Inhaltsverzeichnis

10 HART-Kommunikation und Bussysteme 3
10.1 HART-Kommunikation, Modulation in der prakt. Messtechnik 3
10.1.1 Warum zusätzliche Kommunikation 3
10.1.2 Teilnehmeranzahl und Adressierung 6
10.1.2.1 Punkt-zu-Punkt-Verbindung 6
10.1.2.2 HART über Multiplexer 7
10.1.2.3 Multidrop 7
10.1.2.4 FSK-Bus 9
10.1.3 Arbeitsweise 10
10.1.4 OSI-Modellstruktur 12
10.1.5 Betriebsbedingungen 18
10.1.6 Grundbegriffe der Modulation durch Tastung 21
10.2 WirelessHART, drahtlose Kommunikation 23
10.2.1 Netzwerkaufbau 27
10.2.2 Kenndaten 28
10.2.3 Störungen durch Wechselwirkung mit Störsignalen 29
10.2.4 Ausrichtung der Netzwerkteilnehmer 30
10.3 Bussysteme 33
10.3.1 Serielle Kommunikation 33
10.3.1.1 Die RS-232-Schnittstelle 36
10.3.1.2 RS422-Schnittstelle 37
10.3.1.3 RS485-Schnittstelle 38
10.3.2 Bussysteme, Grundlagen 39
10.3.2.1 Zugriffsverfahren 43
10.3.2.1.1 Master-Slave-Verfahren 44
10.3.2.1.2 Token-Passing-Verfahren 44
10.3.2.1.3 CSMA-Verfahren 45
10.3.2.1.4 Hybrides-Verfahren 46
10.3.3 Feldbussysteme 47
10.3.3.1 MODBUS 47

10.3.3.2 PROFIBUS DP 53
10.3.3.3 ETHERNET 54
10.3.3.4 CAN 60
10.3.3.5 CANopen 64
10.3.3.6 Universal Serial Bus (USB) 65
10.3.4 Der 5G-Mobilfunkstandard, Industrial 5G 73
10.3.4.1 Entwicklung der Mobilfunknetze 73
10.3.4.2 Öffentliche 5G-Netze 74
10.3.4.3 Private 5G-Netze 74
10.3.4.4 5G bietet drei große Vorteilsszenarien: 75
10.3.4.5 Was macht 5G zu Industrial 5G? 76
10.3.4.6 Zusammenfassend: 80
10.3.4.7 Welche industriellen Anwendungen werden von 5G profitieren? 83
10.3.4.8 Fazit 85

10 HART-Kommunikation und Bussysteme

(Teilweise erstellt mit Hilfe einer Ausarbeitung der Fa. Samson, HART-Kommunikation)

10.1 HART-Kommunikation, Modulation in der prakt. Messtechnik

In der praktischen Messtechnik, hier ist die Messtechnik im Bereich der Chemieproduktion, der Stromerzeugung, der Stahlerzeugung und vieler Bereiche mehr gemeint, die nicht die labortechnische Anwendung von Messverfahren und Messgeräten beinhalten, setzt sich der Wandel von der reinen Messwertübertragung (4...20mA) zur Messwertübertragung inklusive aufmodulierter Zusatzinformationen bzw. Konfigurierungsdaten immer weiter fort.

10.1.1 Warum zusätzliche Kommunikation

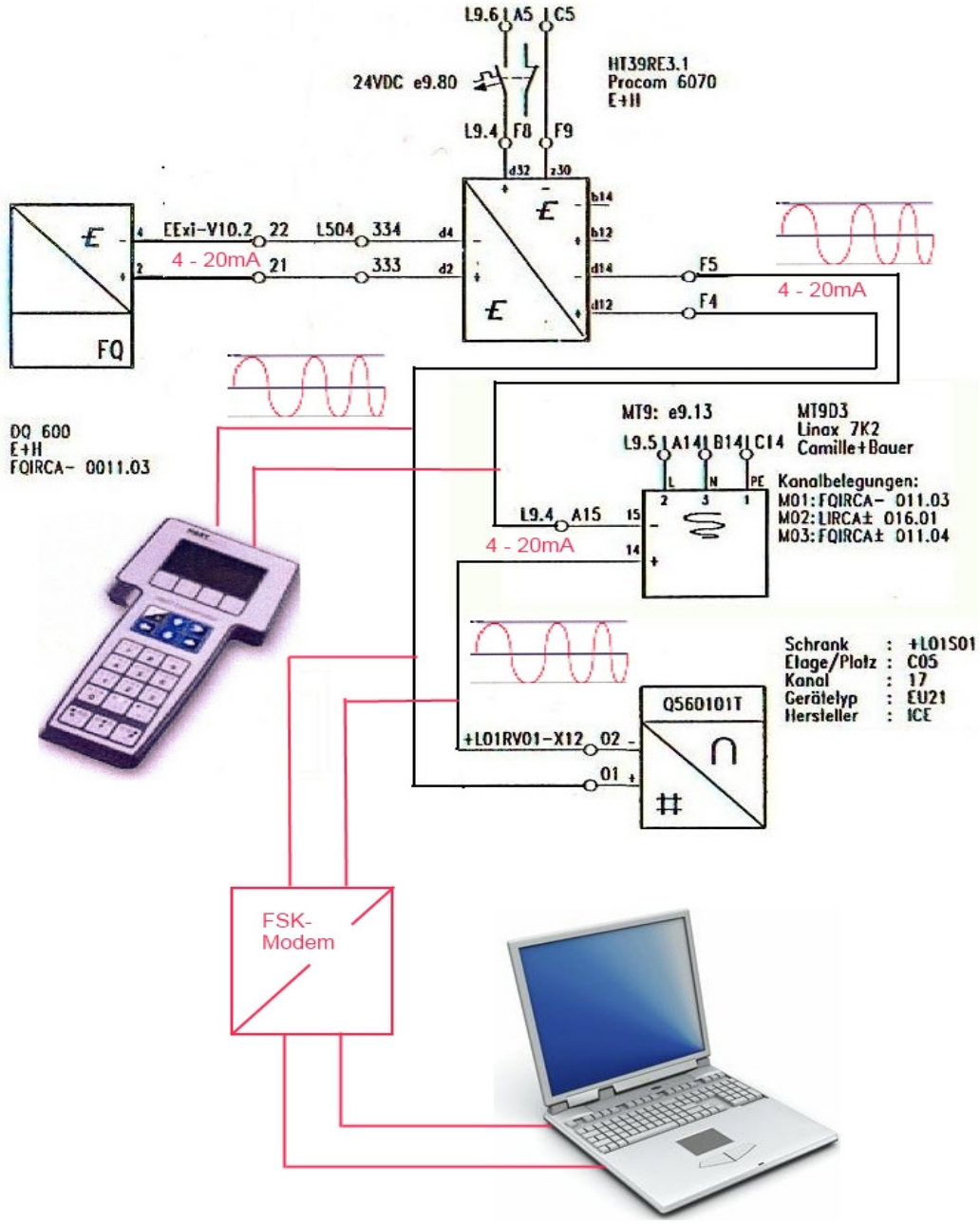
,,4 bis 20 mA" ist ein bewährter Standard! Ist die Übertragung von Informationen nur in eine Richtung, vom Feld in die Prozessleitebene, aber noch zeitgemäß?

Nein. Das Feststellen der Funktionsfähigkeit aller Einheiten eines Feldgerätes, Diagnose, aber auch häufiges Einstellen neuer Arbeitsbereiche bei Chargenprozessen sowie Abgleich und Kommissionierung sind bei der herkömmlichen Technik überaus zeitaufwendig. Nur, Facharbeitermangel und hohe lngenieurkosten warten nicht auf einen standardisierten Feldbus.

Die Lösung ist naheliegend:
Einsatz eines De-facto-Standards der digitalen Kommunikation unter Weiterverwendung der vorhandenen 4 bis 20 mA-Installation.
Mit dem HART-Protokoll (HART = Highway Addressable Remote Transducer, d.h. Protokoll für busadressierte Feldgeräte) steht eine industrieerprobte digitale Kommunikationsmöglichkeit für Feldgeräte zur Verfügung.

Smart-Messumformer u. a. für Druck, Temperatur, Füllstand, Durchfluss, Dichte sowie Stellgeräte und Regler verwenden das HART-Protokoll zum Übermitteln von

Mess-, Stell- und Gerätedaten. Das Protokoll ermöglicht darüber hinaus eine umfassende Systemintegration über Leitgeräte.



HART-Transmitterspeisegerät der Fa. Pepperl u. Fuchs

HART-Transmitterspeisegerät, Eingangstrenner LB3102A

Merkmale

- 1-kanalig
- Eingang Ex ia
- Speisung von 2- oder 3-Draht-Transmittern mit 4 mA ... 20 mA
- Speisekreis 16,5 V (20 mA)
- Eingang von aktiven Signalen von 4-Draht-Transmittern
- Montage in Zone 2, Zone 22, Div. 2 oder im sicheren Bereich
- HART-Kommunikation über Feld- oder Servicebus
- HART-Kommunikation auch für fremdgespeiste Geräte
- Simulation für Inbetriebnahme (forcen)
- Leitungsfehler- und Live-Zero-Überwachung
- Kontinuierliche Eigenüberwachung
- Modul unter Spannung austauschbar (hot swap)

Funktion

Das Transmitterspeisegerät speist 2- und 3-Draht 4 ... 20 mA-Transmitter.

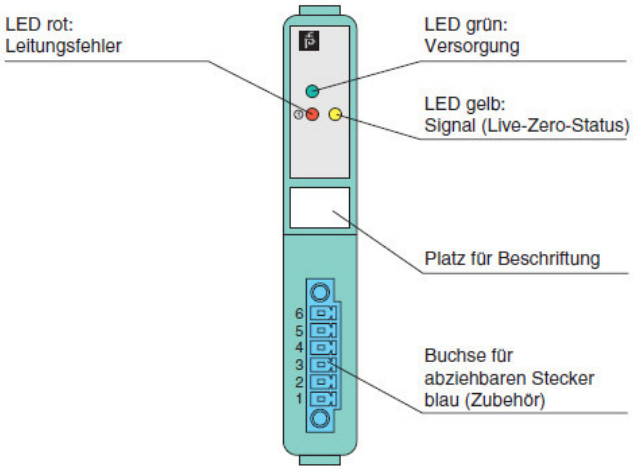
Aktive Signale von fremdgespeisten Feldgeräten bzw. 4-Draht-Transmittern sind anschließbar.

Leitungsbruch, Leitungskurzschluss und Live Zero-Status werden überwacht.

Der eigensichere Eingang ist gemäß EN 60079-11 galvanisch vom Bus und der Versorgung getrennt.

