

1. Backplane-Systeme
2. Peripherie-Busse
3. **Feldbusse**

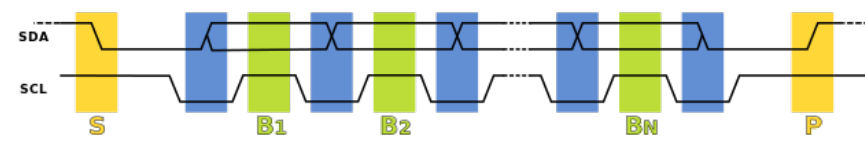
## III.3 Feldbusse, Ethernet-Protokolle

- **digitale Technik**, die analoge Leitungen **zu Sensoren, Aktoren** ersetzt
  - deterministische Zugangsverfahren z.B. TDMA
  - stochastische Zugangsverfahren z.B. Ethernet
- „Digital data communication for measurement and control – Fieldbus for use in industrial control systems“
  1. Generation 80er Jahre, Normung 1999 IEC 61158
  2. Generation basiert auf Echtzeit-Ethernet
- **Vorteil: Verkabelungsaufwand, Kosten, Robustheit, Vereinheitlichung**
- Klassifizierung in Protokollfamilien  
(Communication Profile Families CFP): CFP1...CFP19
  - Einsparung gegenüber analoger Verkabelung ca. 40%
  - ca. **50 grundsätzlich verschiedene Feldbusse**, 20 indust. Ethernet-Protokolle
- Marktanteil Fertigungsautomatisierung: 18% PROFIBUS, 8% PROFINET

## III.3.0 Feldbusse Übersicht

1. I<sup>2</sup>C (**Inter-Integrated Circuit**): 1982 Philips  
geräteintern zw. IC's (1000 von 50 Herstellern)
2. Autoindustrie:
  - CAN (**Controller Area Network**) 1983 Bosch: ereignisgesteuert
  - **Flexray** 2000 BMW, Daimler, Philips: zeitgesteuert, deterministisch
3. Profibus (**Process Field Bus**) 1989 BMBF: Automatisierungstechnik
4. Profinet (**Process Field Network**) offener Industrial Ethernet-Standard

## III.3.1 Feldbusse I<sup>2</sup>C

- nur Prozeduren: init, start, sendbyte(slaveid), sendbyte(wert), stop
- Multi-Master-Slave Bus: Takt- (SCL), Datenleitung (SDA)
- positive Logik: "0" 0,3 VDD, "1" 0,7 VDD , typ. VDD = 5 (2) V
  - Open-Kollektor + Pull-Up-R's → Wired-AND
- Start, 8 Daten, Ack, Stop
  - Start: SCL=1, SDA “
  - Stop: SCL=1, SDA ‘
  - Daten gültig: SCL=1, SDA=konst
  - Ack = 9. Datenbit: SCL=1, SDA=0
  - NACK = 9. Datenbit: SCL=1, SDA=1
- Adressierung: ersten 7 Bit: Adresse, 8. Bit: 0 Write ’ Slave
  - 16 von 128 Adressen reserviert 112 Knoten
  - unteren 3 Bit IC-Steuerpins ’ 8 gleichartige ICs

## III.3.1 Feldbusse I<sup>2</sup>C

- Übertragungsprotokoll
  - Beginn: Start-Signal, Adresse
  - Bestätigung durch Slave: ACK
  - Daten byteweise, MSB zuerst, Quittung mit ACK
  - letzter Lesezugriff: NACK
  - Ende: Stop-Signal, alternativ Start-Signal für weitere Übertragung
- Einsatzgebiete
  - 2 EA-Pins + einfache SW kontrollieren ganzes NW
  - sehr kostengünstig für langsame Peripherie
  - Bsp: Lautstärkeregler, AD-, DA-Wandler, Echtzeituhr, kleine Speicher, bidirektionale Schalter, Multiplexer, Sensoren
  - SMBus Intel: Kommunikation mit Mainboard-Komponenten
  - dt. Krankenversichertenkarte

