderung an die Synchronisation der Stationen
- Schnelle Übermittlung der Daten zwischen Stationen

Übersicht über industrielle Bussysteme

- Konfiguration und Architektur
- Anforderungen und Standards
- Implementierungen
- **Parameter und Vergleich**

Vergleich: "Stack Time"

Stack Time: Verarbeitungsdauer in der Feldbus-Station vom Interrupt beim Empfang des Ethernet-Rahmens bis zur Bereitstellung der Prozessdaten an der Schnittstelle zur Anwendung

Stack Time	EtherNet/IP	PROFINET IO	EtherCAT
Durchschnitt	1,8873 ms	0,5788 ms	0,1143 ms
Maximalwert	2,9571 ms	0,7391 ms	0,1821 ms
Minimalwert	1,2332 ms	0,5394 ms	0,0474 ms

Quelle: Softing GmbH, München, 2010.

Vergleich: Feldbus-Performance

Kriterium	Zyklusdauer	Synchronisation	Datendurchsatz
EtherCAT	++	++	0
Modbus/TCP	--	--	++
EtherNet/IP	--	-- / + (1)	++
PROFINET RT	-	--	++
PROFINET IRT	+	+	+
Powerlink	0	- / 0 (2)	0 (3)
CC-Link IE	0	+	--
Sercos III	+	+	-

Quelle: EtherCAT Technology Group ITG.

Feldbus: Wertung

- **Modbus/TCP und EtherCAT als führende Lösungen für Feldbus-Systeme durch Leistungsfähigkeit, Hersteller-Unterstützung, Marktakzeptanz und Stabilität**
- **Vorteile für EtherCAT bei hohen Anforderungen an Zyklusdauer, Synchronisation und Sicherheit**
- **EtherNet/IP und die Varianten von ProfiNet ebenfalls noch zu beachten**
- **Untergeordnete Bedeutung anderer Feldbus-Lösungen**

Zusammenfassung

- Ethernet hat eine beispiellose Erfolgsgeschichte, nicht zuletzt wegen seines evolutionären Ansatzes.
- **Ethernet ist als Feldbus zunehmen im Einsatz**
 - Profinet, Ethercat, Ethernet Powerlink, Ethernet/IP, Sercos III, ...
 - AFDX (Avionik), TCN (Bahnfahrzeuge), elektrische Schaltanlagen (IEC61850, MRP, HRS, PRP), ...
- **Anforderungen im industriellen Einsatz**
 - Echtzeit = definierte Antwortzeiten
 - Verfügbarkeit (Redundanz für den Fehlerfall)
 - Die Anforderungen sind auf evolutionäre oder proprietäre Weise erfüllbar.
- **Anforderungen auf Systemebene**
 - Funktionale Sicherheit (Protokolle auf Anwendungsebene)
 - Schutz der Vertraulichkeit, Integrität und Authentizität.

Industrielle Bussysteme : Labor

Dr. Leonhard Stiegler
Automation

www.dhbw-stuttgart.de

Inhalt

- Raspberry PI
- Netzwerk-Diagnose
 - Kommandos
 - Analyse-Software Wireshark
 - Wireshark Protokollanalyse
- SSP-Steuerung mit Codesys
- Ethernet basierte Bussysteme
 - Modbus/TCP
 - EtherCAT
 - Ethernet/IP

Labora Aufbau : Raspberry PI

Raspberry PI

- Einplatinen-Rechner mit Kommunikations- und Funktions-Schnittstellen
- ARM Prozessor
- OS: Debian Linux Derivat auf 8GB Typ10 SD-Speicherkarte
- Kommunikationsschnittstellen
 - RJ45 Ethernet, USB, HDMI, Video-Out
- Funktionsschnittstellen
 - General-Purpose I/O (GPIO)
für das I²C - Modul Adafruit 16-Kanal Servo Driver PWM

SPS-Laufzeitsystem : Codesys Control

- wird beim Hochfahren des Betriebssystems gestartet
- Zeitlimit: 2 Std.

Test und Diagnose Tools: ipconfig / ifconfig

- **IP Verbindungsanalyse (Connectivity)**
Zeigt die eigene IP- und MAC-Adresse an
Windows: ipconfig (im DOS-Fenster) Linux/Mac: ifconfig
- **Beispiel:**

Ethernetadapter LAN-Verbindung 3:

```
Verbindungsspezifisches DNS-Suffix: Speedport_W_700V
Beschreibung. . . . . : Ethernetadapter der AMD-PCNET-Familie #2
Physikalische Adresse . . . . . : 08-00-27-35-47-D6
DHCP aktiviert. . . . . : Ja
Autokonfiguration aktiviert . . . : Ja
IP-Adresse. . . . . : 192.168.2.102
Subnetzmaske. . . . . : 255.255.255.0
Standardgateway . . . . . : 192.168.2.1
DHCP-Server . . . . . : 192.168.2.1
DNS-Server. . . . . : 192.168.2.1
Lease erhalten. . . . . : Freitag, 6. September 2013 16:16:04
Lease läuft ab. . . . . : Dienstag, 10. September 2013 16:16:04
```

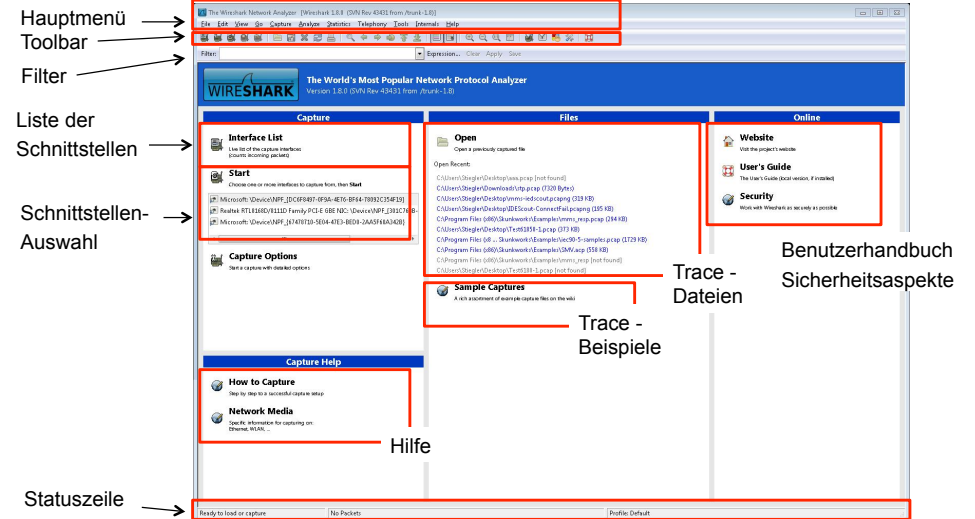
Test und Diagnose Tools: Netstat

- IP Verbindungsanalyse (Connectivity)
 - Zeigt die aktiven Verbindungen (Windows: im CMD-Fenster: netstat)
- Beispiel

Aktive Verbindungen

Proto	Lokale Adresse	Remoteadresse	Status
TCP	vm-win:1201	localhost:44080	HERGESTELLT
TCP	vm-win:1203	localhost:44080	HERGESTELLT
TCP	vm-win:1205	localhost:44080	SCHLIESSEN_WARTEN
TCP	vm-win:1214	localhost:44080	HERGESTELLT
TCP	vm-win:44080	localhost:1201	HERGESTELLT
TCP	vm-win:44080	localhost:1203	HERGESTELLT
TCP	vm-win:44080	localhost:1205	FIN_WARTEN_2
TCP	vm-win:44080	localhost:1214	HERGESTELLT
TCP	vm-win:1202	95.100.97.67:http	HERGESTELLT
TCP	vm-win:1204	62.159.74.11:http	HERGESTELLT
TCP	vm-win:1215	62.156.238.46:http	HERGESTELLT

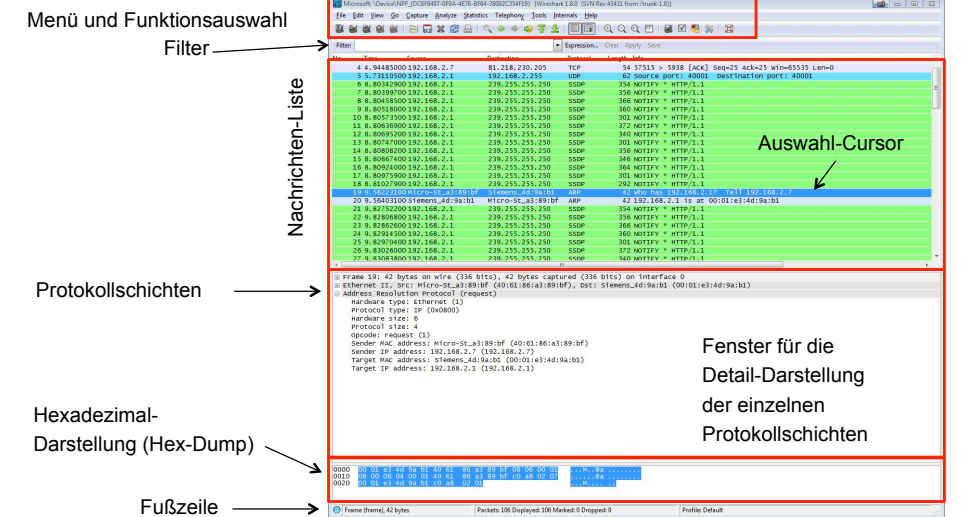
Protokollanalyse mit Wireshark : Startmenü



Wireshark :Toolbar

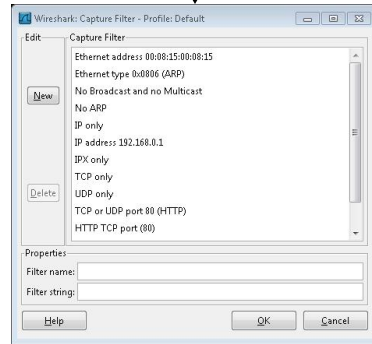
	Interface Auswahl		Aktuelle Trace Datei noch einmal öffnen		Rückwärts
	Optionen Auswahl		Drucken Dialog		Vorwärts
	START Trace		Suchen Dialog		Springen zu
	STOP Trace		Capture Filter Dialog		Zum 1. Paket
	STOP+Restart Trace		Display Filter Dialog		Zum letzten Paket
	Datei öffnen		Einstellungen Dialog		Ausgabe vergrößern
	Datei speichern		Farb-Einstellungen		Ausgabe verkleinern
	Datei schließen		Hilfe		Originalgröße

Wireshark Bildschirmbereiche



Filter-Arten

- **Capture Filter:**
 - Hauptmenü – Capture – Capture Filters ...
 - Aufnahme-Filter
Datenmenge wird bei der **Aufnahme** gefiltert
- **Display Filter:**
 - Hauptmenü – Analyze – Display Filters ...
 - Anzeige-Filter
Datenmenge wird bei der **Wiedergabe** gefiltert

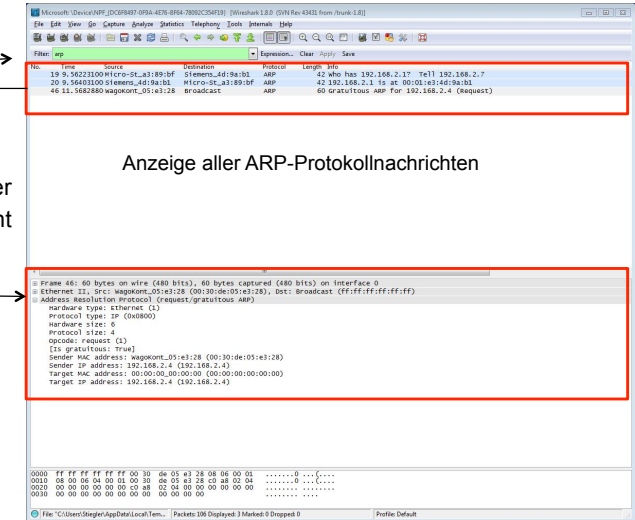


Protokoll-Filter Direkteingabe

Filter = arp
Nur ARP-Nachrichten werden angezeigt

Dekodierung der ausgewählten Nachricht

ARP: Address Resolution Protocol



Manuelle Protokoll-Filter Definition

Display-Filter Definition

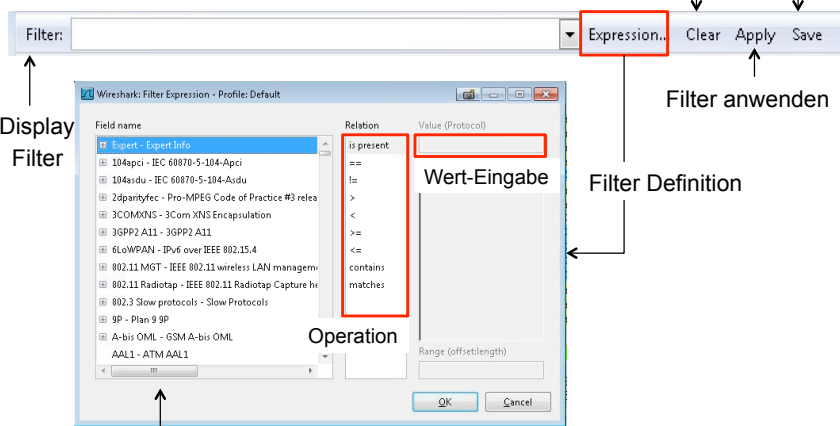
Filter löschen Filter speichern

Display Filter

Filter anwenden

Filter Definition

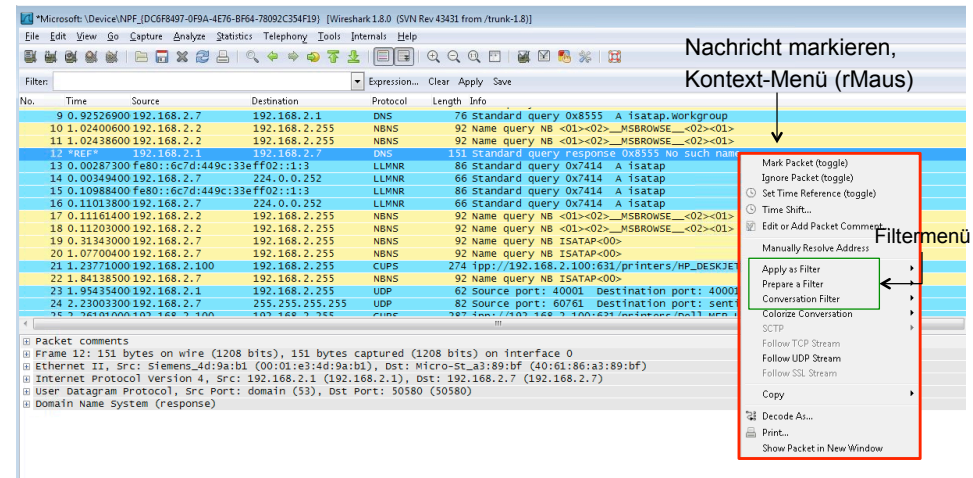
Protokoll-Parameter Auswahl



Automatische Protokoll-Filter Definition

Nachricht markieren, Kontext-Menü (rMaus)