Aufbau

Frontansicht



CE

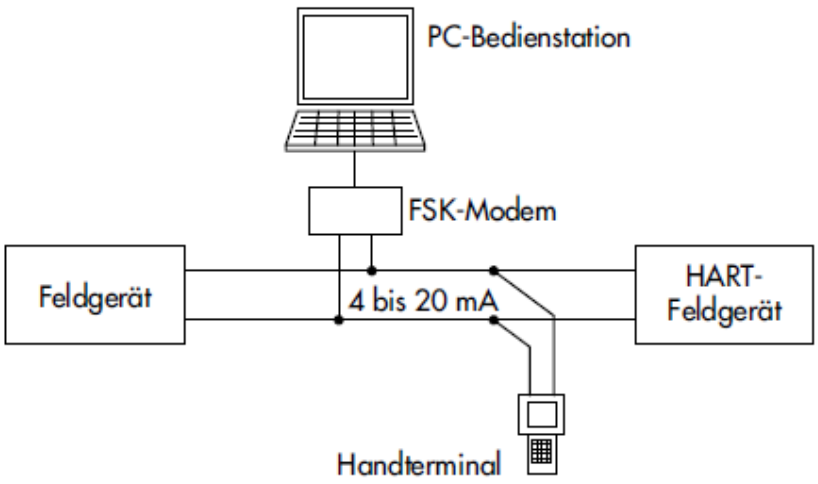
Vorteile des HART-Protokolls

- praxiserprobt, einfacher Aufbau
- gleichzeitig 4 bis 20 mA und digitale Kommunikation
- alternativ: Busbetriebsart ,,Multidrop" (Max 15 Feldgeräte bilden eine Kommunikationsverbindung
- ermöglicht Übertragung mehrerer Messgrößen aus einem einzigen Feldgerät
- hinreichende digitale Reaktionszeit von 500 ms
- offene Architektur
- steht jedem Hersteller oder Anwender zur freien Verfügung (offene Protokolldaten)

10.1.2 Teilnehmeranzahl und Adressierung

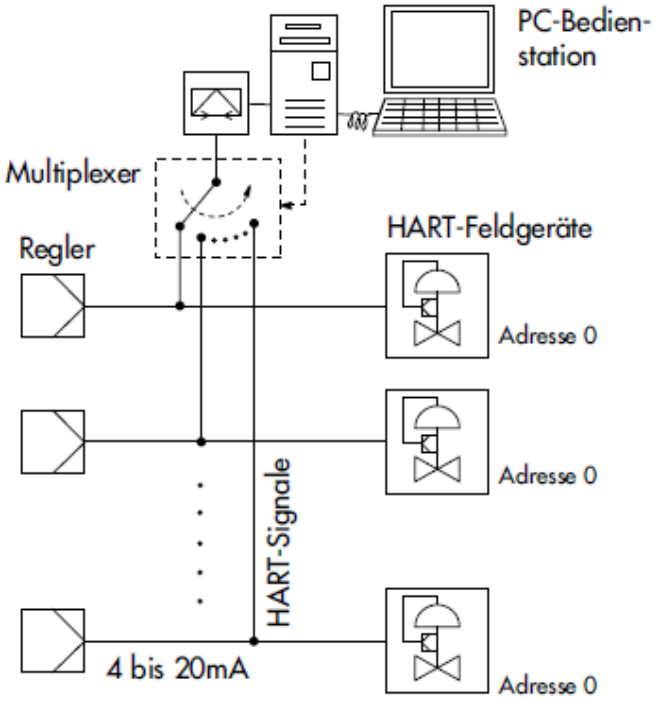
10.1.2.1 Punkt-zu-Punkt-Verbindung

Die im Bild dargestellte HART-Kommunikation wird als Punkt-zu-Punkt-Verbindung bezeichnet, d.h. das HART-Bediengerät steht mit genau einem HART-Feldgerät in Verbindung. Bei dieser Verschaltungsart muss das Feldgerät immer auf die Geräteadresse Null eingestellt sein, da das Bedienprogramm über diese Adresse die Kommunikation aufbaut.



10.1.2.2 HART über Multiplexer

Das Bild zeigt die Anschaltung über Multiplexer, über die sehr viele HART-Geräte eingebunden werden können.

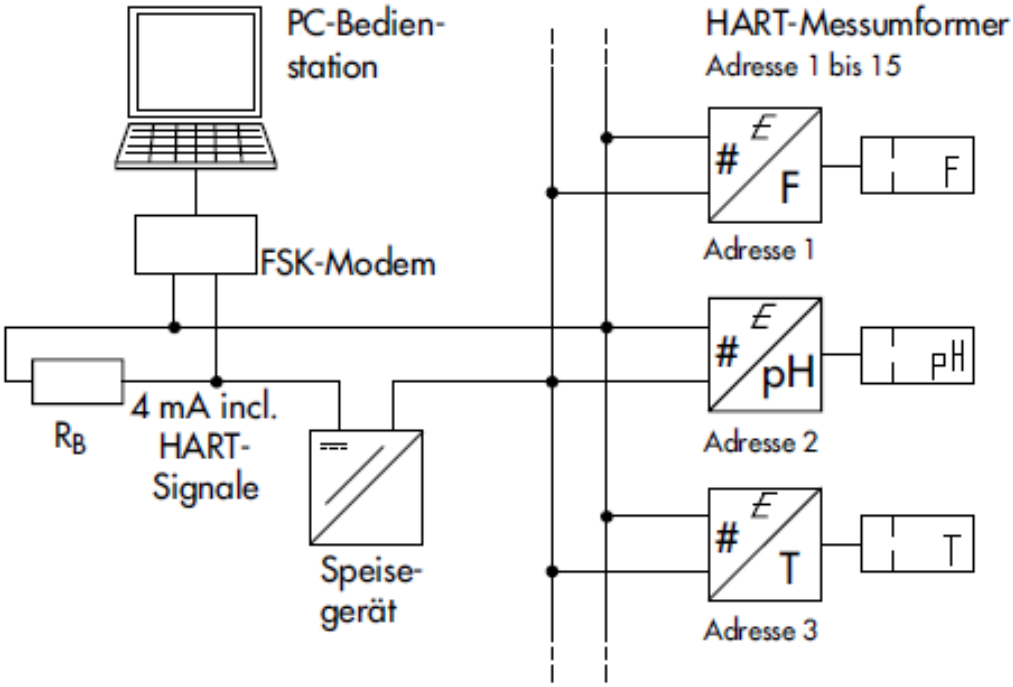


Der Benutzer wählt per Bedienprogramm eine Stromschleife zur Kommunikation aus. Für die Dauer der Kommunikation verbindet der Multiplexer diese Stromschleife mit der Bedienstation. Durch eine kaskadierte Multiplexerstruktur kann man mit sehr vielen (> 1000) Geräten, alle adressiert auf Adresse Null, kommunizieren.

10.1.2.3 Multidrop

Das HART-Protokoll wurde ursprünglich für Messumformer konzipiert. Für diese wurde auch der Multidrop-Betrieb spezifiziert. Hier tauschen die Geräte ihre Daten und Messwerte ausschließlich über das HART-Protokoll aus.

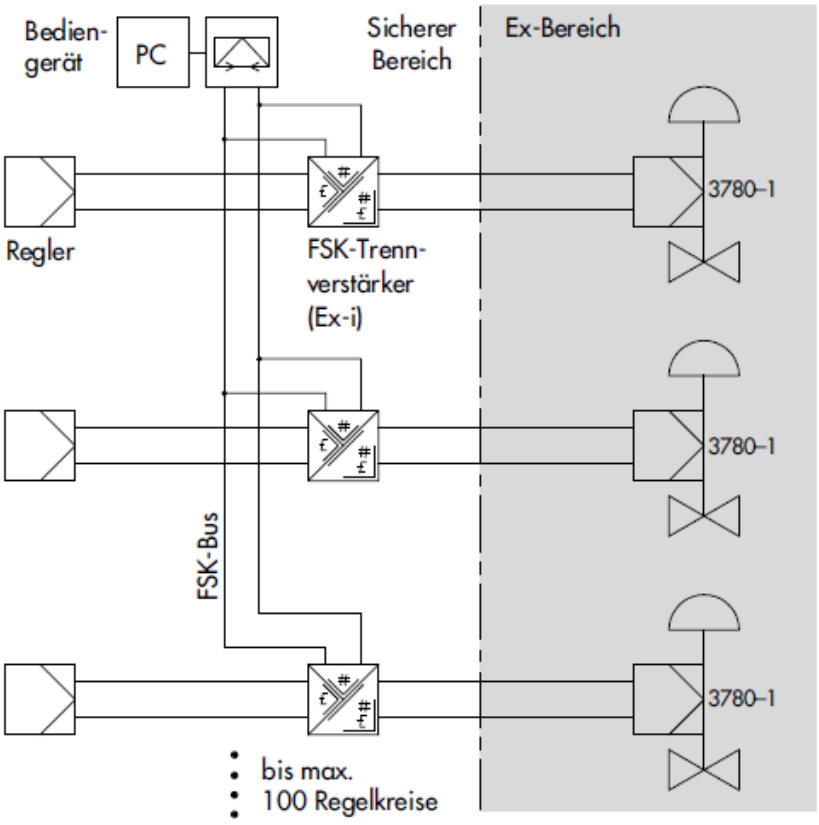
Das Analogstromsignal dient nur noch zur Energieversorgung der Zweileitergeräte, so dass hier ein konstanter Strom von 4 mA eingeprägt ist.
Bei Multidrop werden bis zu 15 Feldgeräte parallel an ein einziges Adernpaar angeschlossen.



Die Bedienstation unterscheidet die Geräte durch ihre voreingestellten Adressen im Bereich von 1 bis 15. Für Stellventile kann die Multidrop-Betriebsweise nicht verwendet werden.
Wie Berechnungen zeigen, ist die digitale HART-Kommunikation für die Vorgabe von Sollwerten zu langsam. Daher werden Stellsignale für Ventile immer als 4 bis 20 mA-Einheitsstromsignale übertragen.

10.1.2.4 FSK-Bus

Für das HART-Protokoll existieren zusätzliche, firmenspezifische Erweiterungen. Von der Firma Hartmann & Braun wurde beispielsweise der FSK-Bus entwickelt, an den sich in Art eines Gerätebusses bis ca. 100 HART-Geräte anschließen und adressieren lassen. Dazu sind spezielle, als Baugruppen ausgeführte, Trennverstärker erforderlich (z.B. TET 128). Die Begrenzung der Teilnehmerzahl ist allein dadurch gegeben, dass sich mit jedem zusätzlichen Teilnehmer das Signalrauschen erhöht und die Signalqualität schließlich für eine fehlerfreie Auswertung des Telegramms nicht mehr ausreicht.
Die HART-Geräte werden über den Trennverstärker mit ihrem Analog-Stromsignal sowie mit der gemeinsamen FSK-Busleitung verbunden. Die Trennverstärker wirken aus Sicht des FSK-Busses als Impedanzwandler, so dass es möglich ist, auch Geräte mit großer Bürde in die Kommunikation einzubinden.



10.1.3 Arbeitsweise

Das HART-Protokoll arbeitet mit der Technik der Frequenzumtastung (FSK= Frequency Shift Keying), basierend auf dem Kommunikationsstandard Beil 202 [1]. Das digitale Signal Wird aus den beiden Frequenzen 1200 und 2200 Hz gebildet, die jeweils die Bitinformation 1 bzw. 0 repräsentieren. Sinuskurven mit diesen Frequenzen werden dem Gleichstrom im Adernpaar des Feldgerätes überlagert, siehe Bild.