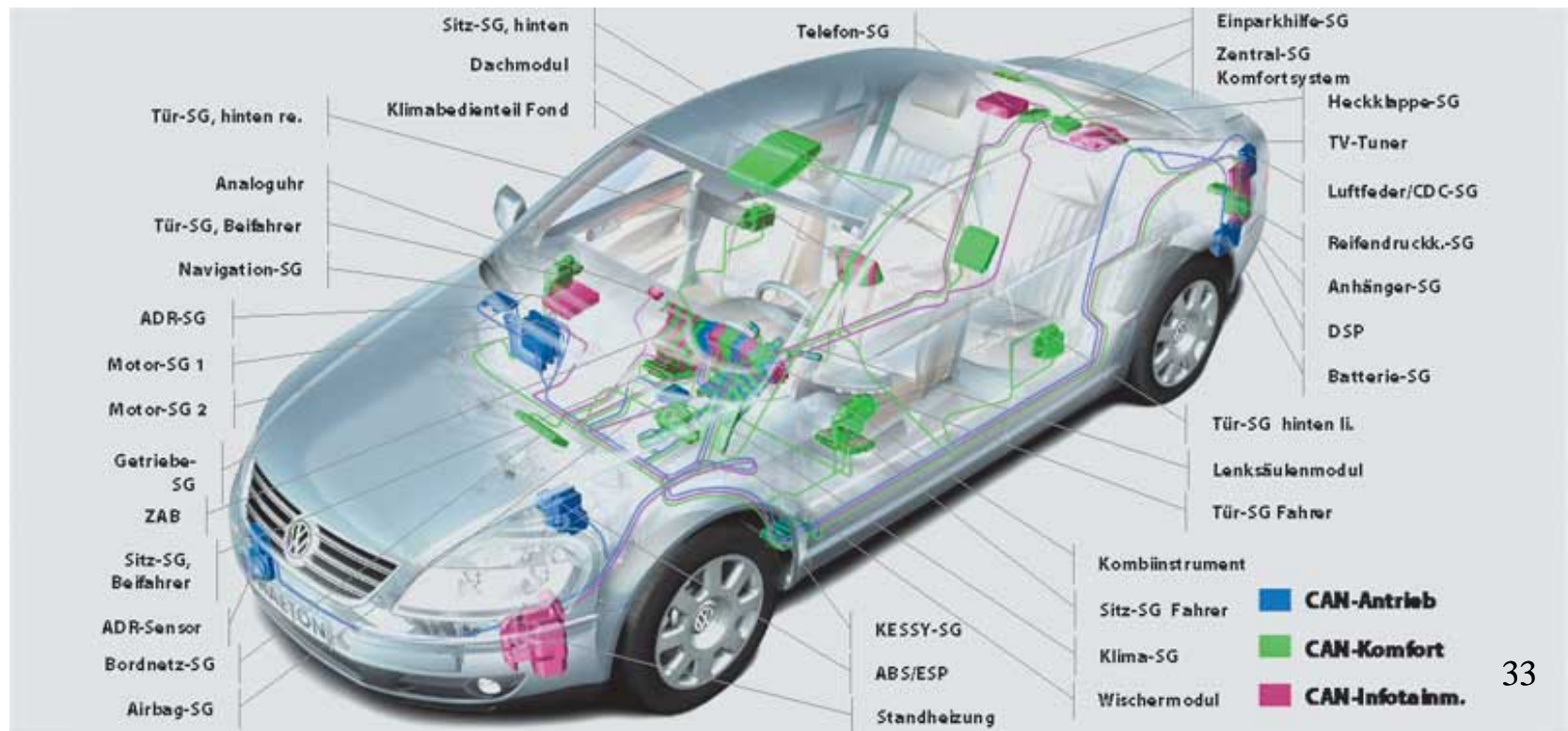
Standard (Sm)	0,1 Mbit/s
Fast (Fm)	0,4 Mbit/s
Fast Plus (FM+)	1,0 Mbit/s
High Speed (Hsm)	3,4 Mbit/s
Ultra Fast (UFm)	5,0 Mbit/s

1. Backplane-Systeme
2. Peripherie-Busse
3. **Feldbusse**

- I<sup>2</sup>C
- **CAN**
- Flexray
- Profibus
- Profinet

## III.3.2 Feldbusse CAN: Controller Area Network

- vor fast 30 a für Autos
- 2015 ca. 10 km Kabel, 60 – 90 Steuergeräte (SG) (Phaeton)
- Kosten, Gewicht, Anfälligkeit, Inkompatibilität



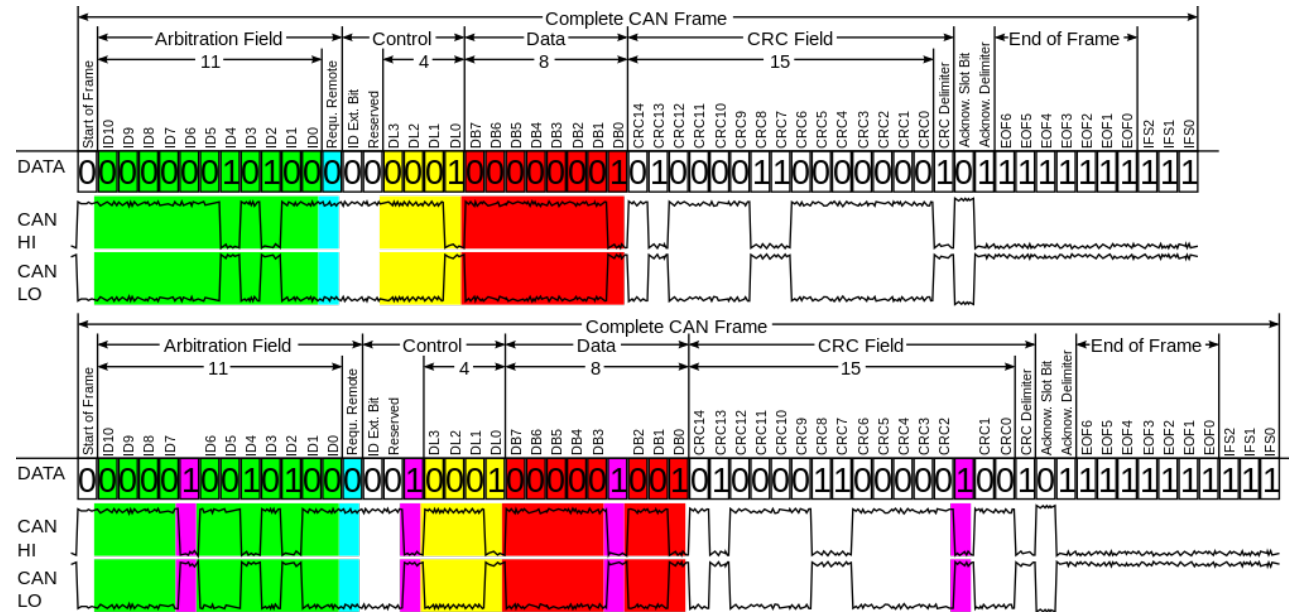
## III.3.2 Feldbusse CAN: Controller Area Network