Filtermenü



Statistik-Menü (1)

Hauptmenü **Statistics** Telephony Tools Intern:

BAC: Building Automation and Control

- Summary ← Zusammenfassung der Trace-Daten
- Protocol Hierarchy ← Trace-Daten: Protokollstatistik
- Conversations ← Kommunikations-Statistik
- Endpoints ← Adressen-Statistik
- Packet Lengths... ← Statistik: Paket-Länge
- IO Graph ← Statistik: Zeitverteilung
- Conversation List → Liste der Verbindungen
- Endpoint List → Liste der Adressen-Endpunkte
- Service Response Time → Liste der Antwortzeiten
- ANCP ← Access Node Control Protocol Statistik
- BACnet → BAC-Network Statistik
- BOOTP-DHCP... ← Bootstrap-Protocol und DHCP Statistik

Statistik-Menü (2)

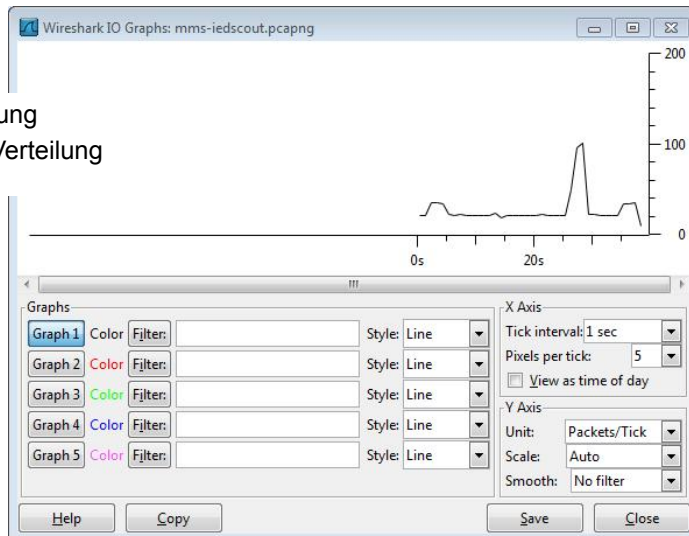
Fortsetzung:

HART-IP: Highway Addressable Remote Transducer over IP
 ONC-RPC: RFC 1831 Network File System (NFS) - Protokoll

- Collectd... ← Paketzähler und Filter
- Compare... ← Vergleich von Capture-Dateien
- Flow Graph... ← Flussdiagramm erzeugen
- HART-IP ← HART-IP Statistik
- HTTP → Statistik: Paket-Zähler, Requests, Lastverteilung
- IP Addresses... ← Statistik: IP-Adressenverteilung
- IP Destinations... ← IP-Adressen, Transportschicht und Portnummer
- IP Protocol Types... ← Liste der Transportverbindungen
- ONC-RPC Programs ← Liste der ONC-RPC Applikationen
- Sametime → Anzahl Nachrichten mit gleichem Zeitstempel
- TCP StreamGraph → TCP-Nachrichtentransport Statistik
- UDP Multicast Streams ← Liste der UDP-Multicast Streams
- WLAN Traffic ← WLAN - Verkehrsdaten

Statistik-Beispiel: Lastverteilung

Diese Darstellung zeigt die Zeit-Verteilung der Pakete



Statistik-Beispiel: Adressen- und Protokolle

HTTP/Load Distribution with filter:

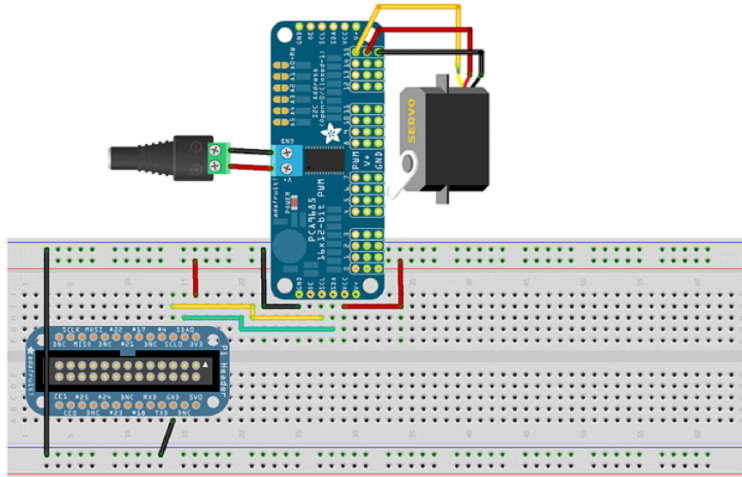
Topic / Item	Count	Rate (ms)	Percent
HTTP Requests by Server	223	0,004740	
HTTP Requests by Server Address	223	0,004740	100,00%
HTTP Requests by HTTP Host	223	0,004740	100,00%
www.searchqu.com	1	0,000021	0,45%
www.searchnu.com	17	0,000361	7,62%
www.google-analytics.com	2	0,000043	0,90%
rover.ebay.com	1	0,000021	0,45%
239.255.255.250:1900	84	0,001785	37,67%
www.deutschebahn.com	112	0,002380	50,22%
www.etracker.de	5	0,000106	2,24%
fpdownload2.macromedia.com	1	0,000021	0,45%
HTTP Responses by Server Address	134	0,002848	
207.232.22.60	18	0,000383	13,43%
173.194.35.132	2	0,000043	1,49%
66.211.179.119	1	0,000021	0,75%
192.168.2.1	6	0,000128	4,48%
81.200.198.19	101	0,002147	75,37%
85.183.249.137	4	0,000085	2,99%
62.154.73.154	2	0,000043	1,40%

Adressen-Verteilung der Pakete

IP Protocol Types with filter:

Topic / Item	Count	Rate (ms)	Percent
IP Protocol Types	6829	0,125231	
UDP	150	0,002751	2,20%
TCP	6675	0,122407	97,74%
NONE	4	0,000073	0,06%

Statistik der Transportprotokolle



- Für die Steuerung eines Servo-Motors wird das I2C-Interface des Raspberry Pi verwendet.
- Verdrahtung: Raspberry Pi mit der Adafruit 16-Kanal Servo Baugruppe
- Die Python I2C-Bibliothek enthält auch eine Testfunktion für die I2C-Schnittstelle : `i2cdetect -y 1`

Schnittstelle ist aktiv

```
File Edit Setup Control Window Help
pi@raspberrypi ~/code/Adafruit-Raspberry-Pi-Python-Code
r $ sudo i2cdetect -y 0
  0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  a  b  c  d  e  f
00:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
10:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
20:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
30:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
40:  40  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
50:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
60:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
70:  70  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
```

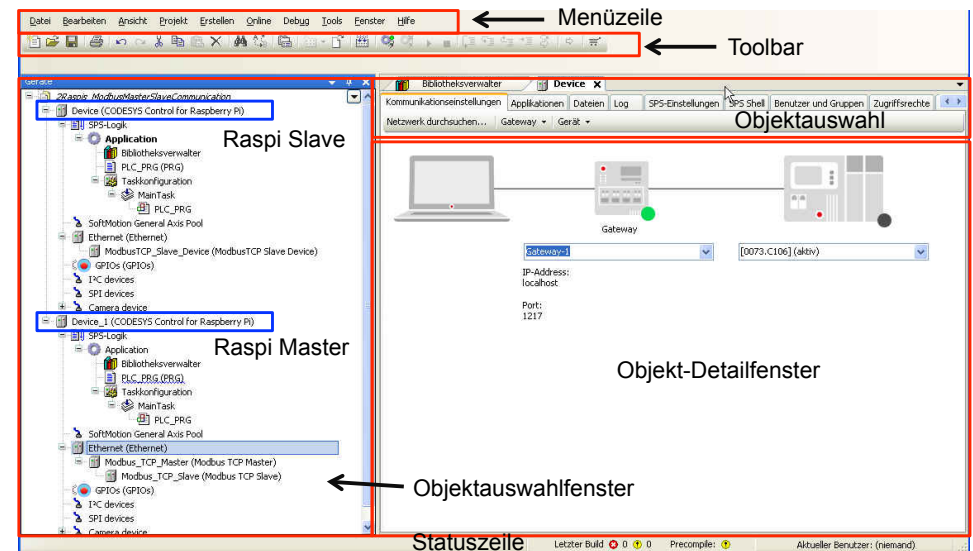
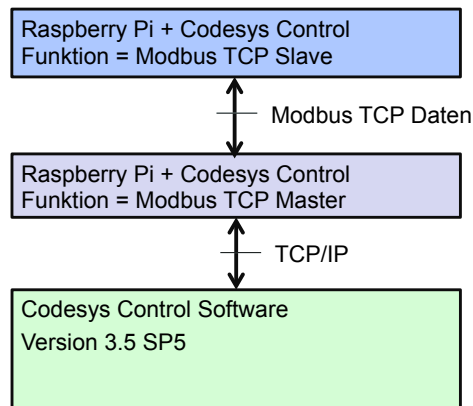
Modbus TCP Feldbus

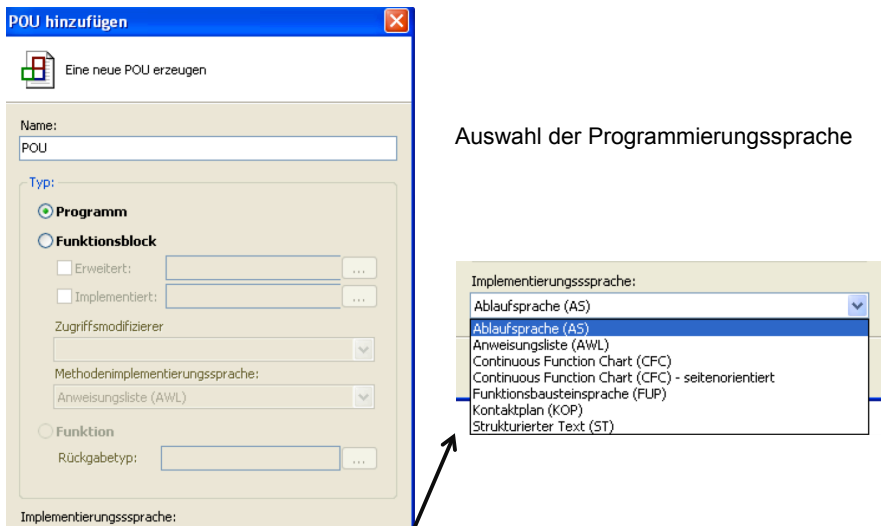
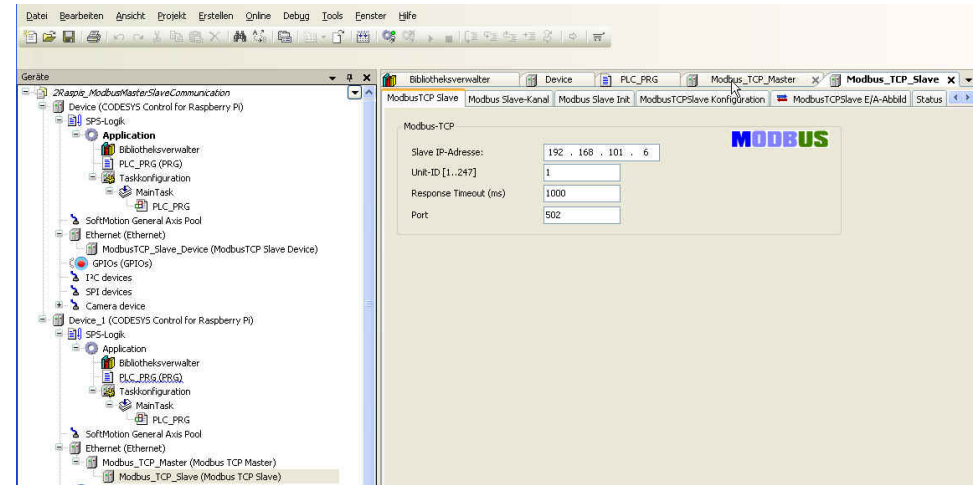
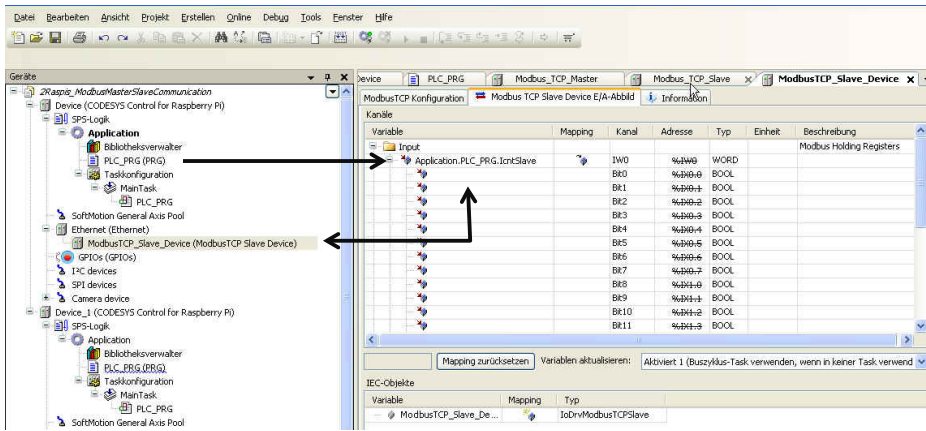
- Slave Funktion

- Master-Funktion

Management-Funktion

- Feldbus-Konfiguration
- Kommunikations-Steuerung
- Feldbus Programm Beispiel: Zähler