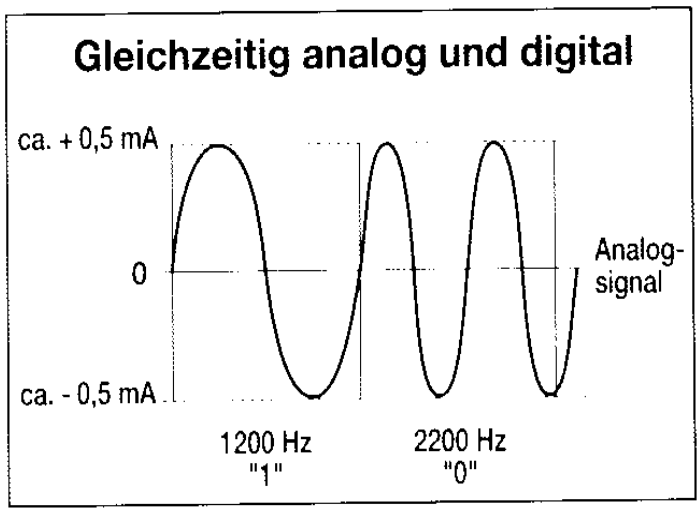
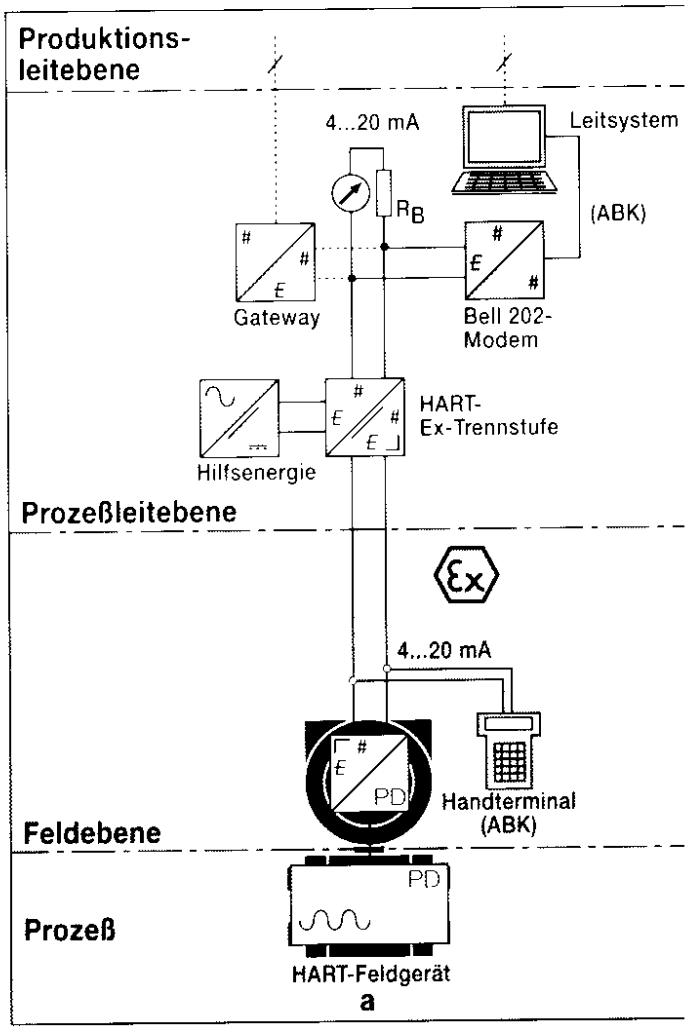


Bild 1
Weil der Signalmittelwert der Schwingung Null ist, beeinträchtigt die digitale Kommunikation ein eventuelles Analogsignal nicht.

Man erhält eine echte simultane Kommunikation mit einer Reaktionszeit von etwa 500 ms pro Feldgerät ohne Unterbrechung einer ggf. stattfindenden Analogsignalübertragung.



In jeder HART-Zusammenschaltung sind zwei Anzeige-Bediengeräte (ABK's, Anzeige-Bedienkomponenten) zugelassen:

ein primäres, im Allgemeinen ein Leitsystem oder PC, und ein sekundäres, z. B. ein Handterminal oder ein Laptop.

Sie alle enthalten ein einfaches HART-Modem.

Standard-Handterminals, sogenannte UHI's werden zur Verfügung gestellt, damit die Bedienung im Feld möglichst einheitlich ist.
Gateways bieten weitere Vernetzungsmöglichkeiten

10.1.4 OSI-Modellstruktur

HART folgt dem Basis-Referenzmodell für die Kommunikation Offener Systeme (051) entwickelt von der Internationalen Organisation für Standardisierung (ISO) [3]. Das OSI-Modell liefert Struktur und Elemente für Kommunikationssysteme.

Das HART-Protokoll benutzt ein reduziertes OSI-Modell; es verwirklicht lediglich dessen Schichten 1, 2 und 7 siehe Bild 4.

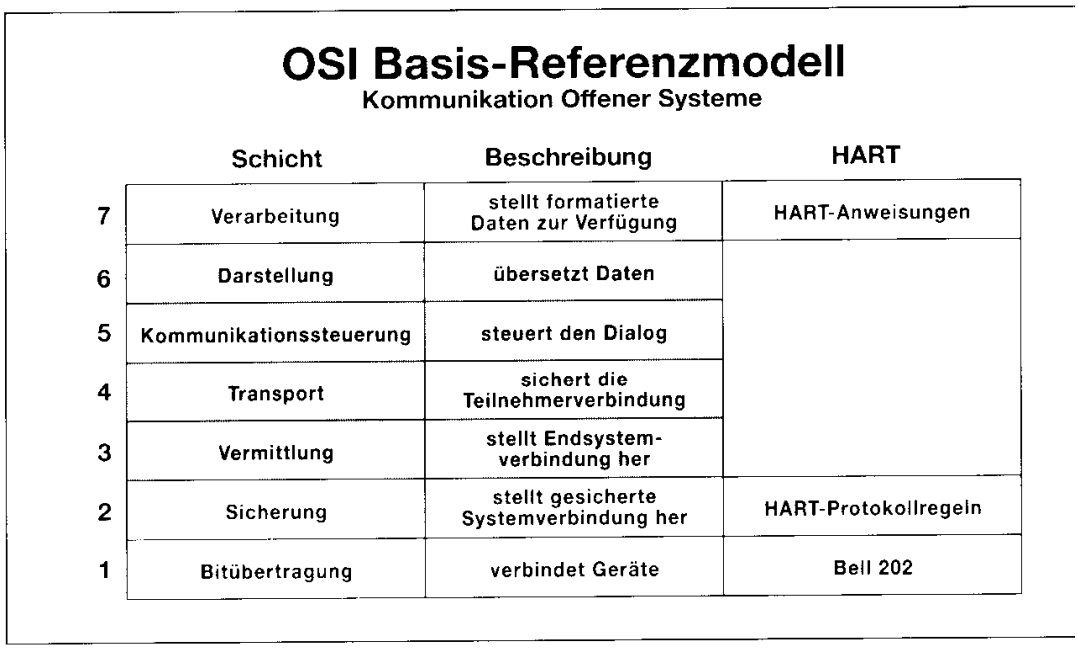
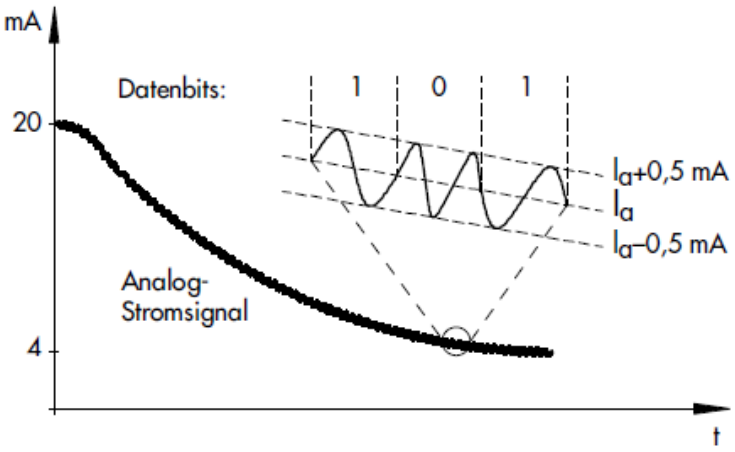


Bild 4
Im HART-Protokoll sind die Schichten 1, 2 und 7 des OSI-Modells verwirklicht.

Schicht 1, die Bitübertragungsschicht, arbeitet mit der FSK-Technik, basierend auf dem Bell 202-Kommunikationsstandard:



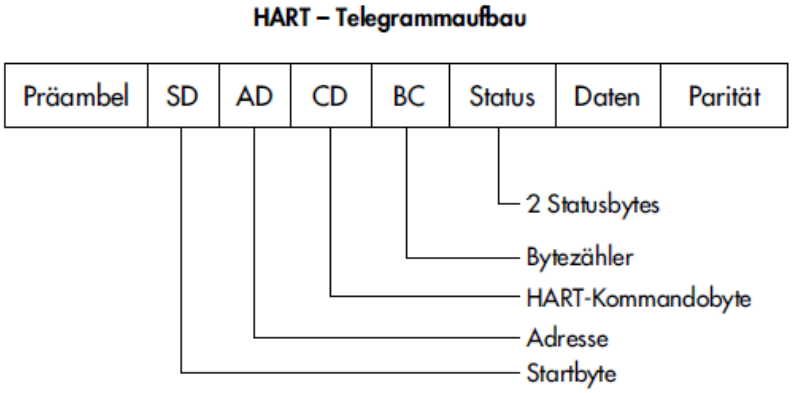
Datenübertragungsrate: 1200 bit/s,

Frequenz für logisch „0": 2200 Hz,
Frequenz für logisch „1": 1200 Hz.

Der überwiegende Teil vorhandener Verdrahtung ist für diese Art digitaler Kommunikation verwendbar. Geeignet sind ungeschirmte aber kurze 0,2 mm²-Zweidrahtleitungen, weiterhin bis 1500 m einfach geschirmte Bündel verdrillter 0,2 mm-Adernpaare, während Entfernungen bis 3000 m mit einfachen geschirmten und verdrillten 0,5 mm²-Adempaaren überbrückt werden.
Im Kommunikationskreis muss eine Gesamtbürde im Bereich von 230 bis 1100 Ohm vorhanden sein. Sie ist in Bild 2 durch RB symbolisiert.

Schicht 2, die Sicherungsschicht, legt das Format eines HART-Telegramms fest.
HART ist ein Master-Slave-Protokoll. Jede Kommunikationsaktivität geht von einem Master, also einer Anzeige-Bedieneinheit aus.
Das angesprochene Feldgerät (Slave) interpretiert dann das empfangene Anweisungstelegramm und sendet ein Antworttelegramm zurück.

Der Aufbau dieser Telegramme geht aus Bild 5 hervor. Er sorgt für die notwendige Adressierung bei mehreren Anzeige-Bedieneinheiten und Feldgeräten in der Busbetriebsart.



Jede von einem Feldgerät auszuführende HART-Anweisung erfordert eine spezifische Größe des Datenteils. Der Bytezähler gibt jeweils die Zahl der nachfolgenden Status- und Datenbytes an.

Die Schicht 2 erhöht durch zwei Maßnahmen die Übertragungssicherheit:

Zum einen fügt sie das aus allen vorangegangenen Zeichen ermittelte Paritätszeichen an, und zusätzlich erhält jedes Zeichen ein Bit für ungerade Parität.

Die einzelnen Zeichen bestehen aus

1 Startbit,
8 Datenbits,
1 bit für ungerade Parität und
1 Stopbit.

Die Elemente des HART-Telegramms haben folgende Aufgaben:

- Die aus drei oder mehr FF-(Hex-)Zeichen bestehende Präambel dient zur Synchronisierung der Teilnehmer.
- Das Startbyte kennzeichnet, wer sendet (Master, Slave, Slave im Burst-Modus) und ob das lange oder kurze Telegramm verwendet wird.

- Die Adresse besteht beim kurzen Format aus einem Byte (Bild 15), wobei ein Bit für die Unterscheidung der beiden Master und ein Bit für die Kennzeichnung von Burst-Telegrammen zuständig ist. Die Adressierung der Feldgeräte erfolgt über 4 Bits (Adresse 0 bis 15).
- Bei der langen Adressierung werden fünf Bytes verwendet, so dass die Feldgeräte-Identifizierung über 38 Bits erfolgt.
- Das Kommandobyte kodiert Master-Befehle der Kategorien Universelle- Standard- und gerätespezifische Kommandos. Die Bedeutung dieser Kommandos ergibt sich aus den Definitionen der Anwendungsschicht sieben.
- Das Byte zur Kennzeichnung der Nachrichtenlänge ist erforderlich, da die Anzahl der Datenbytes pro Telegramm zwischen 0 und 25 liegen kann. Nur so ist es dem Empfänger möglich das Telegramm und das Prüfbyte eindeutig zu identifizieren. Die Byteanzahl ergibt sich aus der Summe der Status- und Datenbytes.
- Die beiden Statusbytes enthalten nur die Slave-Telegramme. Hierüber wird bitkodiert angezeigt, ob der Empfang fehlerfrei war und in welchem Betriebsstatus sich das Feldgerät befindet. Im . fehlerfreien . Normalfall werden beide Bytes auf Null gesetzt.
- Die Daten können als vorzeichenlose Ganzzahlen, Gleitkomma-Zahlen oder ASCII-kodierte Zeichenketten übertragen werden. Der zu verwendende Datentyp wird durch des Kommandobyte vorgegeben, aber nicht alle Kommandos oder Antworten enthalten Daten.
- Das Prüfbyte bildet die Longitudinale-Parität über alle Bytes eines Telegramms. Die Hammingdistanz der HART-Übertragung beträgt vier.