- Buseigenschaften
  - Multimaster, CSMA/CR: Collision Resolution
  - 32 bis zu 110 Busteilnehmer, Wellenwiderstand ca. 100 Ω
    - 2-3 Draht: CAN\_High, CAN\_Low, (CAN-GND)
    - Lowspeed: 125 kbit/s, 500m (wegen CS, abhängig von Laufzeit)
    - Highspeed: 1 Mbit/s, 40 m
  - NRZI-Kodierung, CRC
  - Ruhespannung 2,5V, "U > 2 V = "0" dominant, < 1,5 V = "1" rezessiv
  - rezessive Bits werden von dominanten überschrieben (Wired-AND)
- Kommunikation in Telegrammen (Frame)
  - Daten-Rahmen: bis 8 Byte
  - Remote-Rahmen: Aufforderung zum Senden
  - Fehler-Rahmen
  - Overload-Rahmen: Zwangspause zw. Daten- und Remote-Rahmen

## III.3.2 Feldbusse CAN

### • Aufbau Frame

- Start of Frame
- Arbitration
- Datenlänge
- Daten
- 15 Bit CRC
- Ack
- End of Frame



- Bitstopfen: > 5x gleicher Pegel → Einfügen inverser Pegel
  - EOF: 7x "1" → Innerhalb eines Frames darf das nicht vorkommen
- Objekt-Identifizier:
  - kennzeichnet Inhalt einer Nachricht, nicht Gerät: z.B. Temperatur, Druck
  - Priorisierung einer Nachricht (0x0, 0x1 Netzmanagement)

## III.3.2 Feldbusse CAN

- Arbitrierung basiert auf Identifier
  - bei gleichzeitigem Senden: dominantes Bit (0) überschreibt rezessives (1)
  - Abbruch des „rezsiven“ Senders
  - niedrige Identifier → höhere Priorität
  - Übertragung wird nicht unterbrochen
  - **nicht deterministisches Verhalten**
- Kommunikationsschichten
  - **physische Schicht**: Kabel, Stecker, Pegel, Bits
  - **Übertragungsschicht** (ISO 11898): Pakete, Buszuteilung, Fehlererkennung
  - **Objekt Schicht**: Verwaltung + Annahme der Nachrichten, Zustandsermittlung
  - CAN **Application Layer** (CAL): Bereitstellung der Daten, Identifier



## III.3.2 Feldbusse CAN

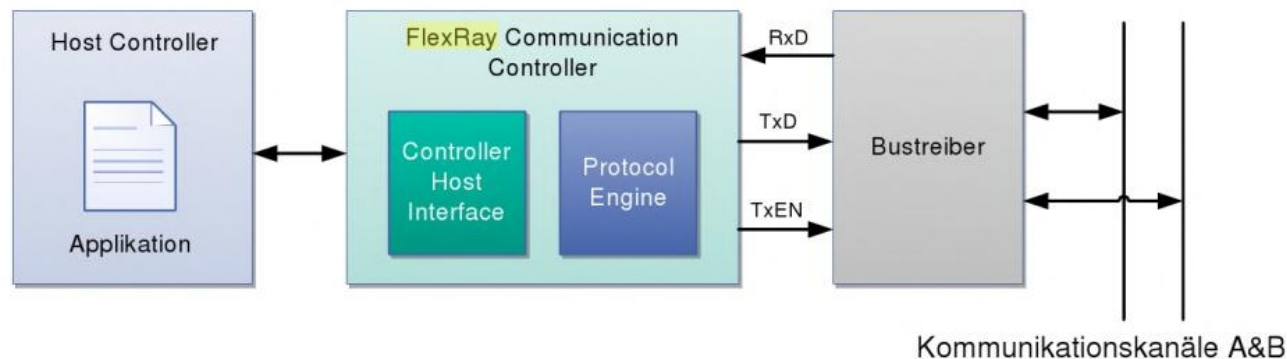
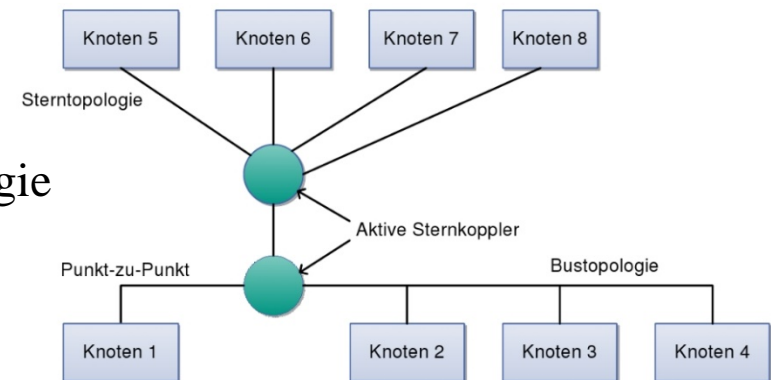
- standardisierte höhere Protokolle (>10) für spezielle Einsatzgebiete: Schiffe, Feuerwehr, Luftfahrt, Landwirtschaft, Automatisierungstechnik
  - **ISO-TP**: Verbindungs- und Transportprotokoll bis 4095 Byte Daten
    - Extended Adressierung im 1. Byte Nutzdaten für Geräteadresse
    - Segmentierung: First (Nachrichtlänge), Consecutive Frame
    - Flußkontrolle
  - **CANopen**: EU Anwendungsprotokoll Client-Server, Producer-Consumer
    - Grunddienste: Request, Indication, Response, Confirmation
    - Kommunikationsobjekte: Servicedaten-, Prozessdaten-, Sync-, NMT-O.
    - Objektverzeichnis Schnittstelle zur Anwendung
    - Zuordnung Objektverzeichnis, **Geräte-, Anwendungsprofil**
  - **DeviceNet**: US-Variante, Schicht 5-7: Common Industrial Protocol (CIP)