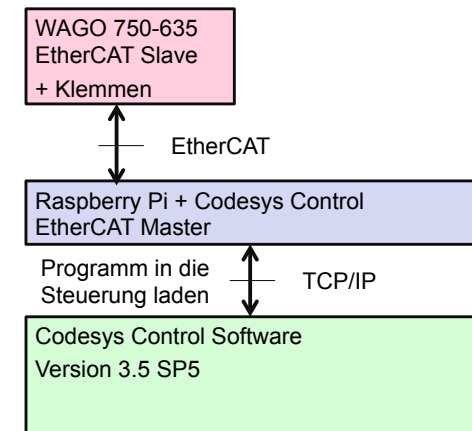
Auswahl der Programmierungssprache

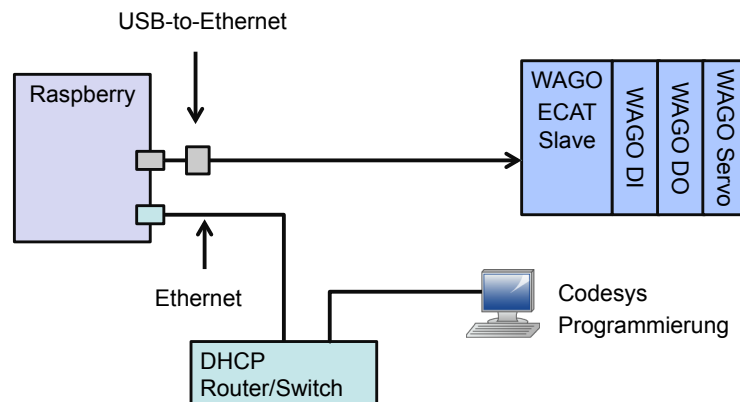
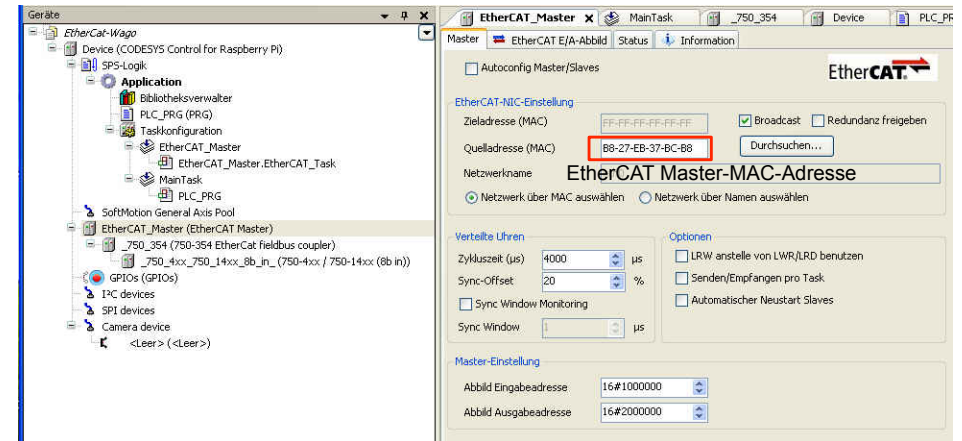
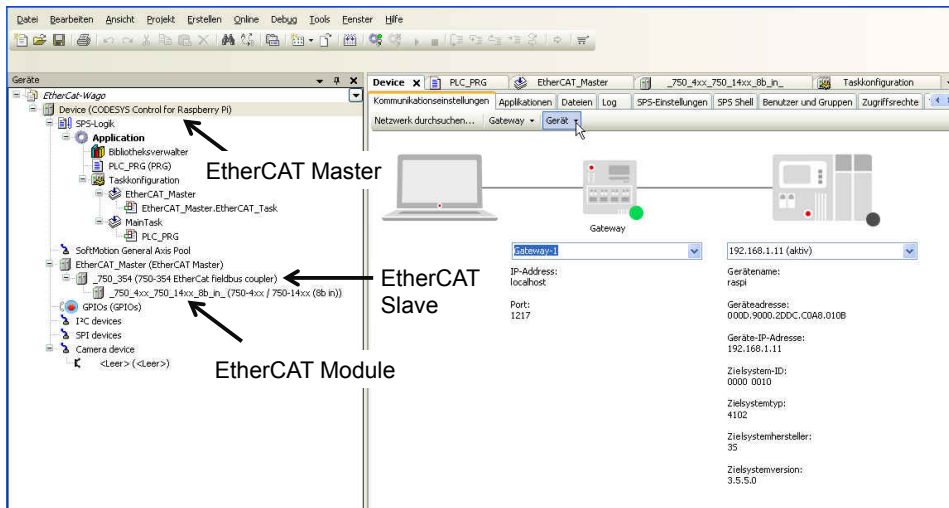
Feldbus Umgebung

- Slave Funktion
- Master-Funktion

Management-Funktion

- Feldbus-Konfiguration
- Kommunikations-Steuerung
- Feldbus Programm
Beispiel: Zähler

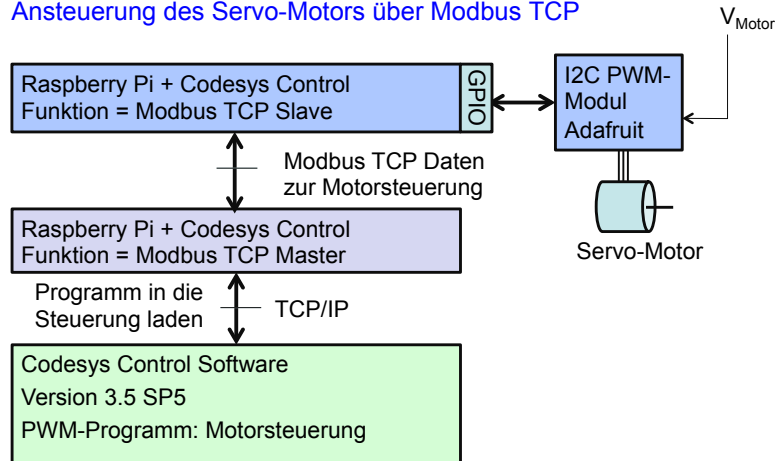




- Aufbau der auf Seite 3 dargestellten Konfiguration.
- Weshalb benötigen wir eine zweite LAN-Schnittstelle ?
- Steuerung eines Servo-Motors mittels definierter PWM-Parameter
- Programmierung einer Visualisierung der Motor-Drehbewegung mittels Codesys Funktionen

Aufgabe : Modbus TCP

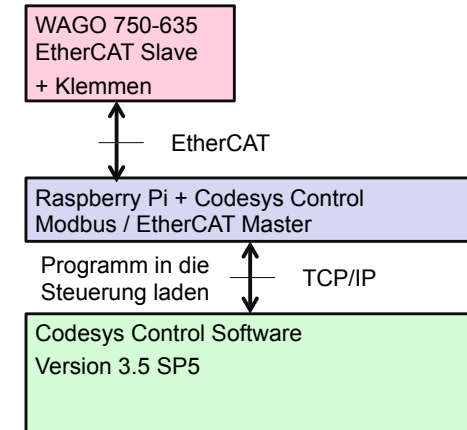
- Ansteuerung des Servo-Motors über Modbus TCP



Aufgabe : EtherCAT

Ansteuerung der WAGO 750-635 Klemmen:

- Data-In
- Data-Out
- Motorsteuerung



Industrielle Bussysteme : Modbus/TCP

Dr. Leonhard Stiegler
Automation

Inhalt

Modbus/TCP

- Grundsätze und Versionen
- Protokollbeschreibung
- Datenmodell und Datencodierung
- Adressierung und Transaktionen
- Function Codes

Grundlegende Merkmale

- Modbus Messaging-Protokoll auf der Anwendungsschicht
- Modbus/TCP: Übertragung über TCP-IP-Ethernet
- Client-Server-Kommunikation
- Unterstützung unterschiedlicher Bus- und Netz-Topologien
- De-Facto-Standard in der industriellen Automation
- Einsatz seit 1979

Erste Definition

- Protokoll für Modicon Programmable Logic Controller PLC
- Verfügbar seit 1979
- Entwicklung durch Schneider Electric

Weiterentwicklung und Pflege

- Modbus Organization seit 2004
- Vereinigung von Modbus-Nutzern und -Herstellern

Modbus/TCP

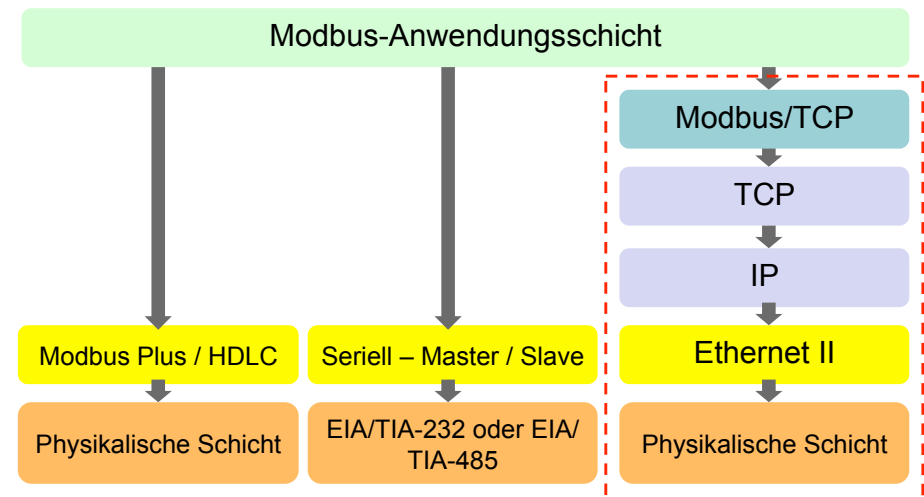
- Übermittlung : TCP/IP über Ethernet

Asynchrone serielle Übertragung

- Nutzung unterschiedlicher Medien
- drahtgebunden: EIA/TIA-232-E, EIA-422, EIA/TIA-485-A

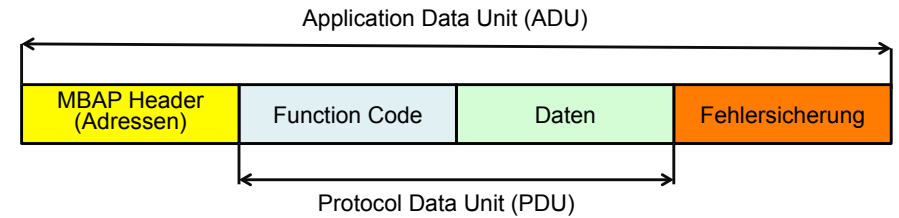
Modbus Plus

- eigenständiges Protokoll für Token-Passing-Netze



Modbus/TCP

- Grundsätze und Versionen
- **Protokollbeschreibung**
- Datenmodell und Datencodierung
- Adressierung und Transaktionen
- Function Codes



PDU: unabhängig von den genutzten Protokollschichten

ADU: Anpassung an die genutzten Protokollschichten

Function Code (1 Byte): Definition der auszuführenden Aktion

Modbus Rollen

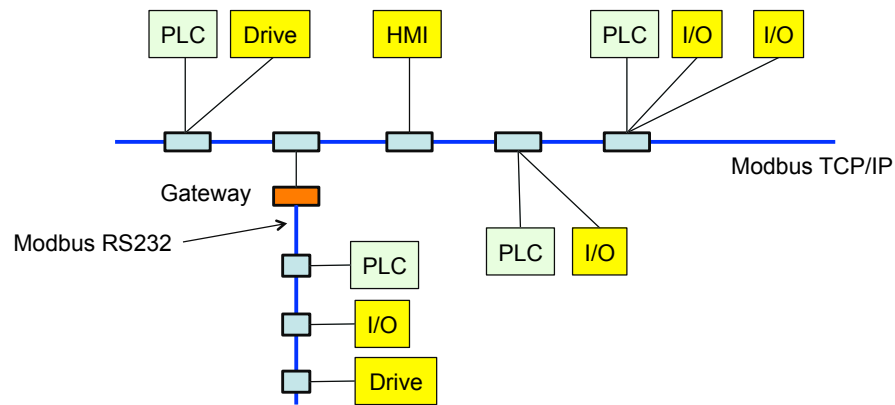
- **Modbus Client**
 - ermöglicht die Kommunikation mit einem Remote Device
 - erzeugt Modbus Request-Nachrichten gesteuert durch die Anwendung
 - überträgt Modbus Request-Nachrichten an das Modbus Client Interface
- **Modbus Server**
 - Wartet auf Modbus Request-Nachrichten (TCP-Port 502)
 - Liest und verarbeitet Modbus Request-Nachrichten
 - erzeugt Modbus Response-Nachrichten
- **Modbus User Application (Backend) Interface**
 - Schnittstelle zwischen Server und User Application

Modbus AP Header

Application Protocol Header Parameter

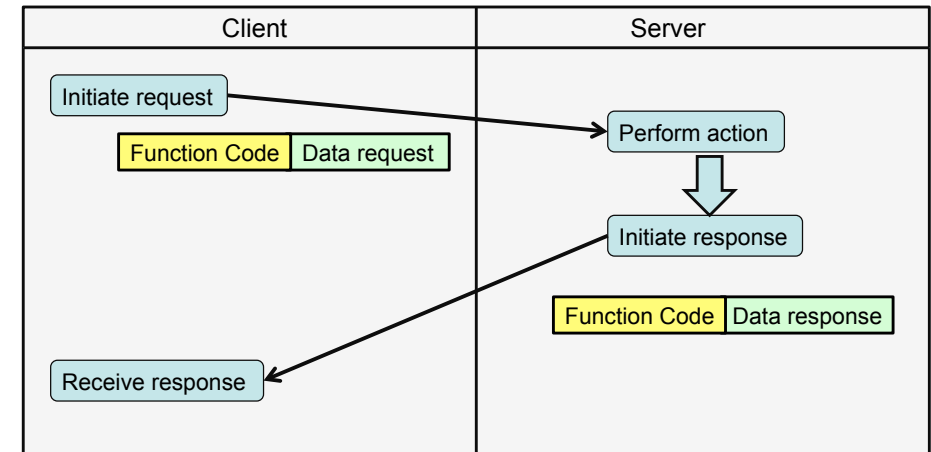
Fields	Length	Description -	Client	Server
Transaction Identifier	2 Bytes	Identification of a MODBUS Request / Response transaction.	Initialized by the client	Recopied by the server from the received request
Protocol Identifier	2 Bytes	0 = MODBUS protocol	Initialized by the client	Recopied by the server from the received request
Length	2 Bytes	Number of following bytes	Initialized by the client (request)	Initialized by the server (Response)
Unit Identifier	1 Byte	Identification of a remote slave connected on a serial line or on other buses.	Initialized by the client	Recopied by the server from the received request