Übertragungszeit und Nutzdatenrate

Die Zeit für die Übertragung eines Telegramms ergibt sich aus der Bitdatenrate (1200 Hz) und der Anzahl der Bits pro Telegramm.

Die Telegrammlänge variiert mit der Nachrichtenlänge 0 bis 25 Zeichen . und der Art der Adressierung. Bei kurzer Adressierung und einer Nachricht von 25 Zeichen sind insgesamt 35 Zeichen zu übertragen. Da jedes Byte als UART-Zeichen übertragen wird, ergeben sich folgende Daten:

Anmerkung: *UART steht für Universal Asynchronous Receiver Transmitter und stellt das übliche Codierungsverfahren für serielle Schnittstellen dar.*

HART-Telegrammübertragung:

Byte pro Telegramm:	25 Nachrichten-	+ 10 Steuerzeichen
Telegrammgröße:	35 Zeichen* 11 Bit	= 385 Bit
Nutzdatenanteil:	25 * 8 Bit / 385 Bit	= 52 %
Zeit pro Bit	1 / 1200 Bit/s	= 0.83 ms
Übertragungszeit:	385 * 0.83 ms	= 0,32 s
Zeit je Nutzbyte	0.32 s / 25 Byte	= 13 ms

Bei kürzeren Nachrichten wird das Verhältnis von Nutz- zu Steuerdaten immer ungünstiger, so dass pro Nutzbyte auch bis zu 128 ms benötigt werden.
Man rechnet pro Transaktion d.h. für je ein Master- und Slave-Telegramm einschließlich zusätzlicher Warte- und Synchronisationszeiten, mit durchschnittlich **500 ms**. So können ungefähr zwei HART-Transaktionen pro Sekunde durchgeführt werden.
Diese Werte zeigen, dass die HART-Kommunikation nicht dafür gedacht ist, zeitkritische Daten zu übertragen. Die Möglichkeit über HART die Führungsgröße für ein Stellglied vorzugeben ist daher für Test- und Inbetriebnahmeschritte sinnvoll, aber nicht geeignet, um Regelaufgaben zu lösen.

Schicht 7, die Verarbeitungsschicht, setzt die HART-Anweisungen ein: Die Anzeige-Bedieneinheiten senden Telegramme mit Anweisungen für Sollwerte, Ist-werte und Parameter und solche für Dienste zur Inbetriebnahme und Diagnose.

Diese im Protokoll festgelegten Anweisungen erlauben den Feldgeräten ihre richtige Interpretation. Im Antworttelegramm empfangen die Anzeige-Bedieneinheiten Statusmeldungen und Daten von den Feldgeräten.

Mit dem Ziel des bestmöglichen Zusammenwirkens der HART-kompatiblen Geräte untereinander wurden Konformitätsklassen für Anzeige-Bediengeräte und Anweisungsklassen für Feldgeräte aufgestellt.

Derzeit drei Anweisungsklassen für alle Feldgeräte liefern eine schlüssige, uniforme Kommunikation:

Universelle Anweisungen
werden von allen Feldgeräten verwendet. Alle Feldgeräte, die mit dem HART-Protokoll arbeiten, verstehen diese Anweisungen.

Standardanweisungen
decken Funktionen ab, die von einer großen Zahl, jedoch nicht von allen Feldgeräten ausgeführt werden können. Diese Anweisungen bilden zusammen eine Bibliothek für die in den meisten Feldgeräten auftretenden Funktionen.

Gerätespezifische Anweisungen
sprechen Funktionen an, die lediglich auf ein individuelles Gerätemodell beschränkt sind. Diese Anweisungen greifen sowohl auf Informationen bezüglich Inbetriebnahme und Abgleich zu, als auch auf Daten über den Aufbau des Geräts.

In den meisten Geräten findet man Funktionen aus allen drei Klassen wieder: sämtliche Universelle Anweisungen, die passenden Standardanweisungen und die in dem individuellen Gerät notwendigen Gerätespezifischen Anweisungen.

10.1.5 Betriebsbedingungen

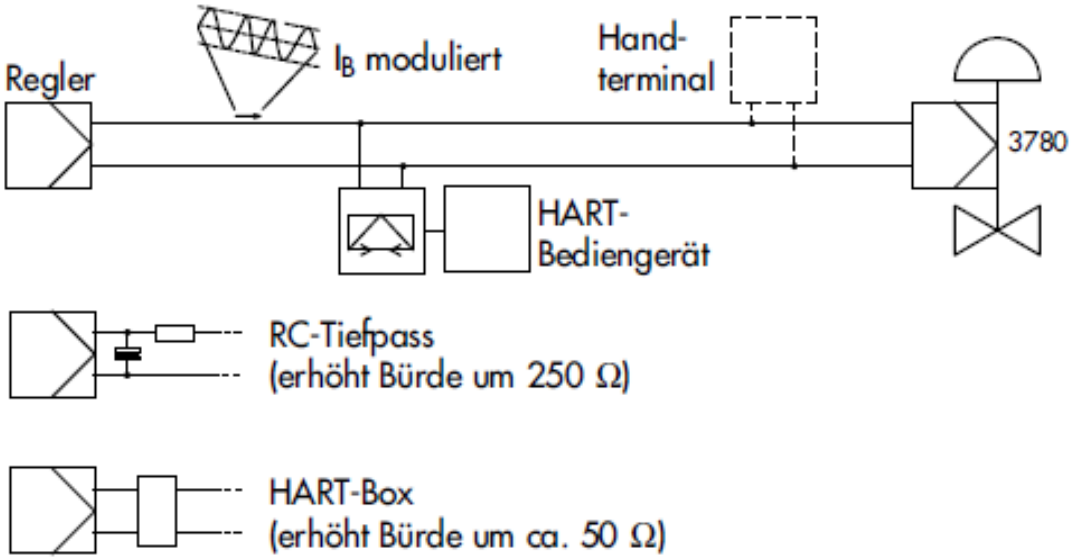
Das HART-Dokument [4] fordert eine Festigkeit gegenüber in die Leitungen eingekoppelten Störungen gemäß IEC 801-3 und -4 mit der Stärke 3. Allgemeine Störfestigkeitsanforderungen werden damit erfüllt.
Allein durch Zuschalten, Entfernen oder Ausfall eines Kommunikationsteilnehmers wird die Übertragung zwischen den übrigen Geräten ebenfalls nicht gestört.

Besondere Aufmerksamkeit muss den eigensicheren Anwendungen geschenkt werden. Ex-Trennstufen müssen die Bell 202-Frequenzen in beide Richtungen übertragen können.

HART-konforme Eigenschaften
Die HART-Kommunikation zwischen zwei oder mehreren Geräten kann nur dann einwandfrei funktionieren, wenn alle Kommunikationsteilnehmer die HART-Sinussignale korrekt auswerten können.
Um dies zu garantieren, müssen nicht nur die Übertragungsleitungen bestimmte Vorgaben erfüllen. Auch und gerade die Geräte in der Stromschleife, die nicht an der HART-Kommunikation beteiligt sind, können die Datenübertragung behindern oder gar unmöglich machen.

Die Ursache liegt darin, dass die Ein- und Ausgänge dieser Geräte nur für die 4 bis 20 mA-Technik spezifiziert sind. Da sich die Ein- und Ausgangswiderstände mit der Signalfrequenz ändern, ist es leicht möglich, dass die höher frequenten HART-Signale (1200 bis 2200 Hz) von solchen Geräten kurzgeschlossen werden.
HINWEIS: Ein- oder Ausgänge mit zu geringem Innenwiderstand im FSK - Frequenzbereich schließen die HART-Signale kurz!

Um dies zu vermeiden, muss mit einer Zusatzbeschaltung der Innenwiderstand erhöht werden.



Der im Bild dargestellte RC-Tiefpass (250 W, 1 mF) erfüllt diese Funktion. Nachteilig ist jedoch der in Reihe liegende Widerstand, den der Reglerausgang als zusätzliche Last treiben muss.

Vom Regler zu treibende Last:

RC-Tiefpass:	250 Ω + Leitungswiderstand + Bürde des Feldgerätes
HART-Box:	50 Ω + Leitungswiderstand + Bürde des Feldgerätes

Mit der Verwendung einer speziell dafür gefertigten HART-Box lässt sich die zusätzliche Bürde um ein Fünftel auf 50 W reduzieren. Ist auch dieser Wert noch zu hoch, muss entweder ein Signalverstärker oder ein Regler mit höherer Ausgangsleistung installiert werden.

TECHNISCHE DATEN

DATENÜBERTRAGUNG

Art der Datenübertragung:
Frequenzumtastung (FSK) entsprechend Bell 202 bezüglich Bitübertragungsrate und der Frequenzen für die Bitinformationen "0" und "1".

Bitübertragungsrate:
1200 bit/s

Frequenz für Bitinformation "0":
2200 Hz

Frequenz für Bitinformation "1":
1200 Hz

Zeichenstruktur:
1 Startbit, 8 Datenbits, 1 bit für ungerade Parität, 1 Stopbit

Übertragungsrate für einfache Meßwerte:
ca. 2/s

maximale Gerätezahl in der Busbetriebsart:
mit zentraler Hilfsenergieversorgung: 15

Mehrgrößen-Spezifikation:
max. Meßgrößenzahl pro Feldgerät (ein Modem): 256
max. Meßgrößenzahl pro Telegramm: 4

Maximalzahl Leitgeräte:
zwei

Datensicherheit:

Bitübertragungsschicht:
Fehlerrate Empfängerschaltkreis : $1/10^5$ bit

Sicherungsschicht:
Erkannt werden: alle Gruppen von bis zu drei verfälschten Bits; nahezu alle längeren Gruppen und mehrfache Gruppen.

Verarbeitungsschicht:
Übertragung des Kommunikationsstatus im Antworttelegramm.

HARDWARE-EMPFEHLUNGEN

Leitungsaufbau und Grenzen für die Länge:

Entfernung (m)	Leitungstyp	min. Leiterquerschnitt AWG/(mm²)
≤ 1.500	mehrfach 2 adrig, verdrillt, gemeinsam geschirmt	24/0,2
> 1.500 ≤ 3.000	einfach 2 adrig, verdrillt, geschirmt	20/0,5

Aus den Anforderungen an die Signalform ergibt sich folgende Faustformel zur Bestimmung der max. Leitungslänge für eine gegebene Anwendung:

$$\ell = \frac{65 \cdot 10^6}{(R \cdot C)} - \frac{(C_f + 10.000)}{C}$$

wobei

- ℓ Länge in m,
- R Widerstand in Ω, Bürde plus Innenwiderstand des Ex-Trenners,
- C Leitungskapazität in pF/m,
- C_f maximale innere Kapazität der Smart-Feldgeräte in pF.

Als Beispiel sei ein Druckmeßumformer, ein Regelungssystem und ein einfaches geschirmtes Adernpaar mit

$$R = 250 \ [\Omega],$$
$$C = 150 \ [\text{pF/m}],$$
$$C_f = 5.000 \ [\text{pF}]$$

angenommen:

$$\ell = \frac{65 \cdot 10^6}{(250 \cdot 150)} - \frac{(5.000 + 10.000)}{150}$$

$$\ell = 1.633 \ [\text{m}]$$

Beachte:
In eigensicheren Anwendungen können weitere Beschränkungen vorliegen.