## III.3.3 Feldbusse Flexray

- deterministischer, serieller, fehlertoleranter Bus bis 10 Mb/s je Kanal
- **deterministisch**: Time Division Multiple Access
  - Zyklen: statisch, dynamisch
  - zeitgesteuert: Interrupts beeinflussen Zeitverhalten nicht
- **typisch** keine PC Kontrolle, **eingebettet**
  - **Festlegung aller Parameter im Entwicklungsprozess**
  - Kommunikationszeitplan bei Entwicklung, Laufzeit von Anwendungen unabhängig
  - Synchronisation und Konfiguration: beim Start, Globale Zeitbasis
- Sicherheitsanforderung (ESP) durch Redundanz, Determinismus
- Kommunikationsebenen **physisch und Verbindung** im Standard ISO 17458
  - höhere Ebenen BS: z.B. AUTOSAR (AUTomotive Open System Architecture)
  - steuergerätespezifische Basis-, unabhängige Anwendungs-SW, virt. Funktionsbus

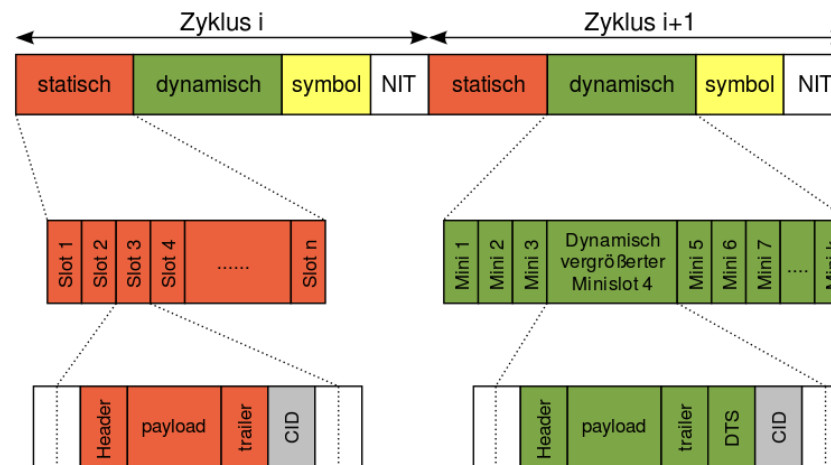
### III.3.3 Feldbusse Flexray

- Stern- und Bustopologie, zentraler und dezentraler Zugriffskontrolle
  - passive, aktive Sterne, Busse, P2P
  - hybride Topologie
  - 1 o. 2 Kanäle, unterschiedliche Topologie
  - Buswächter
- Knotenaufbau:
  - Host (Recheneinheit, Mikrokontroller)
  - Kommunikationskontroller: Kontroller-Host-IF, Protokoll-Engine
  - Bustreiber (EMC): Busansteuerung



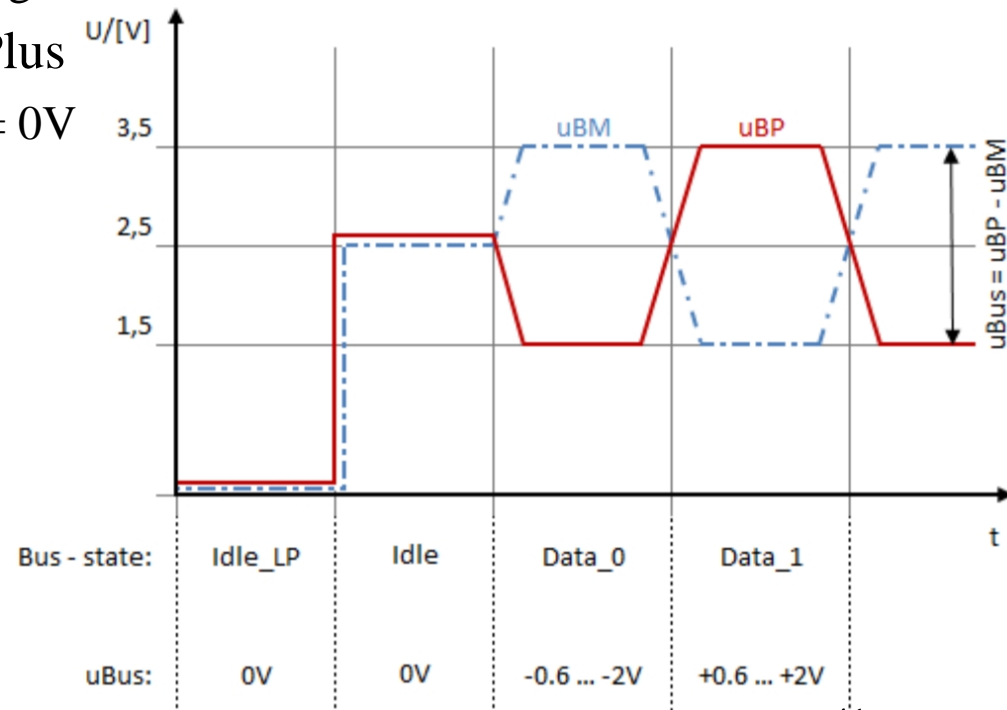
## III.3.3 Feldbusse Flexray

- Kommunikationsstruktur TDM-Access
  - **Zyklen**: statisch, dynamisch, Symbol, NIT (Network Idle Time)
    - statisch: festgelegter Zeitschlitz, Planungsphase Busfahrplan, Präzision 10 µs
    - dynamisch: kürzere Minislots, priorisierte Ids, nicht Echtzeit
  - **Slots**: Header, Payload, Trailer, CID (Channel Idle Delimiter)
  - **Frames**: Datencontainer, deterministischer + dynamischer Teil