Modbus Kommunikation



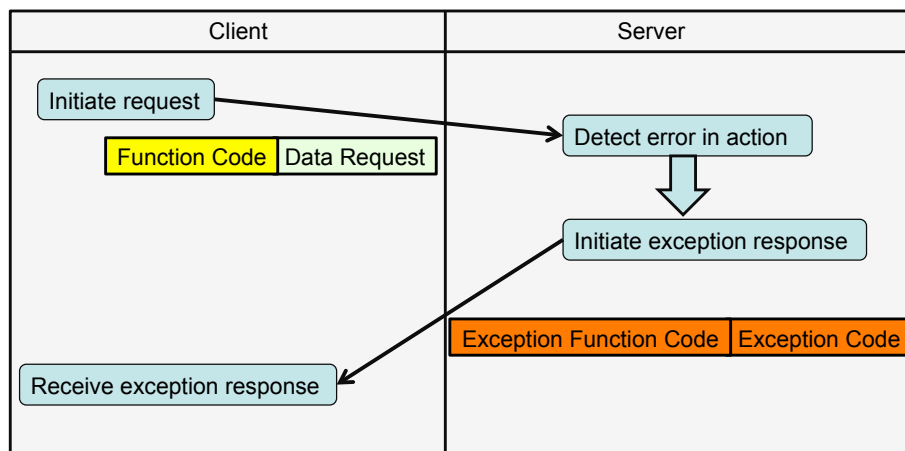
Client-Server Kommunikation 1

Schema der fehlerfreien Client-Server-Kommunikation



Client-Server Kommunikation 2

Schema der fehlerhaften Client-Server-Kommunikation



Modbus : Typen von PDUs

Modbus Request PDU

- $mb_req_pdu = \{function_code, request_data\}$

Modbus Response PDU

- $mb_rsp_pdu = \{function_code, response_data\}$

Modbus Exception Response PDU

- $mb_excep_rsp_pdu = \{exception_function_code, request_data\}$

Längenbegrenzung für Modbus ADUs und PDUs

- ADU : bestimmt durch erste RS-485-Implementierung
- RS-485-ADU : maximal 256 Byte
- damit Modbus-PDU : max. 253 Byte : 256 Byte – 1 Byte Server-Adresse – 2 Byte CRC-Fehlersicherung
- Modbus/TCP-PDU : max. 260 Byte : 253 Byte PDU + 6 Byte MBAP (ModBus Application Protocol)

Modbus/TCP

- Grundsätze und Versionen
- Protokollbeschreibung
- **Datenmodell und Datencodierung**
- Adressierung und Transaktionen
- Function Codes

Modbus Datenformate

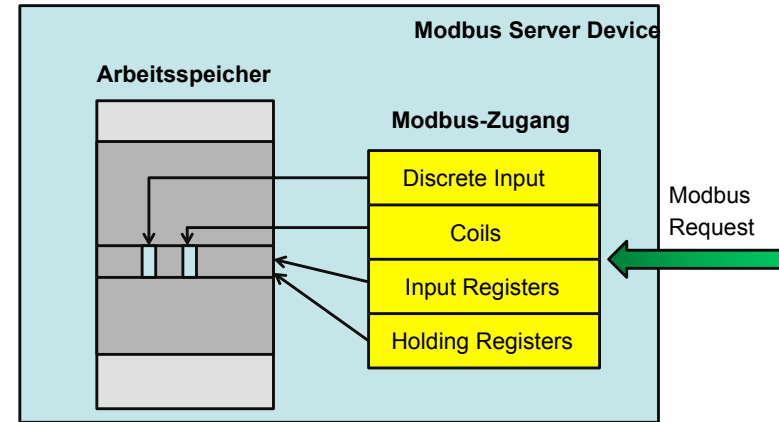
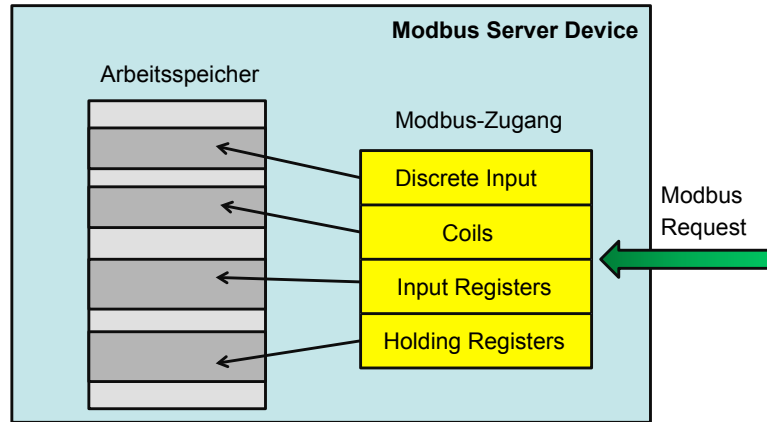
Name	Größe	Zugangsart	veränderbar durch
Discrete Input	1 Bit	Read Only	Management
Coils	1 Bit	Read-Write	Application
Input Registers	16 Bit	Read Only	Management
Holding Registers	16 Bit	Read-Write	Application

Speichern der Tabellen im Arbeitsspeicher der Modbus-Geräte

- Zugriff mit Umsetzung der logischen Modbus-Referenzen auf Adressen des Arbeitsspeichers
- Auswahl aus maximal 65 536 Daten pro Tabellenart

Bedarfsgerechte Speicherorganisation im Modbus-Gerät

- **Option** : getrennte Speicherbereiche pro Tabellenart
- **Option** : ein Speicherbereich mit überlappendem Zugriff

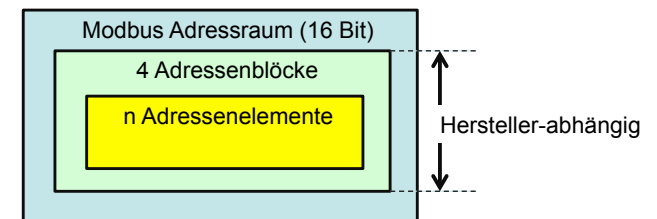


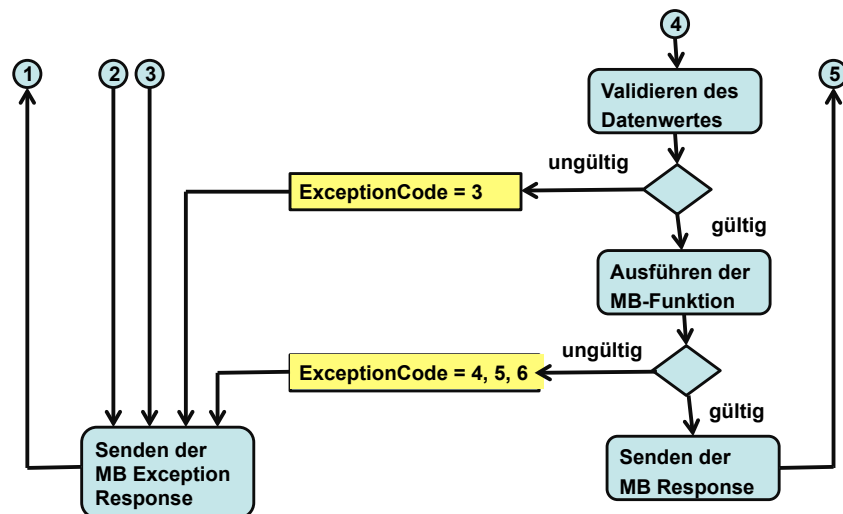
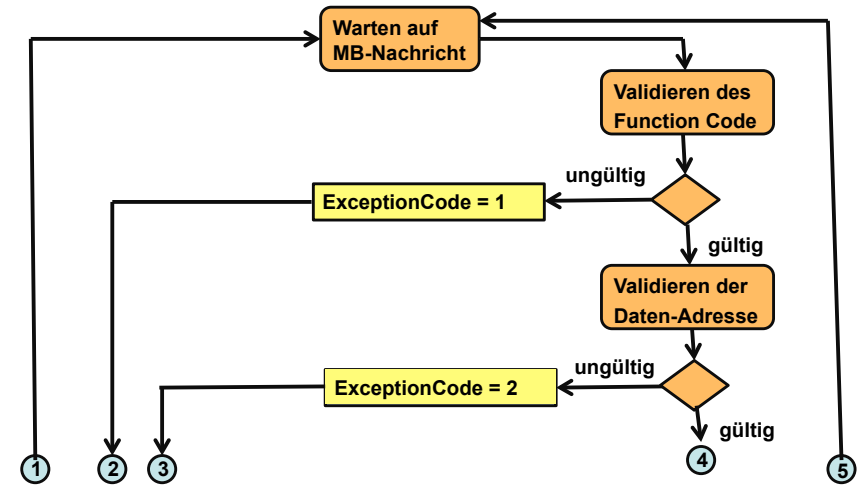
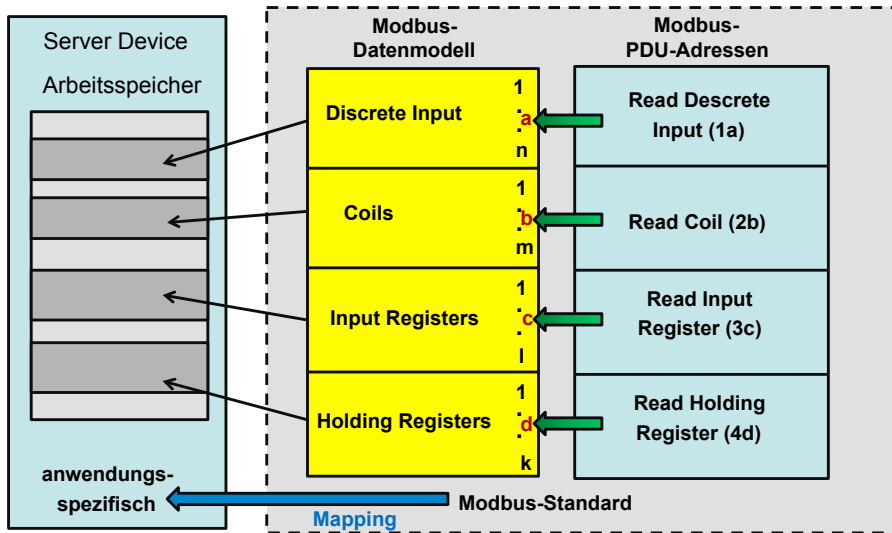
Modbus/TCP

- Grundsätze und Versionen
- Protokollbeschreibung
- Datenmodell und Datencodierung
- Adressierung und Transaktionen
- Function Codes

Regeln der Adressierung in Modbus-PDUs

- Adressen für Daten in PDUs im Bereich 0 .. 65 535 (16 Bit)
- Vier getrennte Adressbereiche pro primärer Datentabelle
- Nummerierung der Datenelemente in den Datentabellen von 1 bis n
- Adresse (1a) adressiert Datenelement a im Datenmodell Bereich 1
- Abbildung (Mapping) des Datenmodells auf die Geräte-Implementierung (z.B. IEC-61 131-Objekt)





Erfolgreiche Transaktion → positive Modbus Response

- Response Function Code = Request Function Code

Fehler bei der Transaktion → Modbus Exception Response

- Exception Function Code = Request Funktion Code + 0x80
- Information an den Client über die Art des Fehlers im zugefügten Exception Code
- Beispiel: "ExceptionCode = 01" → Function Code nicht unterstützt

Modbus/TCP

- Grundsätze und Versionen
- Protokollbeschreibung
- Datenmodell und Datencodierung
- Adressierung und Transaktionen
- **Function Codes**

Grundlegende Merkmale der Function Codes

- Codierung in 1 Byte: gültige Werte 1 .. 255
- Bereich 128 .. 255 für Exceptions (Fehlercodes) genutzt
- Festlegung der auszuführenden Aktion durch den Function Code in Nachrichten vom Client zum Server
- Sub-Function Codes zur Definition von Mehrfach-Aktionen

Grundlegende Merkmale des Datenfeldes

- Zusatzinformationen zur Aktion in Nachrichten vom Client zum Server
- Angeforderte Antwortdaten in Nachrichten vom Server zum Client bei fehlerfreier Ausführung
- Exception Code (Fehlercode) in Nachrichten vom Server zum Client bei Auftreten von Fehlern
- Beispiele: Adressen von Bitdaten und Registern, Anzahl von Objekten der Aktion, Länge des Datenfeldes
- Option: leeres Datenfeld (0 Byte) bei Nichtvorliegen von Daten

Public Function Codes : standardisiert und veröffentlicht

- Definition und Validierung durch Modbus Organization
- Conformance Tests festgelegt

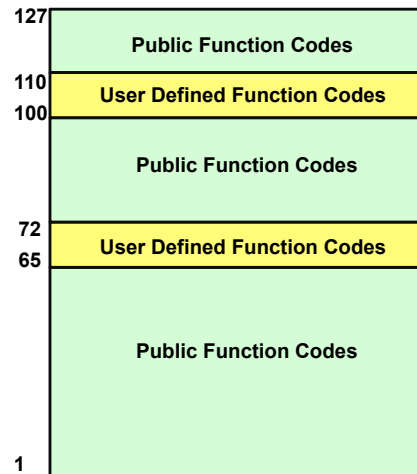
User-Defined Function Codes : nutzerspezifische Bereiche

- Auswahl und Implementierung durch den Nutzer
- Eindeutigkeit nicht gewährleistet

Reserved Function Codes (128..255)

- Nutzung teilweise durch Legacy-Anwendungen
- Nutzung auch für Fehlersignalisierung (Exceptions)

Bereiche der Function Codes



Bereich 128 .. 255: Reserved Function Codes

Function Code 0: nicht verwendet

Function Codes für Datenzugriff

Datenelemente	Zugriff	Fu. Code
Physical Discrete Inputs	Read	02
Physical Coils oder Internal Bits	Read	01
	Write Single	05
	Write Multiple	15
Physical Input Registers	Read	04
Physical Holding Registers oder Internal Registers	Read	03
	Write Single	06
	Write Multiple	16
	Read/Write Multiple	23
	Mask Write	22
	Read FIFO	24
File Records	Read	20
	Write	21
Encapsulated Interface Transport		43
CANopen General Reference		43-13

Beispiel 1: Function Code 01 (1)

Beschreibungsbeispiel: Function Code 01 "Read Coils"

- Lesen von 1 bis 2000 zusammenhängenden Bitwerten
- Ermitteln des Status von Coils in abgesetzten Geräten
- Request PDU: Startadresse für das erste Element (Coil) und Anzahl der zusammenhängenden Elemente
- Response PDU: Übermitteln der gelesenen Bitwerte (1 = ein ; 0 = aus)

Beispiel 1: Function Code 01 (2)

Request PDU

Function Code	1 Byte	0x01
Startadresse	2 Byte	0x0000 bis 0xFFFF
Anzahl der Bitwerte	2 Byte	1 bis 2000 (0x7D0)

Response PDU

Function Code	1 Byte	0x01
Anzahl folgender Bytes	1 Byte	z
Statuswerte (Coils)	n Byte	n = z oder z+1

n = z, wenn Anzahl der Bitwerte durch 8 teilbar, sonst z+1

Beispiel 1: Function Code 01 (3)