Zu eingehenderen Untersuchungen der Funktionsfähigkeit einer gegebenen Zusammenschaltung sollte die Spezifikation der Bitübertragungsschicht im HART-Dokument [4] herangezogen werden.

10.1.6 Grundbegriffe der Modulation durch Tastung

Gleich- und Wechselstromtastung

Tastung ist eine sehr einfache Art der Modulation. Bekanntlich lässt sich allein durch Ein- und Ausschalten eines Lichtstrahls eine Nachricht übertragen. Bei den elektrischen Modulationsverfahren dieser Art spricht man von Tastung.
Hierbei kann ein getasteter Gleichstrom über eine Leitung übertragen werden, um am anderen Ende z.B. ein Relais zu betätigen. Man spricht dann von Gleichstrom-tastung.
Man hat in der Telegrafie den Einfachstrombetrieb, wenn der Gleichstrom lediglich aus- bzw. eingeschaltet wird, den Doppelstrombetrieb, wenn zur Übertragung der beiden Zustände der Strom umgepolt wird.

Wird eine Wechselspannung als Träger der Information verwendet, dem durch Aus- und Einschalten die Nachricht aufmoduliert wird, hat man Wechselstromtastung.
Die Trägerfrequenz kann sowohl im Ton- als auch im Hochfrequenzbereich liegen.
je nachdem, ob bei der Wechselstromtastung der Signalparameter ,,Amplitude', ,,Frequenz" oder ,,Phase" getastet wird, spricht man von Amplituden-, Frequenz- oder Phasenumtastung (Bild 8.1).

Es versteht sich, dass nur digital vorliegende Nachrichten, also z.B. Morsezeichen oder binär-kodierte Fernschreibzeichen oder Daten aufmoduliert werden können.
Bei Umtastung spricht man zuweilen auch von „Shiftung“ (angelsächsische Literatur, to shift = wechseln, umspringen).

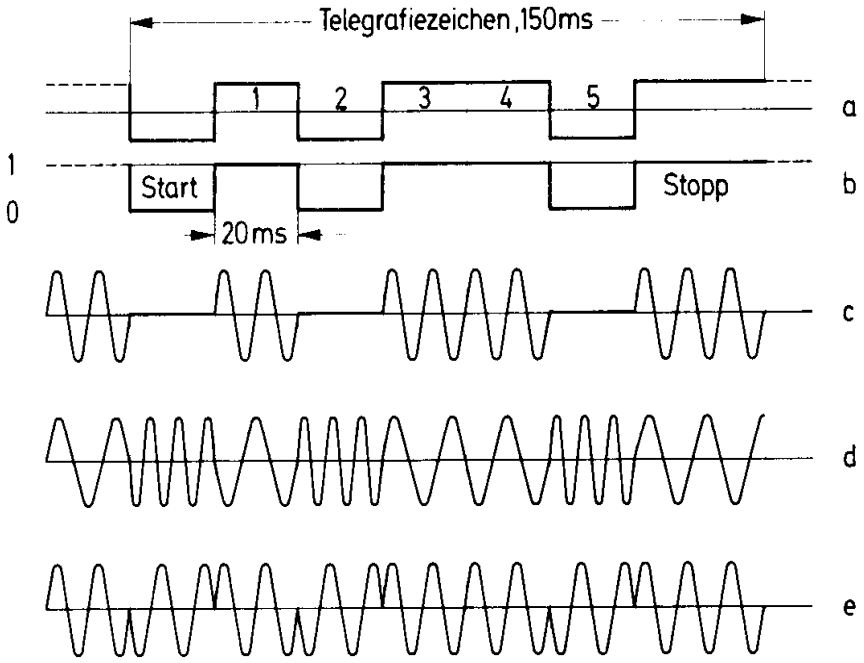


Bild 8.1 Telegrafiezeichen „F"
a) Doppel-,
b) Einfachstrom-,
c) Amplituden-,
d) Frequenz-,
e) Phasentastung

Man unterscheidet:

ASK = Amplitude Shift Keying
Amplitudentastung

FSK = Frequency Shift Keying
Frequenztastung

PSK = Phase Shift Keying
Phasentastung

10.2 WirelessHART, drahtlose Kommunikation

WirelessHART ist das drahtlose HART-Protokoll der HART Communication Foundation. Es wurde im Zuge der HART-7 Revision im Jahr 2007 vorgestellt.
Mit WirelessHART ist es möglich, Prozessvariablen kabellos zu übertragen. Das bedeutet, dass Feldgerate ohne weitere Verkabelung mit einem Prozessleitsystem kommunizieren können. Allerdings erwähnt die HART Communication Foundation – im Weiteren HCF genannt – das Ziel dieser Entwicklung sei vor allem die Koexistenz mit leitungsgebundener 4...20mA-Technik und nicht die Verdrängung leitungsgebundener Systeme.

Logo des HART-Protokolls, wie es auf vielen intelligenten Wireless-Messumformern zu sehen ist

Die WirelessHART Technologie zielt nicht auf die Verdrängung kabelgebundener Systeme ab, sondern auf die Koexistenz beider Systeme, um eine flexible Kommunikationslösung zu realisieren. Aus diesem Grund unterscheidet man zwischen reinen WirelessHART Netzwerken und hybriden, also leitungsgebundenen und gleichzeitig WirelessHART betriebenen Systemen.

So lässt sich z.B ein bestehendes HART-fähiges aber leitungsgebundenes Gerät, welches nur einen Prozesswert liefert, durch einen Wireless Adapter erweitern. Massemesser ermitteln neben der Hauptprozessvariablen auch andere Größen, wie Dichte und Temperatur. Diese sekundären Prozessvariablen lassen sich so ebenfalls in das Prozessleitsystem einlesen, ohne dass weitere neue Peripherie, wie etwa Leitungswege und Analogeingangsbaugruppen geschaffen werden müssen.
Einen weiteren Vorteil der Koexistenz beider Systeme stellt die Stromversorgung dar. Müssen doch reine WirelessHART Geräte durch eine Batterie, Solarpanels oder an eine eigene Stromversorgung angeschlossen werden, können WirelessHART Adapter einfach durch den vorhandenen 4...20mA Stromkreis versorgt werden.

Druckmessumformer 3051S Wireless

EMERSON.
Process Management

Spannungsversorgungsmodule

Preisliste für WLAN-Messumformer

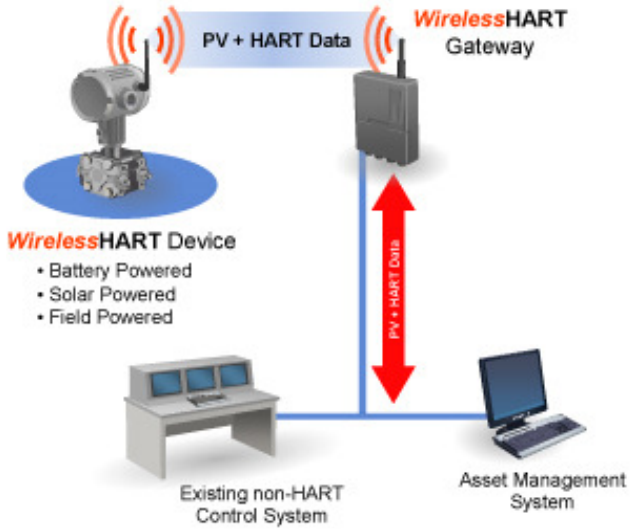
WirelessHART **Standardgeräte Preisliste** **Stand:** **04.03.2014**
gültig bis: **31.12.2014**

Gerätegruppe	Position	Modell	Messbereich / Info	Batterietyp	Preis
Druck	10		–1,0 bis 2,1 bar	grün	1.485,00 €
	20		–1,0 bis 10,3 bar	grün	1.485,00 €
	30		–1,0 bis 55 bar	grün	1.485,00 €
	40		–1,0 bis 276 bar	grün	1.485,00 €
	50		–1,0 bis 689 bar	grün	1.485,00 €
		ohne Dis	*Option M5 entfällt*		*1.387,00 €*
Differenzdruck	60		–62,2 bis 62,2 mbar	grün	1.813,84 €
	70		–623 bis 623 mbar	grün	1.813,84 €
	80		–2,5 bis 2,5 bar	grün	1.813,84 €
	90		–20,7 bis 20,7 bar	grün	1.813,84 €
	100		–137,9 bis 137,9 bar	grün	1.813,84 €
		ohne Dis	*Option M5 entfällt*		*1.715,84 €*
Temperatur	110		1 Kanal, ohne Display	schwarz	594,72 €
	120		1 Kanal, mit Display	schwarz	1.399,50 €
	130		4 Kanal, ohne Display	schwarz	2.482,17 €
Akustik	140		Akustik / Temperatur	grün	776,00 €
Diskrete Kontakte	150		2 diskrete Eingänge	schwarz	1.433,88 €
	160		Notduschenüberwachung	schwarz	1.730,94 €
Wireless-Adapter	170		für HART-fähige Geräte		635,00 €
Rückmeldebox	180		Ventilstellung 0-100%/ AUF-ZU	blau	538,00 €
	190		Nennweiten: DN15-DN100		160,00 €
Gateway	200		redundant		4.825,10 €
	210		nicht redundant		4.378,14 €
Batterien	220		grün		109,00 €
	230		schwarz		163,00 €
	240		blau		109,00 €

Ab einer Bestellmenge von 20 Geräten (und/oder) gibt es gesonderte Konditionen zum Paketpreis.

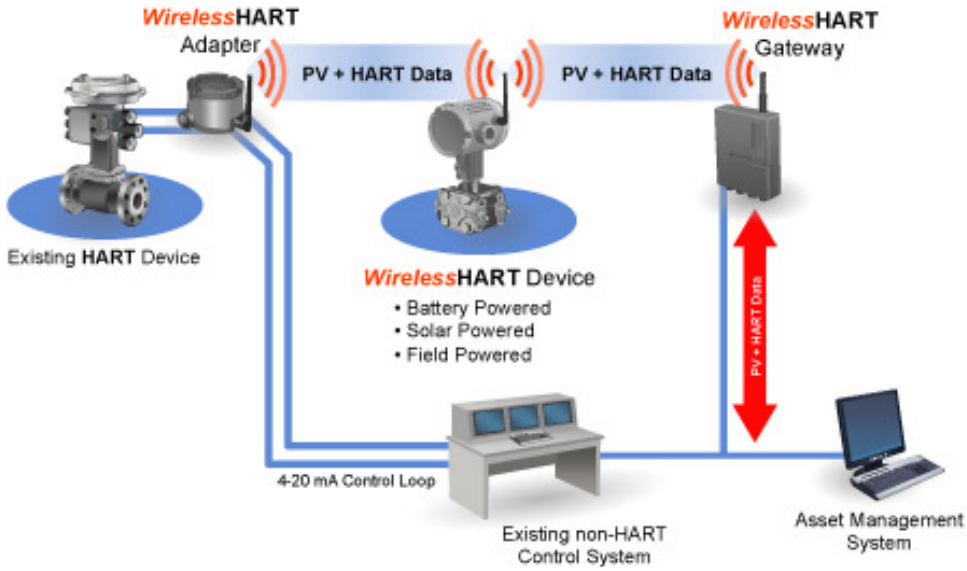
Aktustik-Messumformer (er): Ab 30 Stück kann ein 3-monatiger, kostenloser Test durchgeführt werden.

Man unterscheidet zwischen reinen WirelessHART Netzwerken und hybriden, also leitungsgebundenen und gleichzeitig WirelessHART betriebenen Systemen.