### III.3.3 Feldbusse Flexray

- Signalübertragung
  - abgeschlossene verdrehte Leitung, differenzielle Spannung
  - Länge von Topologie abhängig, 2 aktive Sterne max. 24 m, Laufzeit
- Buszustände: BusMinus, BusPlus
  - Idle\_LP: Idle Low Power  $U = 0V$
  - Idle:  $\Delta U = 0V$
  - Data\_0:  $\Delta U = -2V$
  - Data\_1:  $\Delta U = 2V$
- Bitzeit 100 ns
- Kanal A, B



1. Backplane-Systeme
2. Peripherie-Busse
3. **Feldbusse**

- I<sup>2</sup>C
- CAN
- Flexray
- **Profibus**
- Profinet

## III.3.4 Feldbusse Profibus

- **Prozess Field Bus**
  - Automatisierungstechnik, 1989 vom BMBF gefördert
- drei Varianten
  1. PROFIBUS FMS (Fieldbus Message Specification): komplexe Anlagen, nicht mehr Standard
  - 2. PROFIBUS DP** (Dezentrale Peripherie): Fertigungstechnik – Ansteuerung von Sensoren und Aktoren durch zentrale Steuerung, bis 12 MB/s
  - 3. PROFIBUS PA** (Prozess-Automation): Verfahrenstechnik – Mess- und Prozessgeräten, Aktoren und Prozessleitsystem, mit Energieversorgung, Ersatz für 4 bis 20mA-Technik, 31,25 kb/s

## III.3.4 Profibus Schichten

- Gerätetypen
  - **Master**: bestimmt Datenverkehr (Diagnose, Controller von DP-Systemen)
  - **Slave**: E/A-Geräte, Ventile, Antriebe – beantworten Anfragen
- Protokoll-Schichten
  - 1. physische Schicht**: Übertragungstechnik
  - 2. Verbindungsschicht**: FDL Protokoll (Buszugriffsprotokoll)
  - 3. Anwendungsschicht**: DP, FMS Protokoll
  - 4. Benutzerschicht**: Profile, Geräteklassen, Anwendungen

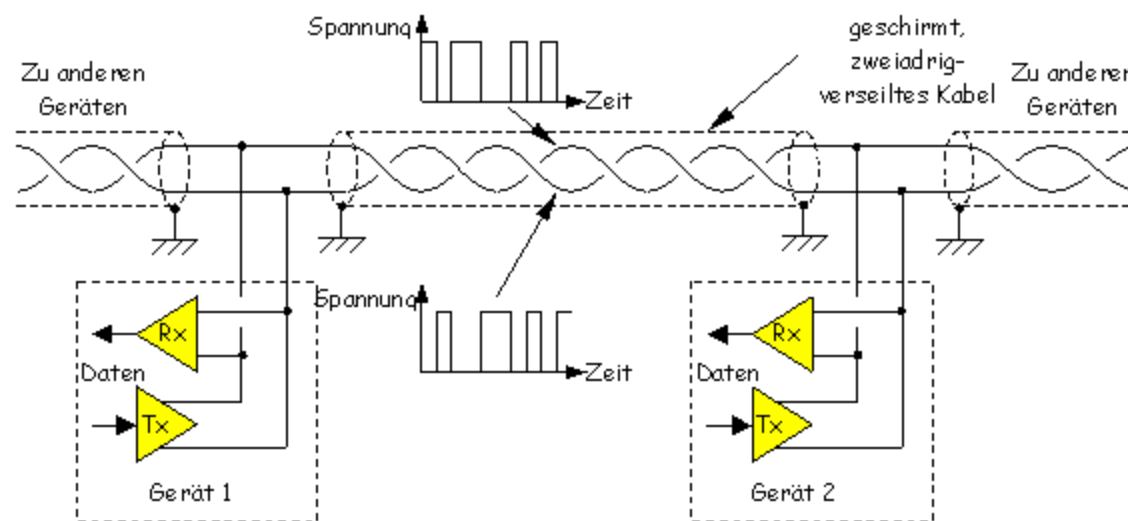
## III.3.4 Profibus physische Schicht

- 3 Übertragungsverfahren
  1. **EIA-485**, verdrehte Zweidrahtleitung 150 Ohm in Bustopologie
  2. **LWL**: Stern-, Bus-, Ring-Topologie: bis 15 km, bis 12 Mbps
    - störbehaftete Umgebung, Potentialtrennung, Reichweite, Durchsatz
    - LWL-Konverter → RS 485
  3. **MBP (Manchester Bus Powered)**: PROFIBUS PA, bis 1,9 km, 31,25 kbps
    - Feldgeräte passive Stromsenke, Versorgung mit bis zu 250 mA
    - synchron, Grundstrom 10 mA, Modulation mit  $\pm 9$  mA
    - **eigensicher**, explosionsgefährdete Bereiche (Petrol-, Chemie)



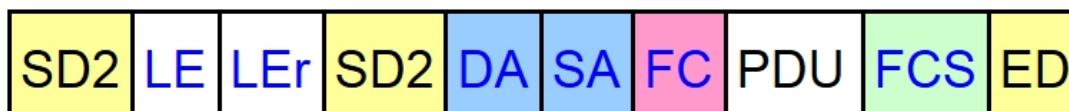
### III.3.4 Profibus physische Schicht RS 485

- symmetrischer Zweidrahtleitung, Differenzsignal (4 ... 7 V)
- Ruhezustand hochohmig
- Busabschluss als Spannungsteiler (390, 220, 390  $\Omega$ )  $\rightarrow$  1 V
- Herausführung der Signale  $\rightarrow$  Abschluss direkt am Stecker