Exception Response PDU

Exception Function Code	1 Byte	0x81
Exception Code	1 Byte	01, 02, 03 oder 04

Exception Code 01: ungültiger Function Code

Exception Code 02: ungültige Anzahl von Bitwerten

Exception Code 03: ungültige Startadresse

Exception Code 04: Fehler beim Lesen der Bitwerte

Beispiel 2: Function Code 23 (1)

Function Code 23 (0x17) “Read/Write Multiple Registers”

- Lese- und Schreib-Aktionen für Holding-Register in einer Transaktion
- Ausführen des Schreib-Aktionen vor dem Lese-Aktionen
- Request PDU: Startadresse für das erste zu lesende Holding-Register und Anzahl der danach zu lesenden Elemente
- Request PDU: Startadr. für das erste zu schreibende Holding-Register, Anzahl der danach zu schreibenden Elemente und Schreibdaten
- Response PDU: Übermitteln der Werte aus den gelesenen Holding-Registern

Beispiel 2: Function Code 23 (2)

Request PDU

Function Code	1 Byte	0x17
Lese-Startadresse	2 Byte	0x0000 bis 0xFFFF
Anzahl der Lesewerte	2 Byte	L: 0x0001 bis 0x007D
Schreib-Startadresse	2 Byte	0x0000 bis 0xFFFF
Anzahl der Schreibwerte	2 Byte	S: 0x0001 bis 0x0079
Anzahl der Schreibbyte	1 Byte	2 x S
Register-Schreibwerte	S x 2 Byte	Daten

Response PDU

Function Code	1 Byte	0x17
Anzahl folgender Bytes	1 Byte	2 x L
Register-Lesewerte	L x 2 Byte	Daten

Beispiel 2: Function Code 23 (3)

Exception Response PDU

Exception Function Code	1 Byte	0x97
Exception Code	1 Byte	01, 02, 03 oder 04

- **Exception Code 01:**
Function Code ungültig
- **Exception Code 03:**
Anzahl der Schreibwerte oder Anzahl der Lesewerte ungültig oder Anzahl der Schreibbyte ungleich der doppelten Anzahl der Schreibwerte
- **Exception Code 02:**
Startadressen für das Lesen oder das Schreiben ungültig
- **Exception Code 04:**
Fehler beim Lesen oder Schreiben der Registerwerte

Industrielle Bussysteme : EtherCAT

Dr. Leonhard Stiegler
Automation

www.dhbw-stuttgart.de

EtherCAT

- Grundsätze und Organisation
- Topologie und Implementierung
- Protokolle und Formate
- Dienstgüte und Anwendungen

EtherCAT : Definition

Grundlegende Merkmale von EtherCAT

- EtherCAT : “Ethernet for Control Automation Technology”
- Offenes Feldbus-System auf Ethernet-Basis mit Optimierung für Anwendungen in der Automation
- Hohe Kapazitätsnutzung durch “**processing on the fly**”: Zugriff auf Daten während des Durchlaufens der Datenpakete
- Adressierung aller Knoten im Netzabschnitt in **einem** Ethernet-Paket

EtherCAT : Organisation

Definition und Pflege der EtherCAT-Technik:

- **EtherCat Technology Group (ETG)** : Gründung in 11/2003
- ETG-Büros in Deutschland (Zentrale), USA, China, Japan Korea
- Mitglieder: mehr als 2600 in 56 Ländern (02/2014)
- Unterstützung durch mehr als 150 Hersteller
- Unterstützung, Förderung und Werbung für EtherCAT durch ETG
- Sicherstellen der Kompatibilität von Implementierungen
- Definition von Funktionsanforderungen, Testverfahren und Zertifizierungsprozeduren

EtherCAT einbezogen in internationale Standards:

- IEC 61158 : Feldbus-Systeme für industrielle Steuerung
- IEC 61784-2 : Kommunikationsprofile für Geräteklassen
- IEC 61784-3-12 : Funktionssicherheit in Feldbus-Systemen
- IEC 61784-5-12 : Installationsprofile für Feldbus-Systeme
- IEC 61800-7 : Antriebsprofile und –Kommunikation
- ISO 15745-4 : Gerätebeschreibung mit XML
- SEMI E54.20 : Halbleiter- und Display-Fertigung

Funktion von EtherCAT als Feldbus:

- Abschicken des Pakets durch den Master
- Durchlaufen aller Stationen am Netzbus nacheinander
- Einlesen und Auslesen der Daten des Pakets an jeder Station während des Durchlaufens („on the fly“)
- Empfang und Auswerten des Pakets durch den Master nach dem vollständigen Durchlauf

[21_EtherCAT-animation.svg](#)

EtherCAT

- Grundsätze und Organisation
- **Topologie und Implementierung**
- Protokolle und Formate
- Dienstgüte und Anwendungen

Ziel: kostengünstige Implementierung bei hoher Güte

Hauptstation (Master):

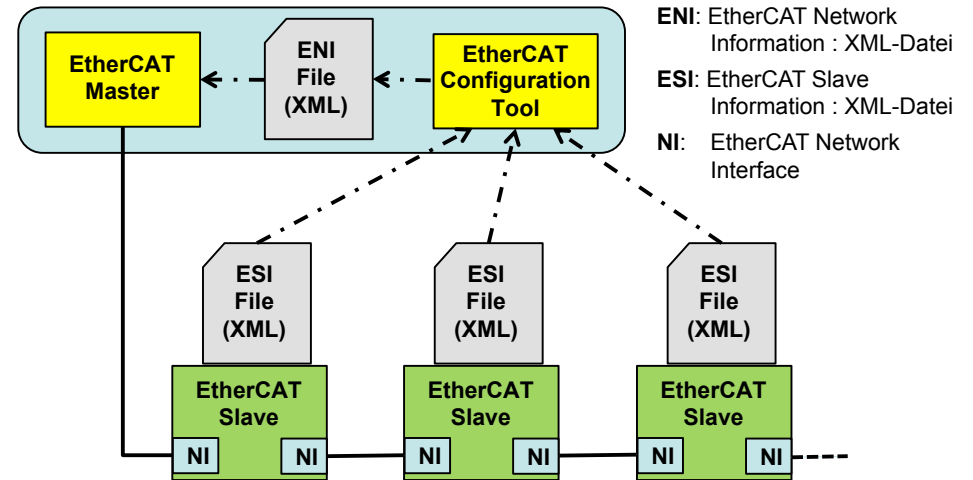
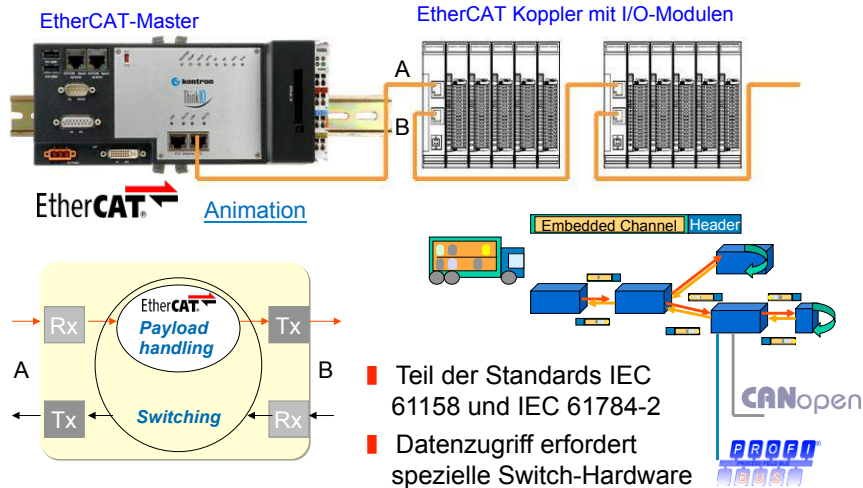
- Nutzung der Standard-Ethernet-Ports
- kein spezieller Prozessor
- Funktionen in der Software der Master-CPU

Unterstation (Slave):

- spezielle EtherCAT Slave Controller
- FPGA oder ASIC für einfache Stationen
- Controller für komplexe Stationen

Netz-Infrastruktur:

- Standard-Ethernet-Kabel und -Stecker
- Switches und Hubs als Option (nicht erforderlich)



EtherCAT Slave Information (ESI) File pro Gerät:

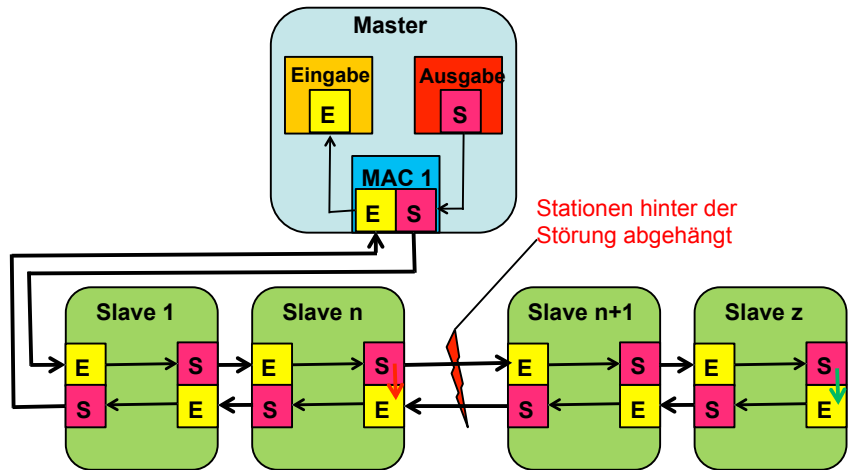
- Datei mit den relevanten Daten des Geräts im XML-Format
- Identität des Herstellers, Produkt-Code, Version, Seriennummer
- Objekt-Verzeichnis (Object Dictionary) mit dem Profil des Geräts
- Abfrage durch den Master bei der Konfiguration des Netzabschnitts

EtherCAT Network Information (ENI) File pro Master:

- Datei mit den relevanten Daten des vom Master gesteuerten Netzabschnitts im XML-Format
- Aufbau der ENI-Datei durch das Konfigurations-Tool nach der Abfrage der ESI-Dateien aller Slaves im Netzabschnitt
- Abbildung der Netz-Topologie mit den Profilen der eingesetzten Geräte
- Initialisierungs-Befehle und zyklisch zu sendende Befehle

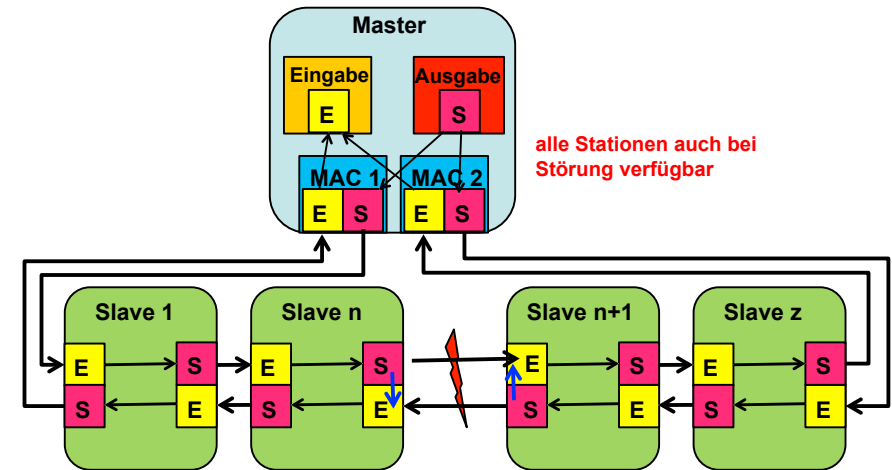
Ring-Struktur ohne Redundanz

Stationen in linearer Topologie und logischem Ring ohne Redundanz



Ring-Struktur mit Redundanz

Stationen in linearer Topologie und logischem Ring mit Redundanz



Übertragungs-Medien

EtherCAT-Übermittlung über unterschiedliche Medien:

- Einsatz von Fast Ethernet und Gigabit Ethernet
- Kupfer-Doppelader-Kabel
- Glasfaser-Kabel
- Funk-Übertragung
- Unterstützung komplexer Fertigungs-Infrastrukturen

Inhalt

EtherCAT

- Grundsätze und Organisation
- Topologie und Implementierung
- Protokolle und Formate
- Dienstgüte und Anwendungen

EtherCAT Device Protocol (EDP)

- ursprüngliches Protokoll
- Funktionsprinzip „processing on the fly“
- lokale Feldbus-Systeme
- Einschränkungen bei Lösungen der Automatisierung

EtherCAT Automation Protocol (EAP)

- erweitertes Protokoll (2009)
- Ergänzungen um Funktionen für die Fertigungs-Automatisierung unter Beibehaltung des Funktionsprinzips

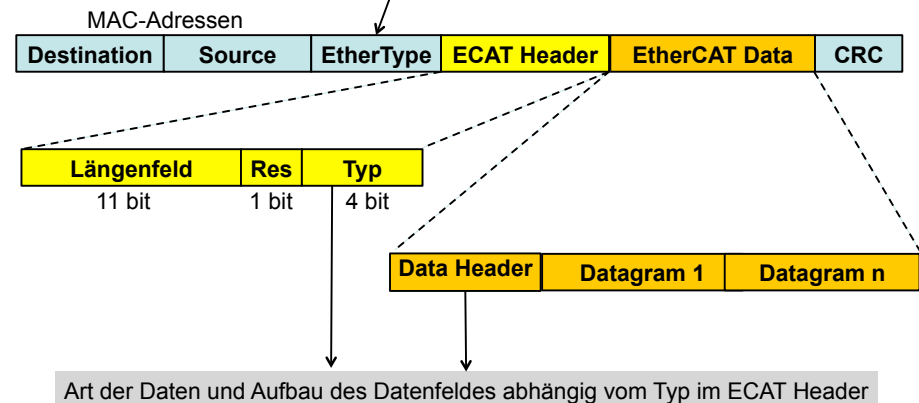
Wesentliche Merkmale von EDP

- Einsatz auf der Feldbus-Ebene in Maschinen, z.B. für Bewegungssteuerung, Ein-/Ausgabe, Messungen
- Echtzeitverhalten sehr gut, insbesondere Zykluszeiten unter 100 µs und präzise Zeit-Synchronisation
- Verarbeitung in den Stationen in Hardware: EtherCAT Station Controller (ESC)
- Konfiguration mit flexibler Topologie aus Bus und Stern
- Standard-Ethernet-Kabel und -Stecker

Erweiterung mit EAP auf Fertigungs-Automatisierung

- Ethernet-Kommunikation auch zwischen Steuereinheiten und zum Management-System
- Vereinfachen des direkten Zugangs zu Prozessdaten der Sensor- und Aktor-Ebene
- Integration mobiler Stationen
- Routing über Systemgrenzen hinweg
- Einheitliche Schnittstellen für Überwachung und Konfiguration