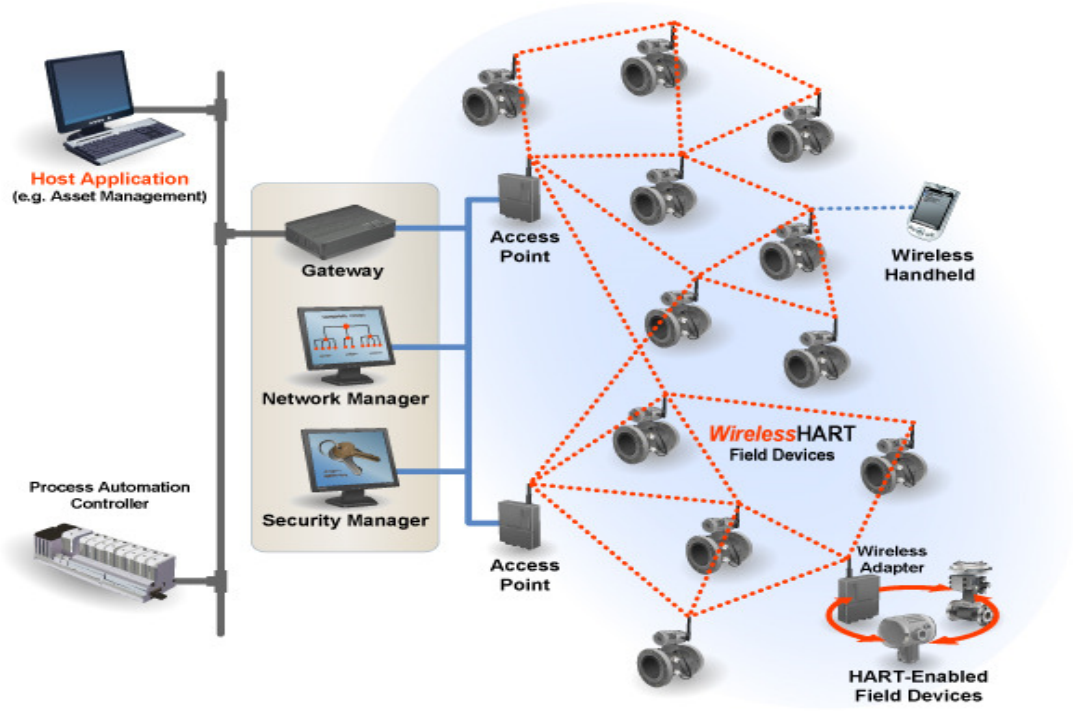
Reines WirelessHART Netzwerk

Smart Wireless Gateway



Hybrides WirelessHART Netzwerk

10.2.1 Netzwerkaufbau



Mesh-Network im WirelessHART Netzwerk

10.2.2 Kenndaten

Zur Erläuterung der Übertragungstechniken und Funktionen der WirelessHART-Spezifikation fasst die untenstehende Tabelle die wesentlichen Kenndaten dieser Spezifikation zusammen.

Begriff	Beschreibung
Industriestandards	HART-IEC 61158 WirelessHART – IEC/PAS 62591Ed.1 EDDL –IEC 61804-3 Radio & MAC – IEEE 802.15.4 – 2006 IEC/PAS
Funkstandard	IEEE 802.15.4 – 2006 bei 250 kbps
Frequenzmanagement	Frequenzsprung auf Datenpaketbasis
Frequenzband	ISM lizenzfrei 16 kanalig bei 2,4 GHz
Reichweite	Bis zu 250 m bei Sichtlinie
Spannungsversorgung	Netz, Batterie; Solar
Topologie	Vorzugsweise vermaschtes Netzwerk

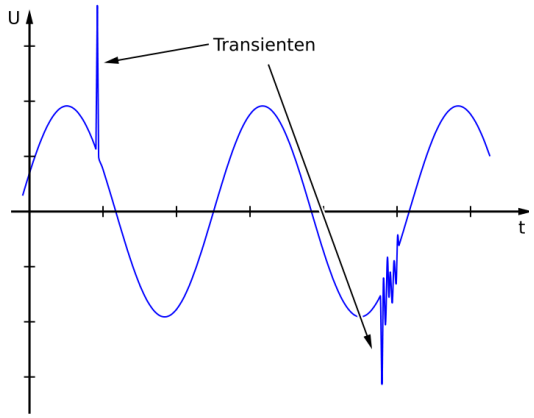
Kenndaten der WirelessHART Spezifikation

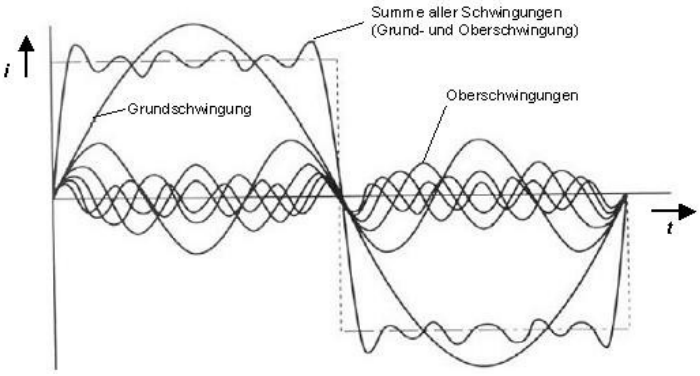
10.2.3 Störungen durch Wechselwirkung mit Störsignalen

Ein Punkt zur Einschätzung der Übertragungssicherheit des Netzwerkes ist, die Wechselwirkung mit Störsignalen. Ein durchaus legitimer Test ist, die einzelnen Netzwerkteilnehmer besonders nah an potenzielle Störquellen anzubringen. Zunächst werden Signalleitungen betrachtet, dabei wird es vermutlich zu keinerlei Problemen oder zu Veränderungen in der Signalqualität kommen, sofern die Erdungs- und Abschirmungsmaßnahmen richtig ausgeführt sind.

Eine weitere potenzielle Störquelle sind Frequenzumrichter betriebene Motoren, wie sie in den Betrieben zu Haufe vorkommen. Zu Testzwecken bringt man die Netzwerkteilnehmer nahe an diesen Motoren. Bei früheren Tests kam es zu keiner Veränderung der Signalqualität. Auch die Anbringung eines Teilnehmers im Schaltraum direkt über mehreren Frequenzumrichtern ergaben keine Veränderungen des Übertragungssignals.
Dies lässt darauf schließen, dass die Oberwellen eines Frequenzumrichters entweder nicht hochfrequent genug oder aber eine zu geringe Leistung besitzen, um die Kommunikation des WirelessHART Netzwerkes zu beeinflussen.

Wie sich das Ein- bzw. Ausschalten von großen induktiven Verbrauchern und der damit einhergehenden Transientenbildung auswirkt, oder der zunehmende Einsatz von nichtlinearen Verbrauchern (Energiesparlampen, Netzteile, Schweißgeräte etc.), wurde in den Tests nicht weiter untersucht.





10.2.4 Ausrichtung der Netzwerkteilnehmer

In Sichtlinie befindliche Netzwerkteilnehmer stellen für die Datenkommunikation das Optimum dar. Kommunikationsprobleme können bei dieser idealen Anbringung ausgeschlossen werden.

In den Herstellanleitungen wird in der Regel davor gewarnt, Netzwerkteilnehmer zu dicht am Boden zu platzieren, da es durch Bodenreflektionen zu Problemen in der Übertragung kommen könnte.
Die als QV (Quartiäre Variable) bezeichnete Softwarevariable gibt immer die Signalstärke zum nächsten Nachbarn an, dennoch ist dieser Wert nicht als absoluter Vergleichswert der Übertragungsqualität zu interpretieren, da die einzelnen Teilnehmer automatisch ihre Sendeleistung anpassen und somit immer die Signalstärke auf die prozentuale Sendeleistung zu beziehen ist.

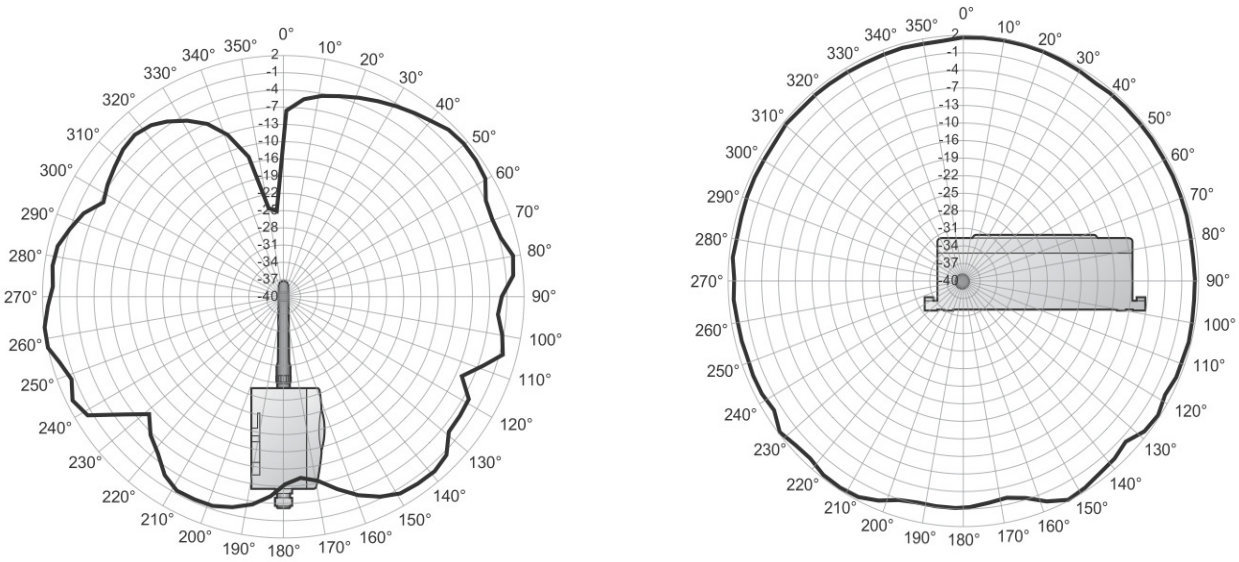
Schwierigkeiten werden sich mit hoher Wahrscheinlichkeit ergeben, bei der Anbindung von Gebäudeteilen, mit wohlmöglich durch dicke Stahlbeton-Mauern getrennt sind. Es kann in diesen Fällen von einer hohen Streckendämpfung ausgegangen werden. Diese zu erwartenden hohen Streckendämpfungen könnte man durch das Ausrichten zweier Adapter in Sichtlinie, zwischen den z.B. in den Gebäuden befindlichen Fenstern, am besten umgangen werden.

Klimatische Veränderungen, wie zum Beispiel die Luftfeuchtigkeit, können ebenfalls die Signalqualität beeinflussen.

Einen weiteren Einfluss könnten vegetative Veränderungen bei einer Freiluftübertragung haben. Der Baumwuchs über viele Jahre, dem man keine Beachtung in solchen Fällen schenkt, wird zu einer sukzessiven Verschlechterung der Signalstärke führen, bis hin zum Totalausfall.