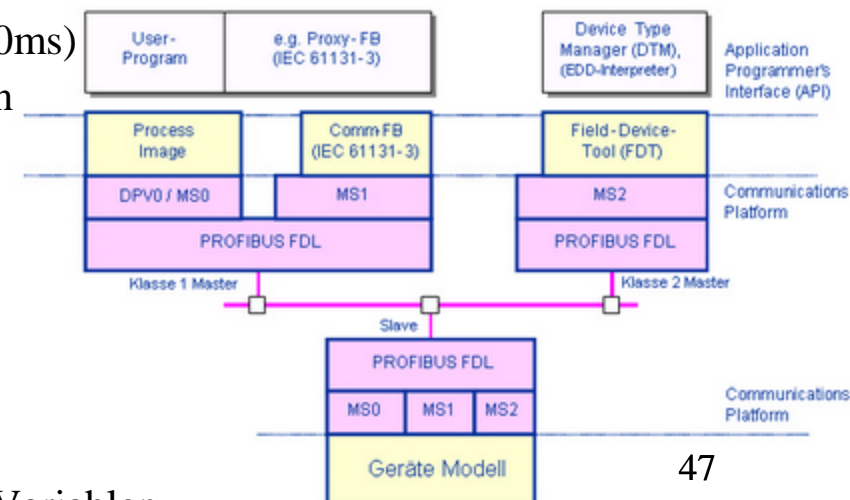
## III.3.4 Profibus Verbindungsschicht

- **FDL: Fieldbus Data Link Layer**: einheitliche Datenübertragung
  - Medium Access and Control (MAC): Token Master, Slave Respons
  - Fieldbus Link Control (FLC): Dienste z.B. Send, Request Data, Clock Synchronisation
  - Fieldbus Management (FMA): Verwaltung lokal, stationsübergreifend, Parameter setzen
- Kodierung
  - UART: Start, 8 Bit, gerade Parität, Stop; Synchronisation: 33 Bit Ruhe "1"
  - Manchester: steigende Flanke "0", fallend "1"; Mittelwert → Power
- **Telegramme**: **kurz**, **Tolken**, ohne, fest, variables **Datenfeld**
  - Steuerfelder: SD1..4, ED (Enddelimeter), SC (Kurzquittung)
  - Aufbau: SD, LE, LEr, DA, SA, FC, PDU, FCS, ED
    - PDU – **Protocol Data Uni**: Adressteil, Nutzdaten



## III.3.4 Profibus Anwendungsschicht

- **DP-Protokolle (Dezentrale Peripherie)** Version 0, V1, V2
- 3 Kommunikationsbeziehungen, Steuerung durch Zustandsmaschine
  1. MS0: Klasse **1 Master** (Steuerung) – **Slave DP-V0 zyklisch**
  2. MS1: Klasse **1 Master** – **Slave DP-V1 azyklisch**
  3. MS2: Klasse **2 Master** (Bedienung) – **Slave DP-V1 azyklisch**
- DP-V0: zyklisch
  - 3 Phasen: Parametrierung, Konfiguration, Nutzdatenverkehr
  - **Grundfunktion**: zyklisches Lesen, Schreiben von Nutzdaten
  - Buszyklus < Programmzyklus (meist ~10ms)
  - Steuerung bildet Prozessabbild aus Daten
- DP-V1: azyklisch im Betrieb
  - Übertragung parallel zum zyklischen
  - **Alarmmodell**
- DP-V2: azyklisch
  - isochroner Mode, Zeitmarken
  - Programmaufrufe
  - Module - Zuordnung zu Slots: Satz von Variablen