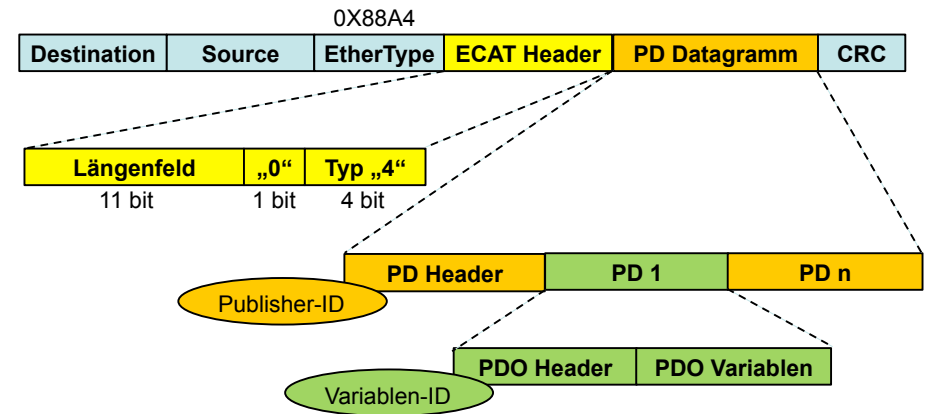
EtherCAT Header (Kopffeld) und Daten eingebettet in Standard-Ethernet-Rahmen
EtherCAT gekennzeichnet durch **Ethertype 0X88A4**



Unterscheidung von EtherCAT-Rahmen-Typen

- Definition der Art der EtherCAT-Daten durch das Typfeld im EtherCAT Header (4 bit)
- **Typ 1** : ECAT Device Protocol (EDP)
- **Typ 4** : ECAT Automation Protocol (EAP) – Prozessdaten
- **Typ 5** : EAP – Mailbox-Daten

Zyklische Übermittlung von Prozessdaten zwischen Mastern mit EAP



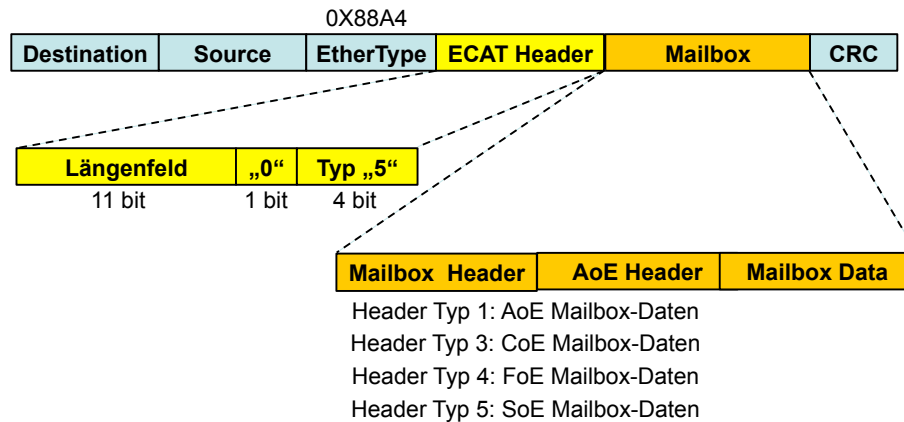
Automation Device Specification (ADS)

- Standard-Schnittstelle unabhängig von Geräten und Feldbussen
- Kommunikation zwischen ADS-fähigen Stationen („ADS Device“) über einen Message-Router
- „ADS Device“: Objekt mit ADS-Schnittstelle zum Anbieten von Server-Diensten
- Einsatz im EtherCAT Automation Protocol EAP
- Industriestandard durch Firma Beckhoff Automation vorgeschlagen

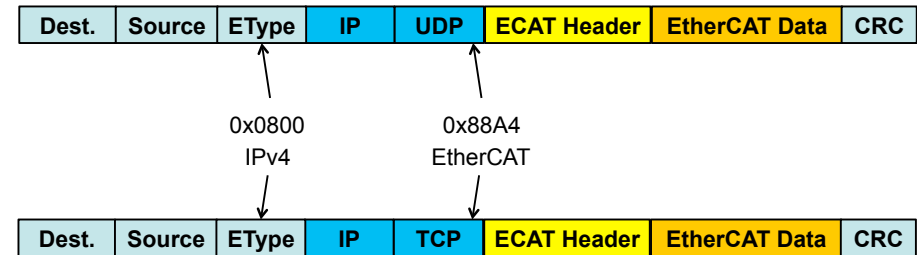
Arten der Prozessdaten-Übermittlung in EAP

- Broadcast: Senden der Prozessdaten durch jede Station in seinem Zyklus; Empfang durch jede andere Station möglich
- Abfrage („Polling“) mit 1:1-Verbindung: zyklisches Senden von Prozessdaten durch eine Station („Client“); 1:1-Antwort synchron durch adressierte Stationen („Server“)
- Abfrage („Polling“) mit 1:n-Verbindung: zyklisches Senden von Prozessdaten durch eine Station („Client“); Antwort durch eine oder mehrere Stationen („Server“)

Mailbox-Kommunikation in EtherCAT zwischen der Feldebene und Hintergrund- und Unterstützungssystemen (z.B. MES, ERP)



Transport von EtherCAT-Rahmen über TCP/IP- oder UDP/IP-Netze bei EAP in der Fertigungs-Automatisierung



Master-Master

- Direktverbindung von Ports an zwei Master-Stationen

Master-Slave

- Ringtopologie mit oder ohne Redundanz
- Option: Sterntopologie mit Switch

Slave-Slave

- Topologie-abhängig ohne Zwischenschalten des Masters: Einfügen durch Slave „upstream“ und Auslesen durch Slaves „downstream“
- Topologie-unabhängig in zwei Übermittlungszyklen über den Master mit höherer Verzögerung

Object Dictionaries : Objekt-Verzeichnisse:

- EtherCAT Objekt: Container für Parameterwert mit definierter Identität und in definiertem Datenformat
- Festlegen von Datentyp, Wertebereich, Einheit
- Objekt-Verzeichnis in jedem EtherCAT Gerät mit allen relevanten Parameterwerten
- Abbilden der Konfiguration und Speichern der Funktionsparameter
- Objekt-Index als Adress-Pointer zum Speicherort

Nachrichtenart: Service Data

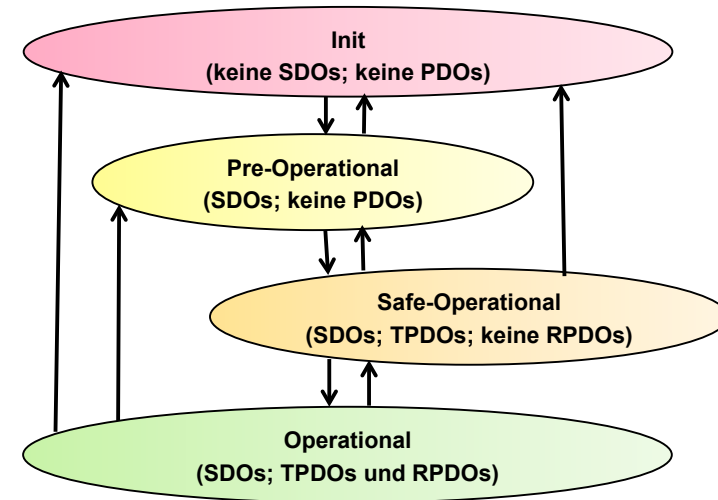
Object (SDO) Message

- Bestätigung durch Antwort: „confirmed“
- Übermittlung nicht zeitkritischer Daten
- Konfiguration der Stationen
- Lesen und eingeschränktes Schreiben von Objekten

Nachrichtenart: Process Data

Object (PDO) Message

- ohne Antwort: „unconfirmed“
- zyklische Übermittlung zeitkritischer Prozessdaten
- bis zu 16 Objekten PDO Message
- TPDO: Transmit PDO
- RPDO: Receive PDO



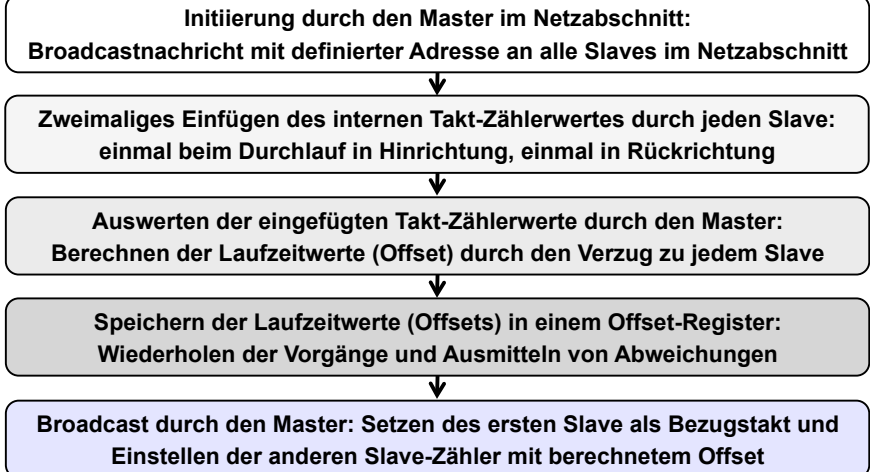
EtherCAT

- Grundsätze und Organisation
- Topologie und Implementierung
- Protokolle und Formate
- Dienstgüte und Anwendungen

Dienst	Anforderungen			
	PD	MBX	R	OD
Master-Master-Kommunikation	X			X
Externes Management: Konfiguration und Diagnose		X	X	X
Verbindung zur zentralen Verarbeitung , zu MES- und ERP-Systemen	X	X		
Verbindung zur Visualisierung, incl. Statusanzeige und Überwachung	X	X		

EtherCAT : Synchronisation

- Exakte Synchronisation verteilter Taktquellen in den Slaves initiiert vom Master
- Geringer Takt-Jitter ($\ll 1 \mu\text{s}$) auch bei höherem Zyklus-Jitter
- Master-Implementierung in Software möglich
- Definition des Systemtakts durch einen Zähler mit 64 Bit
- Zähler-Basiseinheit : 1 ns ; Startzeit : 01.01.2000 – 00:00
- Einhalten des Standard IEEE 1588 Precision Time Protocol



EtherCAT : Beispielrechnung für das Zeitverhalten

- Bewegungssteuerung für **40 Achsen** mit jeweils **20 Bit** Eingabe- und Ausgabe-Daten
- **50 Eingabe-Ausgabestationen** mit insgesamt **560 EtherCAT-Bus-Terminals**
- **Ein-/Ausgaben** : 2000 Digital und 200 Analog
- **Gesamt-Buslänge** : 500 m
- **Güte**: EtherCAT-Zyklusdauer (44% Bus-Auslastung): **276 μs**
- **Vergleich**: Sercos III **479 μs** ; PROFINET IRT **763 μs** ;
Powerlink V2 **2347 μs** ; PROFINET RT **6355 μs**

Quelle: EtherCAT Technology Group

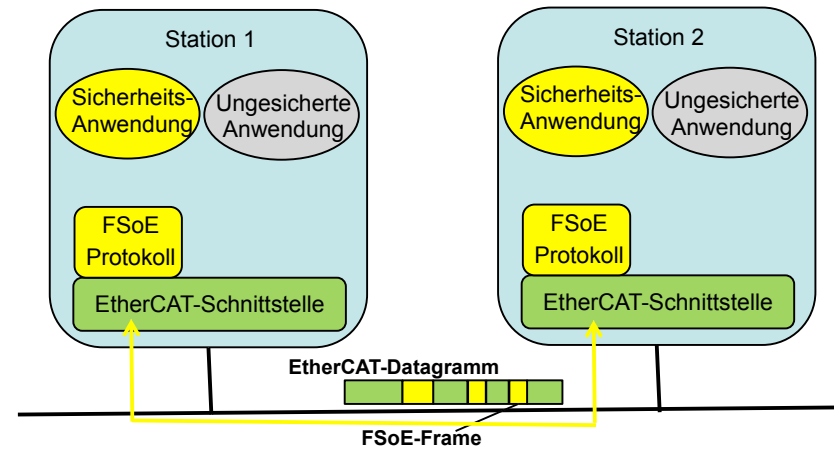
FSoE : FailSafe over EtherCAT

- Verfahren für Sicherheits-Anwendungen über EtherCAT
- TÜV-Zulassung für FSoE
- Safety Integrated Level SIL 3 nach IEC 61508
- Internationaler Standard für FSoE: IEC 61784-3-12
- Offenes Protokoll für EtherCAT und andere Systeme
- Übermittlung von sicherer und ungesicherter Information im selben Netz

FSoE-Integration in EtherCAT-Feldbus-Systeme

- FSoE-Verbindung zwischen FSoE-Master und FSoE-Slave
- Funktion des FSoE-Master In EtherCAT-Slave integrierbar
- Sichere und ungesicherte Anwendungen in einer EtherCAT-Station kombinierbar
- FSoE-Übertragung sicherer Prozessdaten transparent über den EtherCAT-Kanal

Sicherheits-Anwendungen und ungesicherte Anwendungen in einem Netz und in einer Station implementierbar



Industrielle Bussysteme : EtherNet/IP

Dr. Leonhard Stiegler
Automation

EtherNet/IP (Industrial Protocol)

- Grundsätze und Entwicklung
- CIP und Protokollbeschreibung
- Objekt-Modell und Formate
- Anwendung und Implementierung

Grundlegende Merkmale des EtherNet/IP

- Messaging-Protokoll auf der Grundlage des Ethernet
- Implementierung des "Common Industrial Protocol (CIP)"
- Medienunabhängige Kommunikations-Architektur
- Umfassendes Dienste-Spektrum für die industrielle Automation
- Einsatz seit 2000

Erste Definition:

- Rockwell Automation (Ende der 90-iger Jahre)

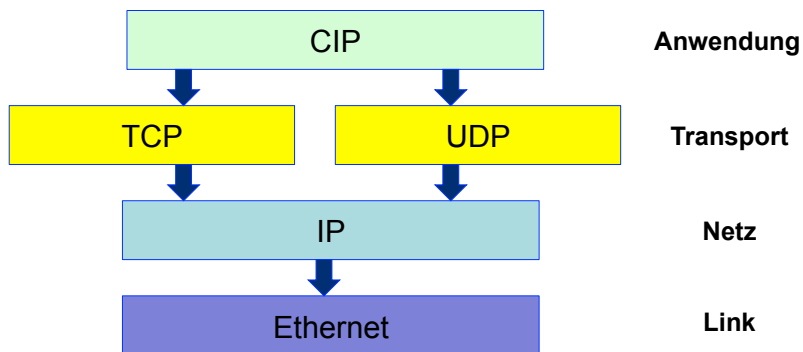
Weiterentwicklung und Pflege:

- Open DeviceNet Vendor Association (ODVA)
- Unterstützung durch mehr als 150 Hersteller

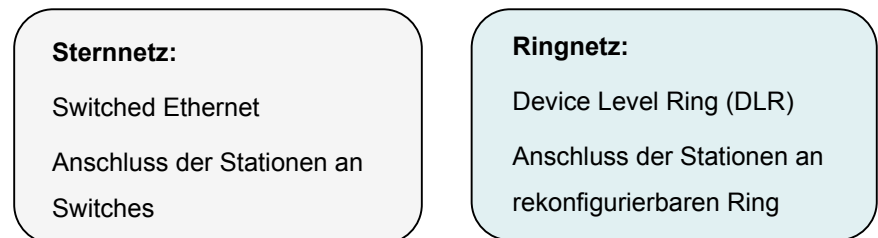
Weitere relevante ODVA-Standards:

- ControlNet ; DeviceNet ; CompoNet
- CIP Motion ; CIP Safety ; CIP Sync

Einsatz des medien-unabhängigen Anwendungsprotokolls CIP über TCP oder UDP und IP und Ethernet:



Zwei wesentliche Alternativen der EtherNet/IP-Topologie - auch in Kombination einsetzbar

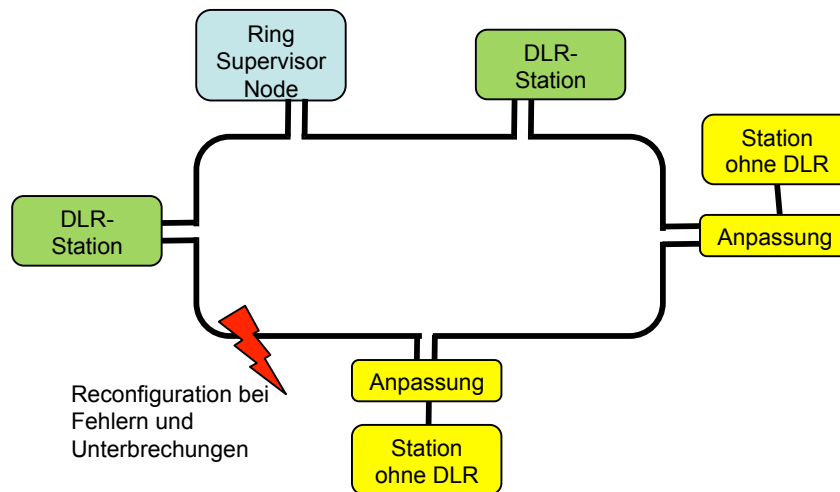


Sterntopologie als Standard bei EtherNet/IP:

- Anschluss der Stationen an Ethernet-Switches
- Leistungsfähige Switches mit Management-Schnittstelle (SNMP) für industrielle Anwendungen erforderlich
- Verzögerungen durch Switches nicht vorhersehbar: begrenzte Eignung bei hohen Echtzeit-Anforderungen
- Trennung von Netzabschnitten und Begrenzung des Broadcast- und Multicast-Verkehrs durch Router mit IGMP Snooping

Device Level Ring (DLR) als Topologie-Option:

- Ringnetz mit Rekonfigurierbarkeit im Fall von Fehlern
- Überwachung des Netzes und Steuerung der Konfiguration durch den „Ring Supervisor Node“
- Monitoring des Netzzustands durch spezielle „Beacon Frames“
- Stationen mit Unterstützung des DLR-Protokolls erforderlich
- Anpassung von Stationen ohne DLR über spezielle Switches
- Kombination mehrerer Ringnetze möglich
- Zusammenarbeit mit Ethernet-Sterntopologien



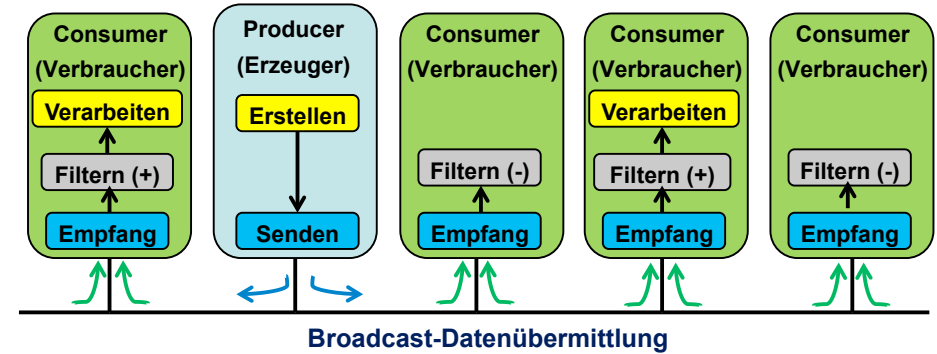
EtherNet/IP (Industrial Protocol)

- Grundsätze und Entwicklung
- CIP und Protokollbeschreibung
- Objekt-Modell und Formate
- Anwendung und Implementierung

Common Industrial Protocol (CIP)

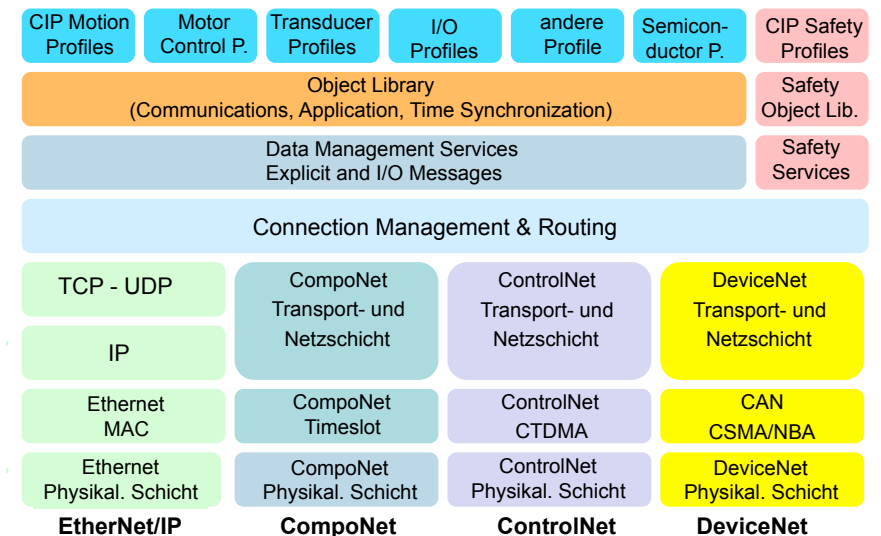
- Anwendungs-Protokoll zur Automatisierung industrieller Prozesse
- Breites Spektrum an Diensten und Transaktionen
- Nutzung unterschiedlicher Kommunikationsoptionen für Transport, Netz und Link, insbesondere EtherNet/IP
- CIP Safety zur Gewährleistung der Sicherheit
- CIP Sync für die zeitliche Synchronisation zwischen Geräten
- CIP Motion für komplexe Bewegungssteuerung in Echtzeit

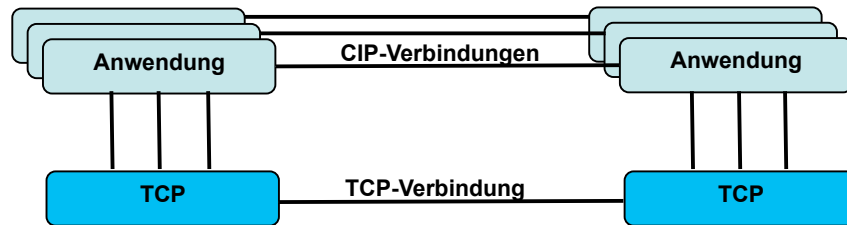
Modell zur Datenübermittlung : Producer-Consumer (Erzeuger-Verbraucher)



Schnelle Übermittlung zwischen Unterstationen (slave-to-slave)
Verteilen (broadcast) mit Notwendigkeit der Filterung

CIP-Mode	Beschreibung	Antwortzeit	Schicht 4
Unconnected	Phase des Erstellens der CIP-Verbindung zu anderem Gerät	Sekunden	TCP
Connected – Explicit Messages	Austausch nicht zeitkritischer Daten, z.B. mit Systemen oberhalb der Feldebene	etwa 0,5 sec bis einige Sekunden	TCP
Connected – Implicit I/O	zeitkritische Daten der Feldebene, insbesondere periodische Übertragung im "Producer-Consumer-Multicast"-Modell	<1 ms bis etwa 40 ms	UDP unicast/multicast





Mehrere CIP-Verbindungen über eine TCP-Verbindung
Mehrere TCP-Verbindungen pro Station zu anderen Stationen

CIP-Sync zur Verbesserung des Echtzeit-Verhaltens

- Zeitsynchronisation auf der Grundlage des Standards IEEE 1588
- Precision Time Protocol (PTP) definiert in IEEE 1588-2008
- Taktsynchronisation im Sub-Mikrosekunden-Bereich
- Eignung für Steuerungs- und Automatisierungssysteme
- Taktverteilung in Master-Slave-Konfiguration
- Synchronisation auch über mehrere Netzsegmente hinweg

EtherNet/IP (Industrial Protocol)

- Grundsätze und Entwicklung
- CIP und Protokollbeschreibung
- **Objekt-Modell und Formate**
- Anwendung und Implementierung

CIP als objekt-orientiertes Protokoll

- CIP Object Library : Bereitstellung umfassender Funktionen
- Implementierung der Geräte mit spezifischen Objekt-Modellen
- Kommunikationsmodell: Producer-Consumer
- Übermittlung von einem Sender (Producer) an mehrere Empfänger (Consumer)
- Device Profiles: standardisierte Geräteprofile mit einheitlichem Konfiguration und gleichem Verhalten

Anpassung von CIP an vier Typen von Netzen

- **EtherNet/IP:** Nutzung der Ethernet-Infrastruktur in unterschiedlichen Topologien, incl. Stern und Device Level Ring (DLR)
- **DeviceNet:** CIP über CAN-Technik mit Trunkline-Dropline-Topologie und Stromversorgung über Verbindungskabel
- **ControlNet:** CIP über CTDMA-Technik für schnelle Übertragung bei zeitkritischen Anwendungen in unterschiedlichen Topologien
- **CompoNet:** CIP über TDMA-Technik zur schnellen Verbindung von Steuerungen mit Sensoren und Aktoren

Zwei spezielle Objekte in CIP zur Nutzung über EtherNet/IP

TCP/IP Object

Class ID: 0xF5

Konfiguration von:

- IP-Adresse
- Netzmaske
- Gateway-Adresse
- usw.

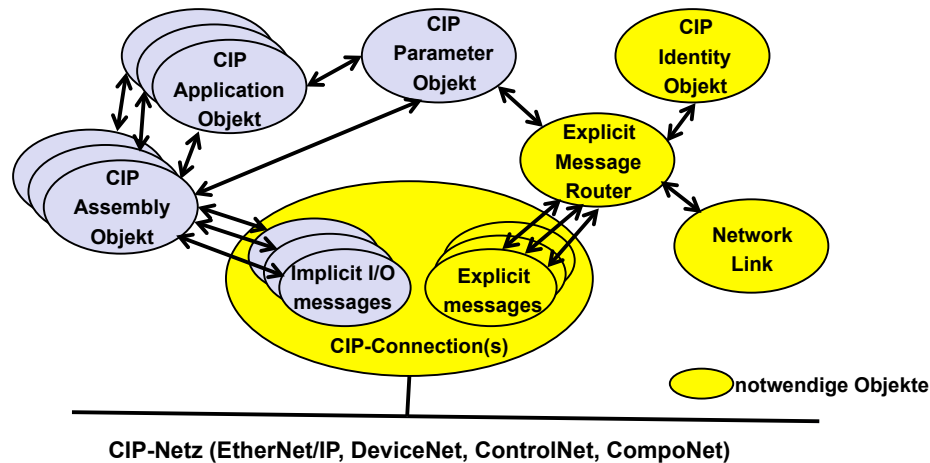
Ethernet Link Object

Class ID: 0xF6

Konfiguration der

Ethernet-Schnittstelle

- Status-Information
- Zähler
- usw.



EtherNet/IP (Industrial Protocol)

- Grundsätze und Entwicklung
- CIP und Protokollbeschreibung
- Objekt-Modell und Formate
- Anwendung und Implementierung

CIP Motion als Ergänzung von CIP

- Verbesserung der Anwendungen zur Bewegungsregelung („Motion Control“) mit CIP über EtherNet/IP
- Beschreibung im „Motion Control Device Profile“ mit Implementierungen seit 2009
- IEEE 1588 Synchronisation mit CIP Sync vorausgesetzt
- Spezielle Schnittstellen-Schaltungen empfohlen

- Zusammenarbeit von Rockwell Automation und Cisco Systems
- Architektur für integrierte Netze der industriellen Automatisierung auf Basis des Ethernet
- Einsatz von CIP über Ethernet/IP
- CPwE als Kombination von Ethernet-to-the-Factory (EttF) von Cisco und Integrated Architecture von Rockwell
- Beschreibung und Anleitung im “Converged Plantwide Ethernet (CPwE) Design and Implementation Guide”

Andere Industrielle Bussysteme

Dr. Leonhard Stiegler
Automation

www.dhbw-stuttgart.de

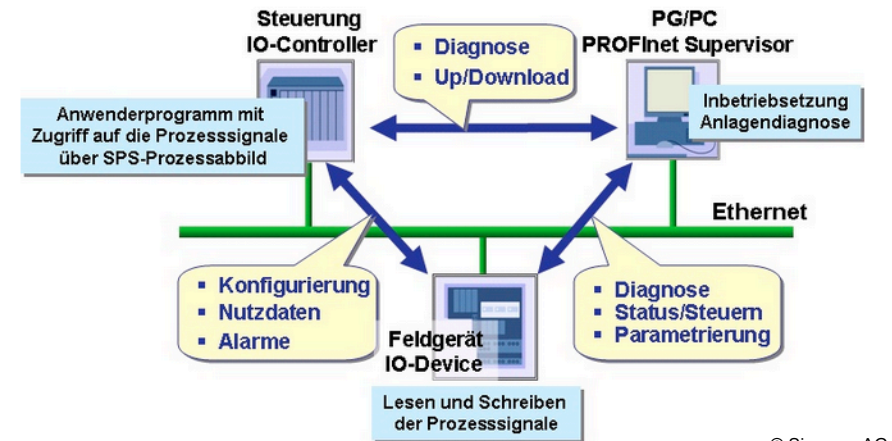
- Profinet
- Ethernet Powerlink
- Avionics Full Duplex Swiched Ethernet – AFDX
- Train Communication Network – TCN