Ausrichtung des Gateways und der Adapter

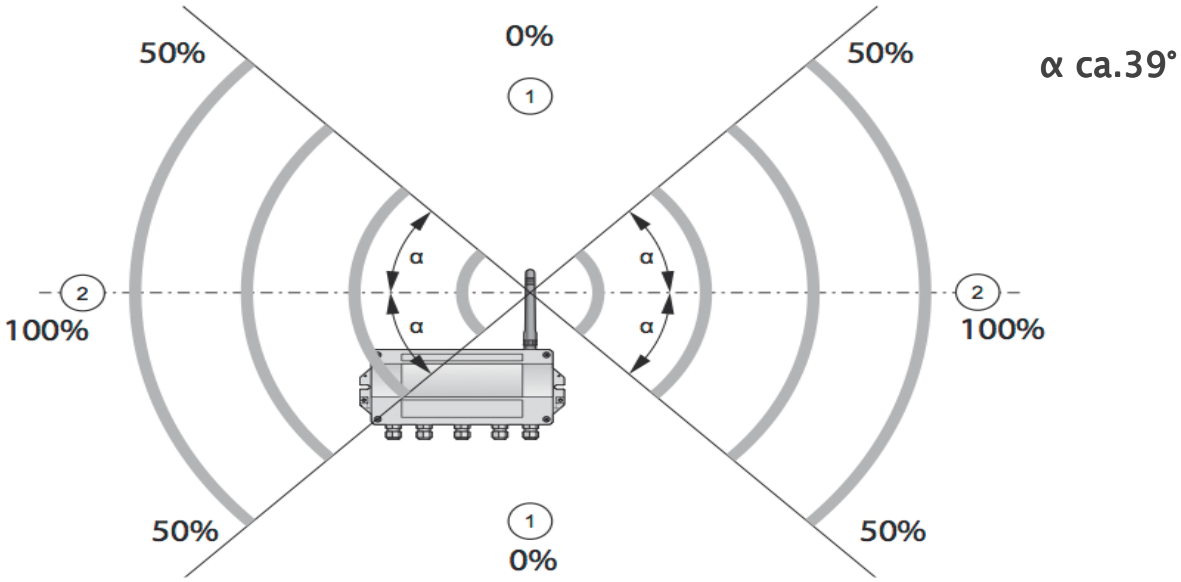
Die Ausrichtung der Antennen, vor allem die des Gateways spielen eine zentrale Rolle in der Planung und Errichtung eines Netzwerkes mit hoher Übertragungszuverlässigkeit. Neben den allgemeinen Empfehlungen zur Ausrichtung einer Antenne ist die Antennenverstärkung in horizontaler und vertikaler Richtung ein wichtiges Kriterium zur Ausrichtung der Antennen. Bei der hier abgebildeten Antenne handelt es sich um einen Dipolrundstrahler mit folgender Charakteristik:



Antennenverstärkung in vertikaler (links) und horizontaler (rechts) Richtung

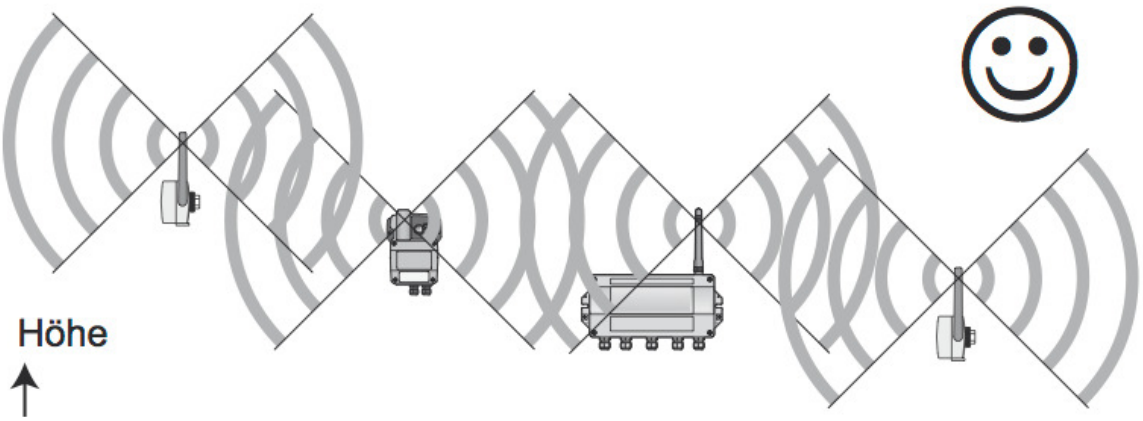
Bei der Betrachtung der obigen Abbildung fällt auf, dass in vertikaler Ebene über und unter der Antenne eine besonders schlechte Antennenverstärkung herrscht. In horizontaler Ebene zeigt die Antenne ein typisches gleichmäßiges Rundstrahlverhalten, welches ausrichtungstechnisch keine besonderen Maßnahmen erfordert.

Die tatsächliche Charakteristik ist zu komplex für die praxistaugliche Planung, sodass folgende Vereinfachung in guter Näherung die reale Charakteristik nachstellt.



Vereinfachte Darstellung der Antennencharakterisitk

Ein schematisches Beispiel für eine korrekte Aufstellung ist in der unteren Abbildung aufgezeigt.



Wie in der obigen Abbildung zu erkennen müssen die Antennen nicht nur in der horizontalen, sondern auch in der vertikalen Ebene in einem günstigen Verhältnis zueinanderstehen.

10.3 Bussysteme

Im Bereich der Automatisierungs- und Prozessleittechnik kommen die verschiedensten Systemarchitekturen mit ihren spezifischen Bussystemen zum Einsatz. Dabei sind Randbedingungen wie zum Beispiel

- Geschwindigkeit des Datenübertragung (Baudrate)
- Zuverlässigkeit der Datenübertragung (Hamming-Distanz)
- Maximale Teilnehmerzahl (Adressierbarkeit der Teilnehmer)
- Empfindlichkeit gegenüber Störeinflüssen (EMV)
- Systematik der Kommunikation, Zugriffsverfahren (Master-Slave, Token-Passing, CSMA-CD)

CSMA/CD -Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection

besonders zu beachten.

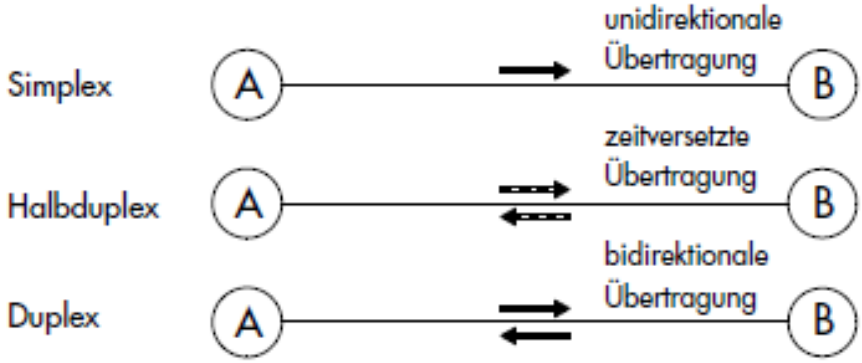
10.3.1 Serielle Kommunikation

(Manfred Schleicher, Fa. Jumo
Fa. Samson, Serielle Datenübertrag.)

Für die Übertragung von digitalen Daten zwischen Geräten wird immer häufiger die serielle Übertragungstechnik verwendet. Viele moderne Netze arbeiten mit dieser Technik. Als Beispiele seien genannt: die Computernetze der Bürokommunikation, die Feldbussysteme in der Prozess-, Gebäude- und Fertigungsautomation, das Internet und ISDN.
Charakteristisch für die serielle Datenübertragung ist, dass die Bits über nur eine Datenleitung, zeitlich nacheinander (bitseriell), übertragen werden. Da die Mikroprozessoren in den Geräten die Daten bitparallel verarbeiten, erfolgt beim Sender eine Parallel-Seriell- und beim Empfänger eine Seriell-Parallel-Umsetzung.

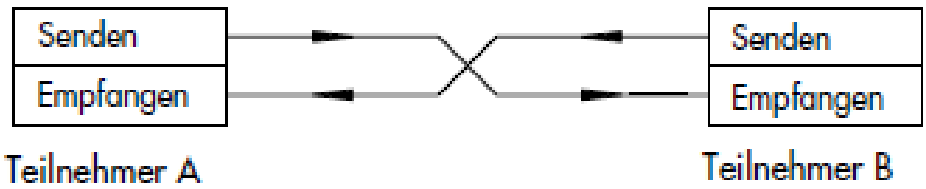
Aufgrund der sehr hohen Übertragungsraten, die heutzutage realisierbar sind, spielt der erhöhte Zeitaufwand dieser Technik in den meisten Fällen keine Rolle. Der verringerte Installations- und Kostenaufwand und die einfache Benutzung spricht hingegen – nicht nur bei örtlich sehr ausgedehnten Systemen – für die serielle Übertragungstechnik.

Übertragungsstrecken unterscheiden sich darin, in welchen Richtungen und zu welchem Zeitpunkt Nachrichten übertragen werden können. Grundsätzlich werden drei verschiedene Nutzungsmöglichkeiten unterschieden

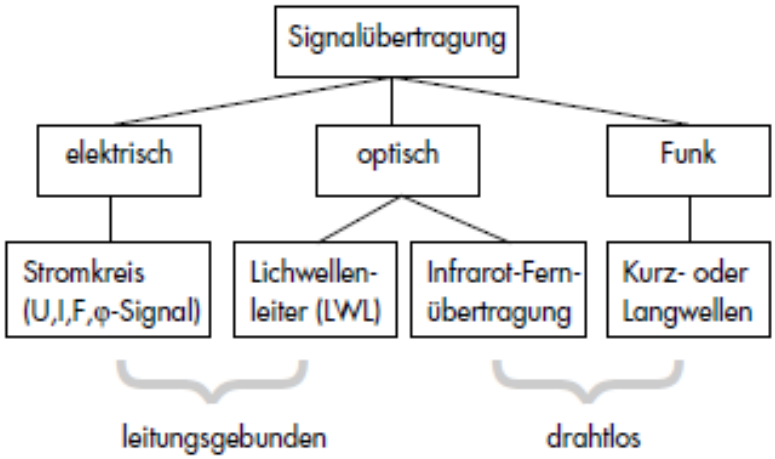


Punkt-zu-Punkt Verbindung

Bei Zweipunkt- bzw. Punkt-zu-Punkt-Verbindungen können Empfangs- und Sendeleitungen getrennt ausgeführt werden.



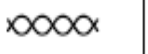
Übertragungsmedien



Für die serielle Datenübertragung stehen ganz verschiedene Übertragungsmedien zur Verfügung. Dabei werden die Signale elektrisch, als Lichtpulse oder per Funk übertragen. Zur Auswahl eines geeigneten Mediums sind verschiedene Aspekte zu bewerten:

- die Kosten und den Aufwand der Installation,
- die Sicherheit der Übertragung – Abhörbarkeit, Störempfindlichkeit, Fehlerwahrscheinlichkeit, etc.
- die maximale Datenrate,
- die Distanzen sowie die topologische Lage der Teilnehmer, u.v.m.

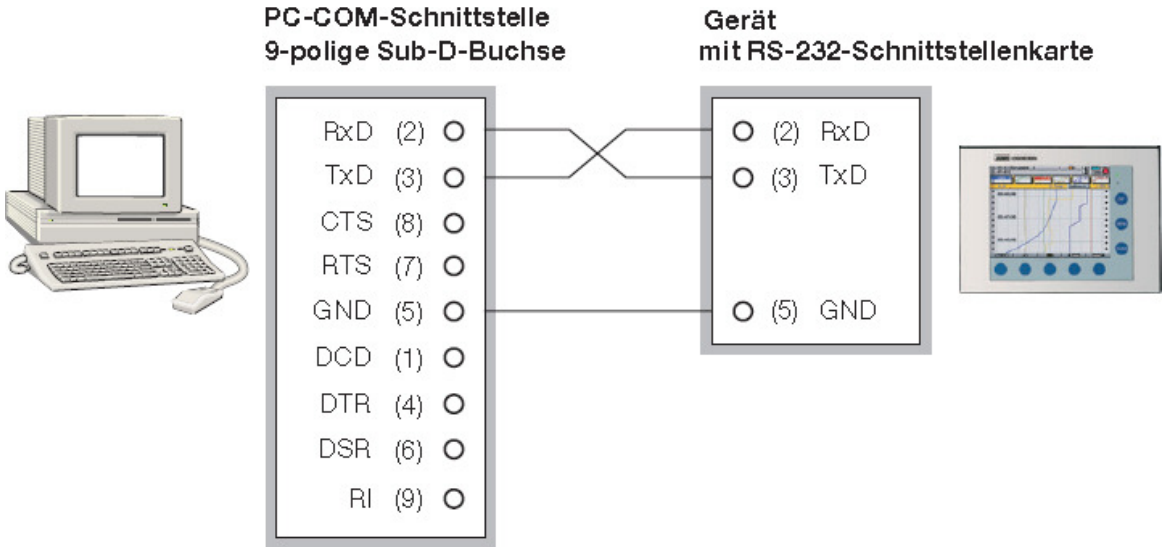
Kein Medium hat ideale Eigenschaften, so dass die Signale mit zunehmender Distanz mehr oder weniger gedämpft werden.
Dabei stellen hohe Übertragungsraten besondere Anforderungen an das Übertragungsmedium. Darüber hinaus besteht häufig die Gefahr, dass Störsignale die Daten verfälschen.