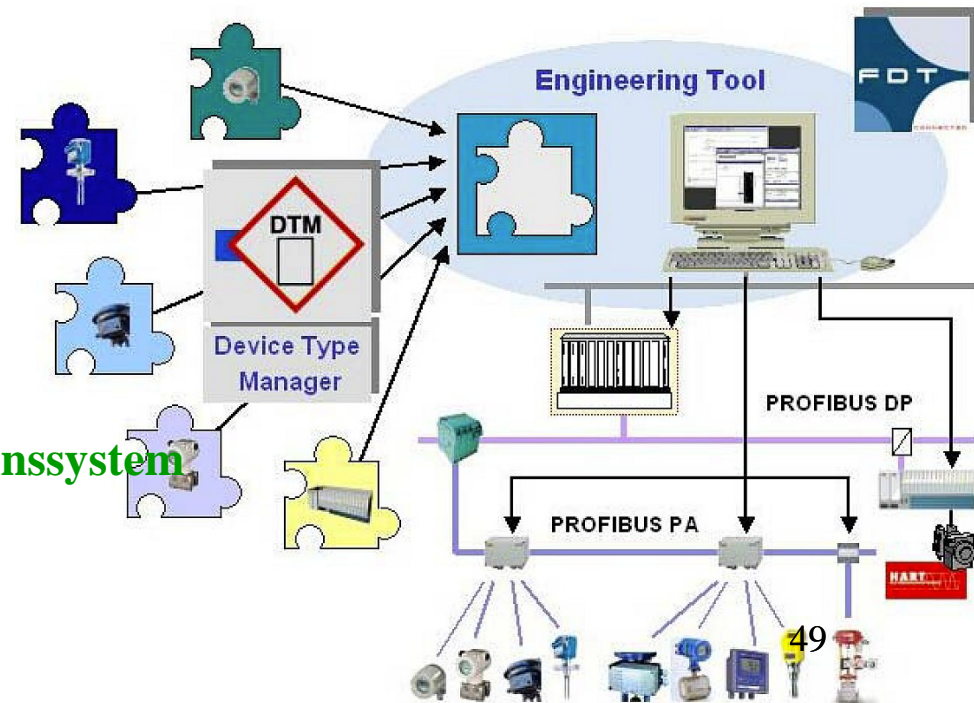


## III.3.4 Profibus Benutzerschicht

- allgemeine Applikationsprofile: Festlegungen für Geräte, Komm.
  - **Geräteprofile**: Roboter, Antriebe, Pumpen, Prozessgeräte
  - **Branchenprofile**: Labortechnik, Schienenfahrzeuge
  - **Integrationsprofile**: Integration von Subsystemen
- spezifische Applikationsprofile: z.B.
  - PROFIdrive: **elektrische Antriebe** (Frequenzrichter bis Servoreglern)
  - **PA Devices**: Geräte mit eigener Intelligenz (Analog I,O; Digital I,O)
  - SEIMI devices: **Halbleiterfertigung**
  - **Ident Systems**: Barcode, Transponder
- Systemprofile:
  - herstellerübergreifend, **standardisierte Funktionsbausteine** (FB)
  - Kommunikations-Block, API, Proxy-Funktionsbausteine (technologische)
  - Zugriff auf Daten der Geräte (MS0): Prozessabbild

## III.3.4 Profibus Benutzerschicht

- **Gerätestammdaten** (GSD): für einfache Anwendungen vom Hersteller
- **Electronic Device Description Language** (EDDL): mittlere Komplexität
- **Device Type Manager** (DTM), Field Device Tool (FDT): komplexe Anwendungen, Programm
- **Abstrakte Sichtweise**
  - Feldgeräte
  - (teil)automatische Steuerung
  - Bedienwerkzeug
- **Standardisierung**
  - herstellerübergreifend
  - funktionsübergreifend
- Verbindungsstelle: **Kommunikationssystem**



## III.3.5 Feldbusse PROFINET

- **ganzheitliches Automatisierungskonzept** mit verteilter Intelligenz
  - **Component Object Model** (COM) von MS: objektorientiertes RPC
  - Beschreibung XML-basiert: PROFINET Component Description (PCD)
- **Industrial Ethernet** mit TCP/IP Schichtenmodell
  - IT Standards, herstellerunabhängig
  - Integration von Feldbus-Systemen, z.B. PROFIBUS-Segmente
  - **Echtzeit-Ethernet-fähig**
- durchgängige Kommunikation **von Feld- bis Unternehmensleitebene**
  - Funktionalität in Komponenten mit einheitlichen Interfaces gekapselt
  - Erweiterung für verteilte Systeme (distributed): DCOM
  - **Objekte eines Systems gleichberechtigt und einheitlich**
- Modularisierung von Anlagen und Maschinen – Wiederverwendung

## III.3.5 PROFINET Systemstruktur

- Netzwerkinstallation: Ethernet 10, 100 Mbps
- **PROFINET CBA**: Component Based Automation
  - Übertragung von Engineering- und zeitunkritische Daten
  - Kommunikation zw. intelligenten Feldgeräten in verteilter Automatisierung
- PROFINET **IO**: RT-Kommunikation
  - zw. Steuerung und dezentralen Sensoren, Aktoren
  - zyklische Übertragung in das Prozess-Abbild (PROFIBUS)
  - azyklisch: Parametrierung, Identifikation, Diagnose
  - Alarmer: Prozess, Diagnose, Wartung
- PROFINET IO – **IRT**-Kommunikation (isochronous Real-Time)
  - Bewegungs-Steuerung
- Geräteklassen: **Steuerung** (Controller), **Sensoren, Aktoren** (Devices), **IO-Supervisor** (Anlagensteuerung und Entwicklungs-Werkzeug)

## III.3.5 PROFINET Kommunikationsklassen

- OSI/ISO **Schichten 1-4**: TCP/IP Standard-Protokolle
- Anwendungs-Schicht: RPC, DCOM
  - **DCOM**: **verteiltes, objektorientiertes PRC-System**
- **Leistungsklassen** von PROFINET IO
  - **CC-A**: Zykluszeit >8 ms, Steuerzentrale, Benutzeroberfläche, Standard Ethernet
  - **CC-B**: Zykluszeit >2 ms, Prozessautomatisierung, mit Diagnose und Topologie Erkennung
  - **CC-C**: Zykluszeit >1 ms, Bewegungssteuer, Isochroner Datenaustausch