Profinet,



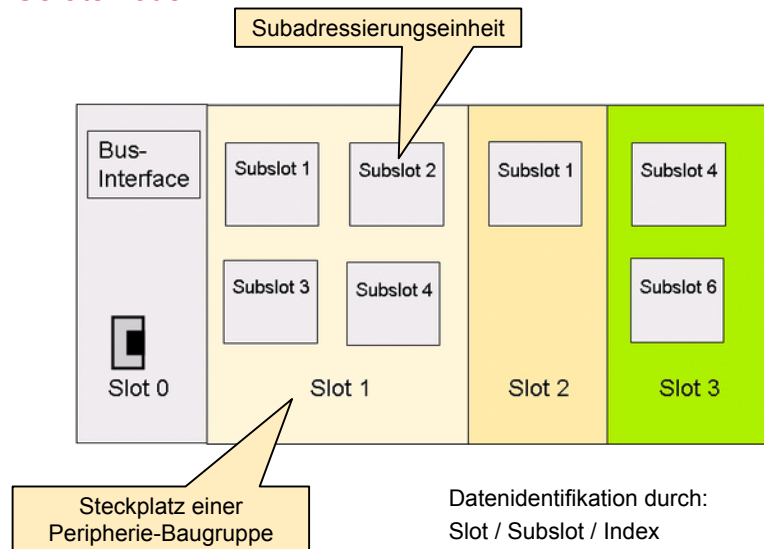
- Controller-basierte Architektur
- Kommunikation von IO-Devices über industrielles Ethernet
- Standard Ethernet, drahtgebunden oder drahtlos
- Echtzeitfähig (motion control Anwendungen)
- Unterstützt OPC Schnittstelle zur Mensch-Maschine Kommunikation
- Kommunikation mit Vorgängersystemen wie z.B. Profibus
- Übertragungsraten: FE (100Mbit/s) GE (1000Mbit/s)
- Full-Duplex Übertragung

Geräte und Rollen

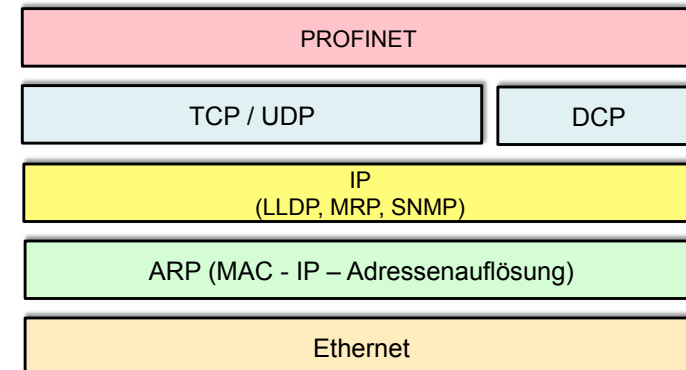


© Siemens AG

Gerätemodell

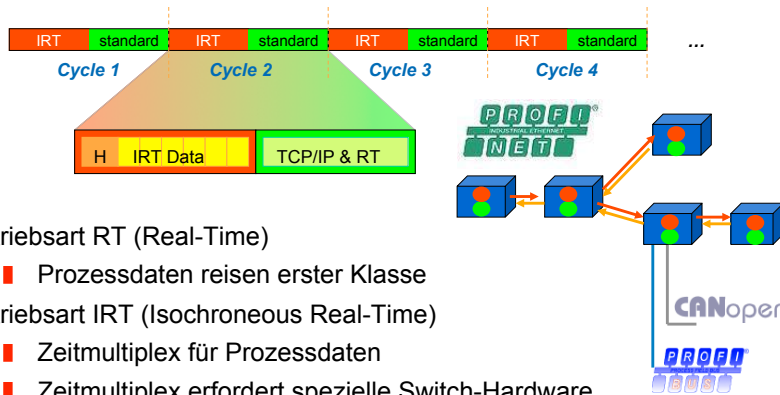


Protokolle



- | | |
|-------------------------------------|--|
| ARP: Address Resolution Protocol | DCP: Dynamic Configuration Protocol |
| LLDP: Link Layer Discovery Protocol | SNMP: Simple Network Management Protocol |
| MRP: Media Redundancy Protocol | IP: Internet Protocol |

Bestandteil von IEC 61158 und IEC 61784-2



Betriebsart RT (Real-Time)

- Prozessdaten reisen erster Klasse

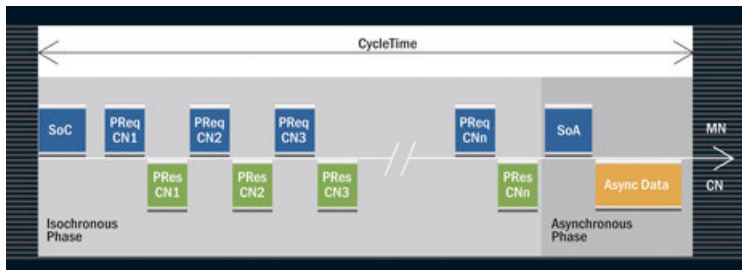
Betriebsart IRT (Isochronous Real-Time)

- Zeitmultiplex für Prozessdaten
- Zeitmultiplex erfordert spezielle Switch-Hardware

- Profinet
- Ethernet Powerlink
- Avionics Full Duplex Switched Ethernet – AFDX
- Train Communication Network – TCN

Ethernet Powerlink

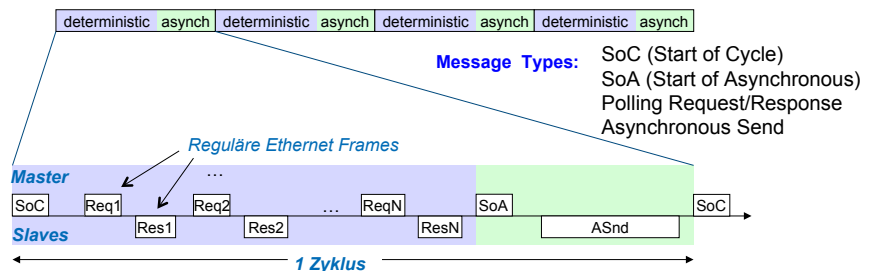
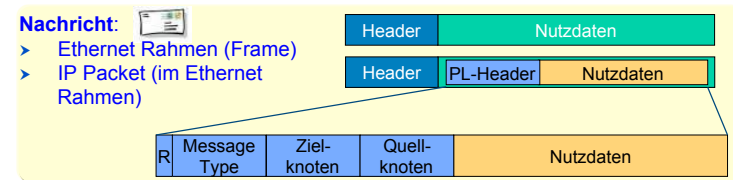
- Software-basierte industrial Ethernet Lösung
- Client – Server Prinzip : Managing Node (MN); Controlled Nodes (CN)
- Topologie: Stern, Baum, Kette, Ring und Kombinationen
- Zyklus:



SoC: Start of Cycle; Preq: PollRequest-Nachricht; Pres: PollResponse-Nachricht

Ethernet POWERLINK

Orchestrierung in Schicht 3



Inhalt

- Profinet
- Ethernet Powerlink
- Avionics Full Duplex Switched Ethernet – AFDX
- Train Communication Network – TCN

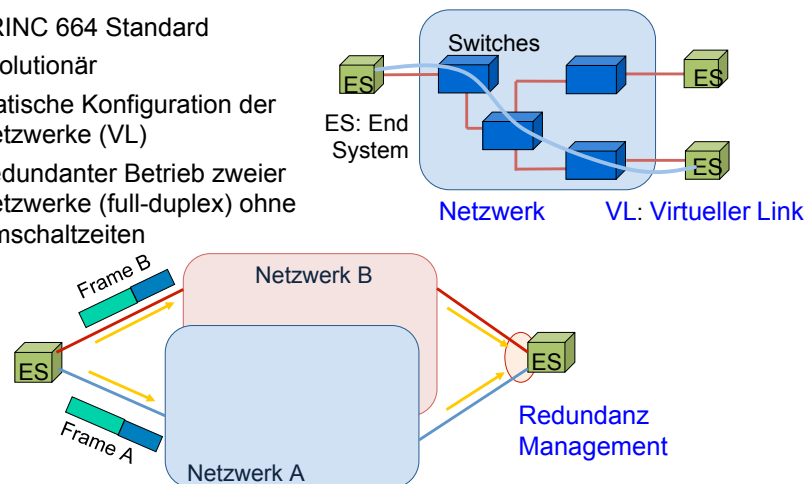
Avionics Full Duplex Switched Ethernet - AFDX

- Bezeichnung für den ARINC-Standard 664
- AFDX bezeichnet ein Schicht-2 Netz und das dazu gehörige Protokoll für die Kommunikation zwischen Flugzeugsystemen
- Erfüllt spezielle Anforderungen der Luftfahrtindustrie:
 - Hohe Datenrate, geringes Gewicht der Baugruppen und Module
Eingesetzt in A380, B787

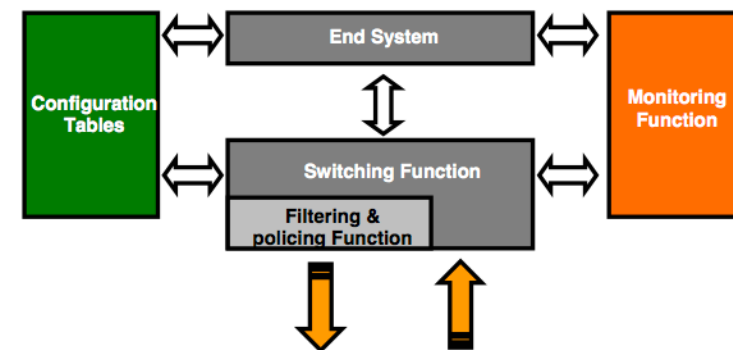
AFDX

Avionics Full-Duplex Switched Ethernet

- ARINC 664 Standard
- Evolutionär
- Statische Konfiguration der Netzwerke (VL)
- Redundanter Betrieb zweier Netzwerke (full-duplex) ohne Umschaltzeiten

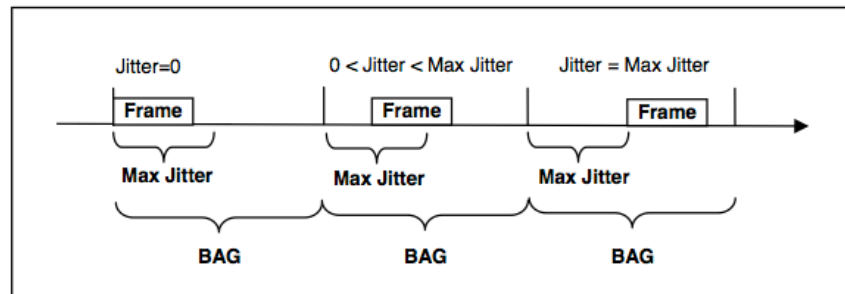


AFDX Switch Architektur



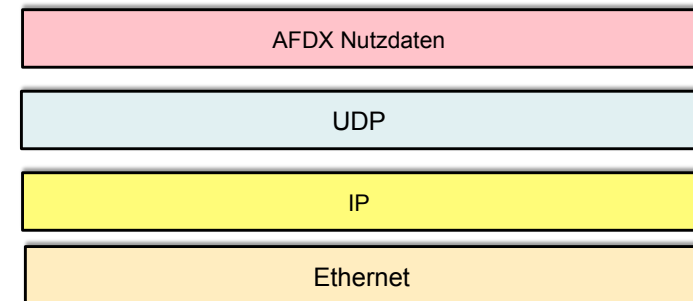
Mit Hilfe eines AFDX-Switches werden Endsysteme (ES) miteinander verbunden. Das Switch-ES enthält z.B. Netzmanagement Funktionen

AFDX Datentransfer



BAG: ist ein Zeitschlitz in einer VL-Verbindung
 BAG-Dauer: 1 – 128 ms (als Zweierpotenz-Wert : 1, 2, 8, 16, 32, 64, 128)
 Jitter: Rahmen-Zeitoffset

AFDX Protokollstack



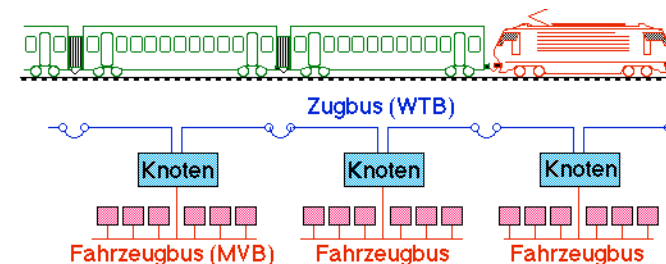
Inhalt



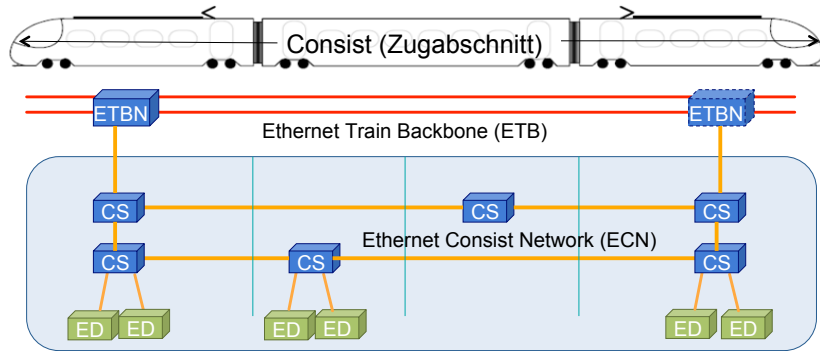
- Profinet
- Ethernet Powerlink
- Avionics Full Duplex Switched Ethernet – AFDX
- Train Communication Network – TCN

Train Communication Network – TCN

- Hierarchisch aufgebautes Feldbussystem für die zeit- und sicherheitskritische Datenübertragung in Schienenfahrzeugen
- TCN - Aufbau:
 - **Zugbus** (WTB) zur Verbindung von max. 32 Fahrzeugen
Hardware: TP; Datenrate: 1,0Mbit/s; Länge: max. 860m
 - **Fahrzeugbus** (MVB) zur Kommunikation von max. 4096 I/O-Geräten oder intelligenter Steuerungen



IEC Norm 61375-1, Erweiterung auf 61375-4 (Ethernet Consist Network)
und 61375-2-5 (Ethernet Train Backbone) in Arbeit, evolutionär



Besonderheit: dynamische Netzkonfiguration auf L3 basierend auf URIs

ETBN: Ethernet Train Backbone Node (Router) **ED:** End Device

CS: Car Switch, Consist Switch (Ethernet Switch)