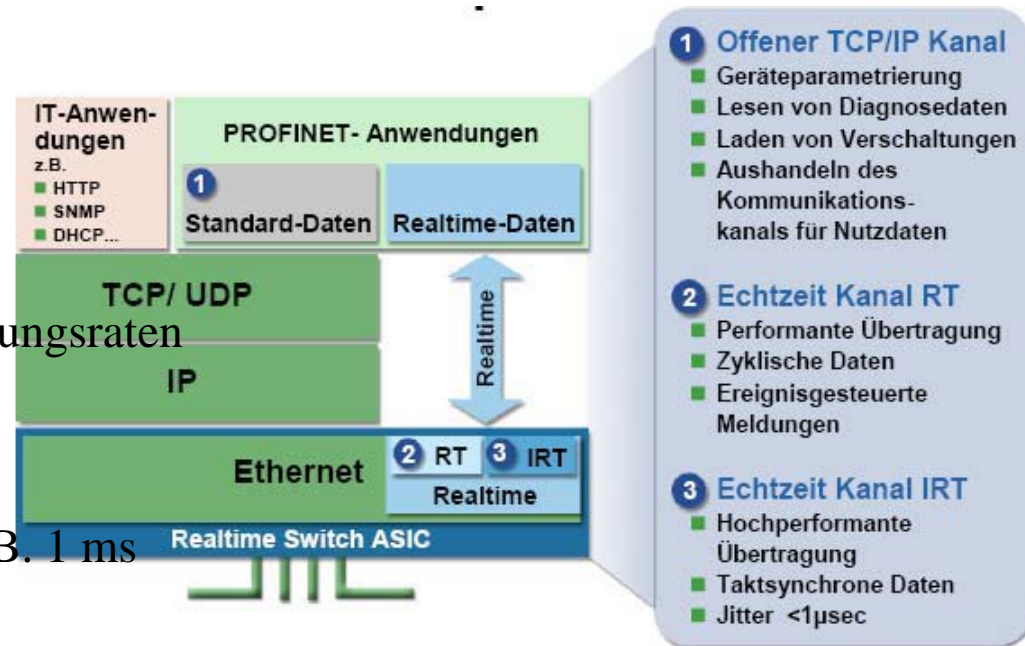


1. Backplane-Systeme
2. Peripherie-Busse
3. **Feldbusse**

- I<sup>2</sup>C
- CAN
- Flexray
- Profibus
- **Profinet**

## III.3.5 PROFINET Kommunikationsprotokolle

1. UDP und TCP über IP
2. RT-Frames, UDP über IP
  - fester Takt
  - Untersetzung der Aktualisierungsraten
  - Standard Switches
3. IRT-Kommunikation
  - äquidistante Zeitintervalle z.B. 1 ms
  - IRT-, offener Kanal
  - spezielle IRT-Switches mit Synchronisation bei Intervall-Start
  - PTP: Precision Time Protocol



## III.3.5 PROFINET Rahmen

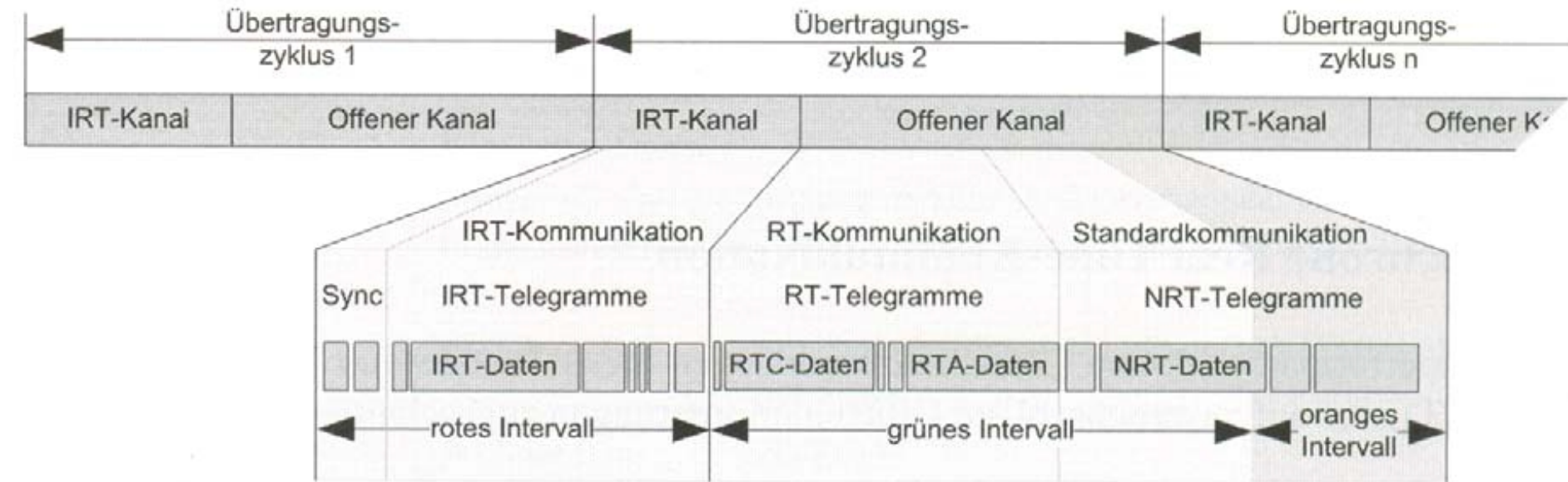
- **RT-Frame in Nutzdaten von Ethernet:**

Dest, Source, Type, Daten, CRC

<u>FrameID</u>	RT-Data	<u>CycleCounter</u>	<u>DataStatus</u>	TransferStatus
2 Bytes	40 - 1440 Bytes	2 Bytes	1 Byte	1 Byte

- FrameID: Zeitsynchronisation, RT\_Class\_3..1, azyklische Übertragung
- CycleCounter: Zeitstempel des Senders, fehlende Datagramme
  - Auflösung 31,25 µs
- DataStatus: allgemeiner Zustand des Kommunikationspartners

## III.3.5 PROFINET IRT-Kommunikation



- Rotes Intervall: IRT Telegramme, Größe aus zyklischem Datenaufkommen
- Grünes Intervall: zyklische, azyklische RT Telegramme
- Oranges Intervall: NRT Telegramme, mind. 1 maximal großer Etherframe

1. Backplane-Systeme
2. Peripherie-Busse
3. **Feldbusse**

## III.3.6 Feldbusse Beispiel

Auslieferung Harry Potter VII. am 27.10.2007 00:00 Uhr

- Logistik: Koch, Neff & Oetinger Verlagsauslieferung
- 3  $10^6$  Bücher Erstauflage, Extreme Sicherheitsauflagen
- Warenwirtschaftssystem (Rechnungsstapel 4 m hoch)
- Datenbank ( $10^5$  Titel)
- Lagerverwaltungssystem
- Materialflusssteuerung
  - Palettenstellplätze 50.000
  - Behälterstellplätze 350.000
  - Förderanlage 21 km
  - Flurförderanlage 130
  - Elektrokabel 500 km