Typ	Zweidrahtleitung	Koaxialkabel	Lichtwellenleiter
technischer Aufbau			
Konfektionierung, Installation	sehr einfach	einfach	aufwendig
Verlegbarkeit	sehr gut	gut	gut, begrenzter Biegeradius
Störempfindlichkeit	hoch, wenn nicht abgeschrimt	gering	kaum vorhanden

10.3.1.1 Die RS-232-Schnittstelle

Eine serielle Schnittstelle befindet sich nahezu in jedem PC (die COM-Ports stellen jeweils eine RS-232-Schnittstelle dar).

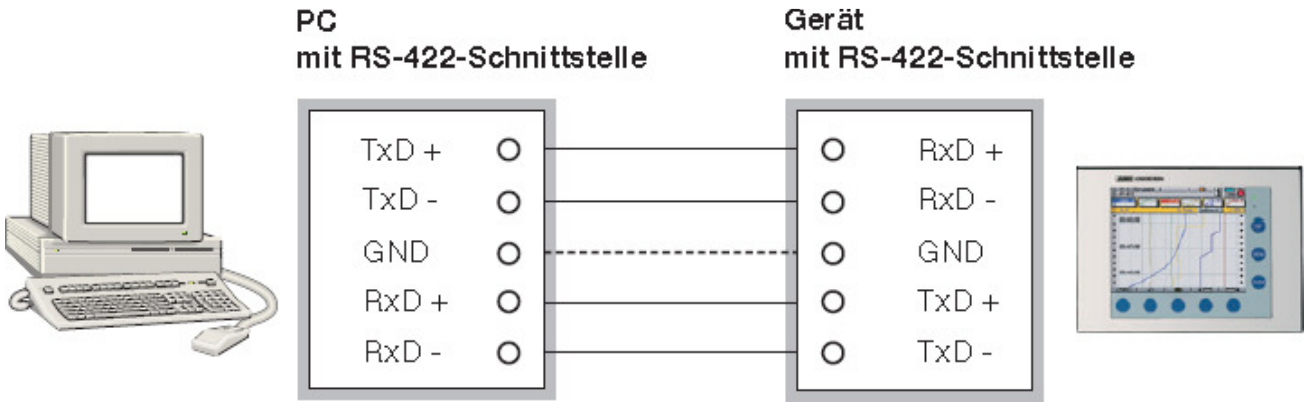
Die RS-232-Schnittstelle wurde ursprünglich entworfen, um Rechner über Telefonleitungen zu verbinden.
Aus diesem Grund ergeben sich die Vielzahl der gezeigten Signale. In der Automatisierungstechnik werden von der RS-232-Schnittstelle meist nur drei Leitungen verwendet:
TxD (Transmit Data) zum Senden, RxD (Receive Data) zum Empfangen und die GND-Leitung für das gemeinsame Bezugspotenzial (ohne Anschluss der GND-Leitung keine Datenübertragung).



Merkmale der RS232-Kopplung:

- Low-Pegel (logisch 0): 3 ... 15V
- HighPegel (logisch 1): -3 ... -15V.
- Die maximale Leitungslänge: 30m
- Die RS-232-Schnittstelle ist nicht busfähig (Punkt-zu-Punkt)

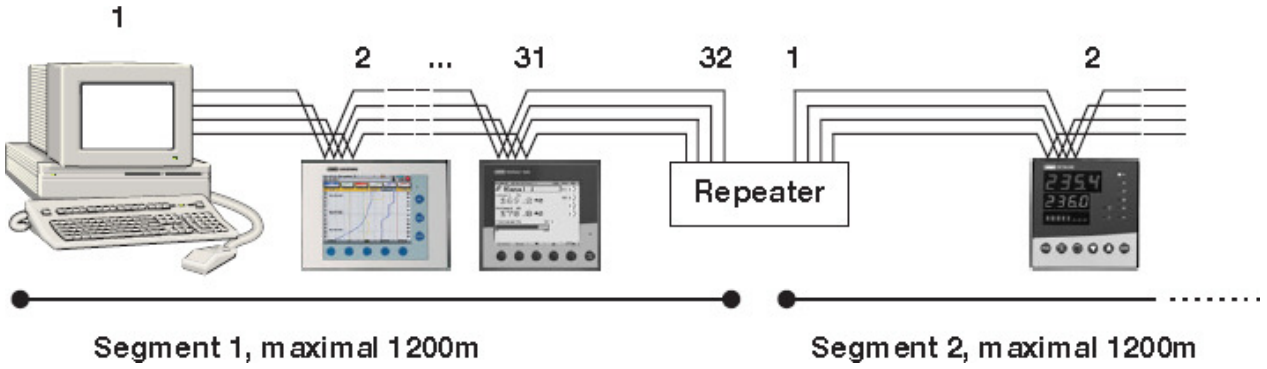
10.3.1.2 RS422-Schnittstelle



Alle Teilnehmer senden über die Datenleitungen TxD + und TxD – und empfangen über RxD + und RxD –. Die GND-Leitung ist nur bei großen Potenzialdifferenzen zu verwenden und sollte nicht notwendig sein.
Die RS-422-Schnittstelle (auch die RS-485-Schnittstelle) ist unempfindlicher gegenüber Störungen als die RS-232-Schnittstelle. Der Grund liegt darin, dass bei den Leitungspegeln immer die Differenz betrachtet wird: liegt z. B. an TxD + +5V und TxD – -5V, entspricht dies dem Pegel logisch „0“. Liegt entsprechend an TxD + -5V und TxD – +5V an, entspricht dies dem Pegel logisch „1“. Eine elektromagnetische Störung würde das Potenzial an beiden Leitungen im gleichen Maß erhöhen.
Somit hätte die Störung keinen Einfluss auf das Differenzsignal (zum Vergleich: bei der RS-232-Schnittstelle hätte die Störung nur Einfluss auf die Signalleitungen, nicht aber auf das Bezugspotenzial).

Merkmale der RS422-Kopplung:

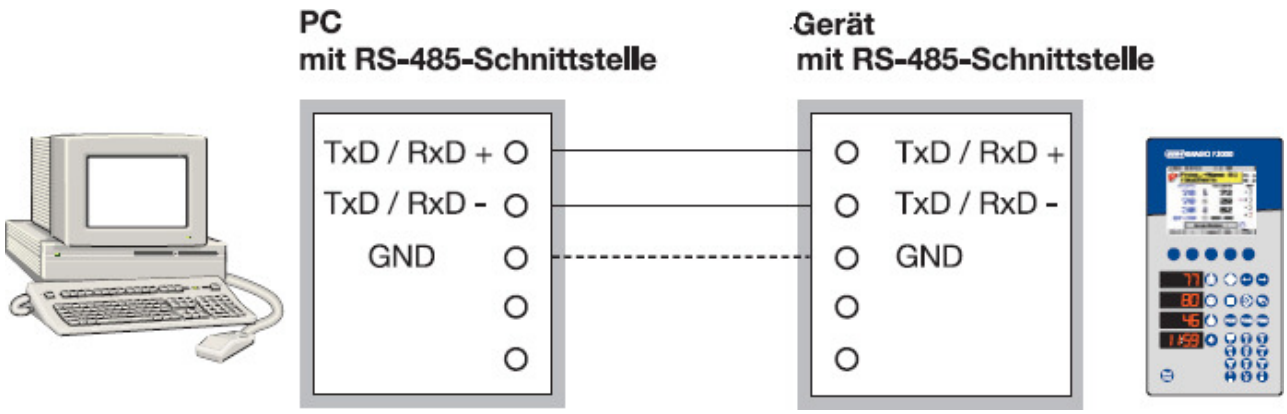
- Low-Pegel (logisch 0): TxD+ +5V und TxD- -5V
- High-Pegel (logisch 1): TxD+ -5V und TxD- +5V
- Die maximale Leitungslänge: 1200m (ohne Repeater)
- Die RS-422-Schnittstelle ist busfähig, max. 32 Teilnehmer (1 Strang)



Einsatz eines Repeaters bei einer RS-422-Schnittstelle

10.3.1.3 RS485-Schnittstelle

Die RS-485-Schnittstelle hat ähnliche Eigenschaften wie die RS-422-Schnittstelle. Die Pegel liegen in der gleichen Höhe. Es können Ausdehnungen von bis zu 1200m erreicht und 32 Teilnehmer miteinander verbunden werden. Auch bezüglich der Repeater, der Störungsunempfindlichkeit und der Spannungspegel gilt das über die Schnittstelle RS422 Beschriebene.
Der große Unterschied zur RS-422-Schnittstelle und gleichzeitig der Grund für eine viel stärkere Verbreitung ist, dass die Teilnehmer bei der RS-485-Schnittstelle lediglich über zwei Datenleitungen miteinander verbunden werden.



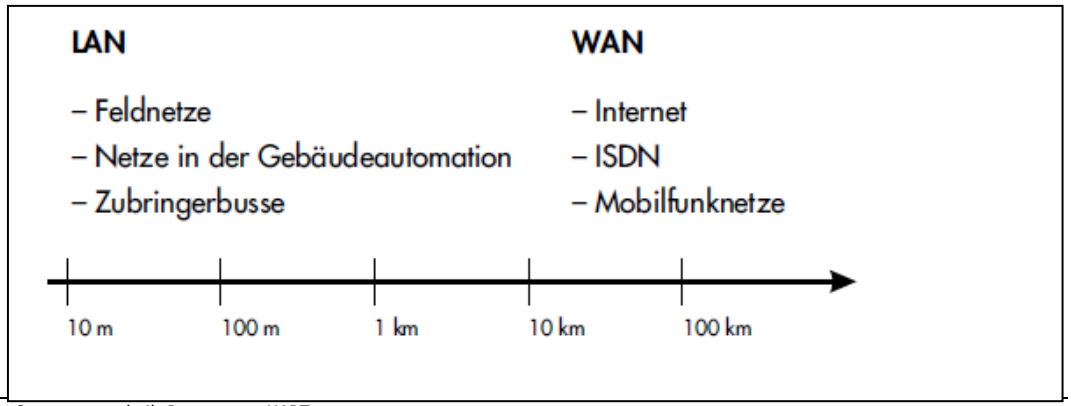
Die Teilnehmer senden und empfangen über die Leitungen TxD/RxD + und TxD/RxD -. Somit ergibt sich ein sehr geringer Installationsaufwand. Bei der RS-485-Schnittstelle kommt es bei den Teilnehmern zum Umschalten: so sendet z. B. der PC Daten über das Leitungspaar zum Gerät. Zu dieser Zeit nutzt das Gerät das Leitungspaar zum Empfangen. Ist die Nachricht übertragen, wird im Gerät von Empfangen auf Senden, beim PC von Senden auf Empfangen umgeschaltet.

10.3.2 Bussysteme, Grundlagen

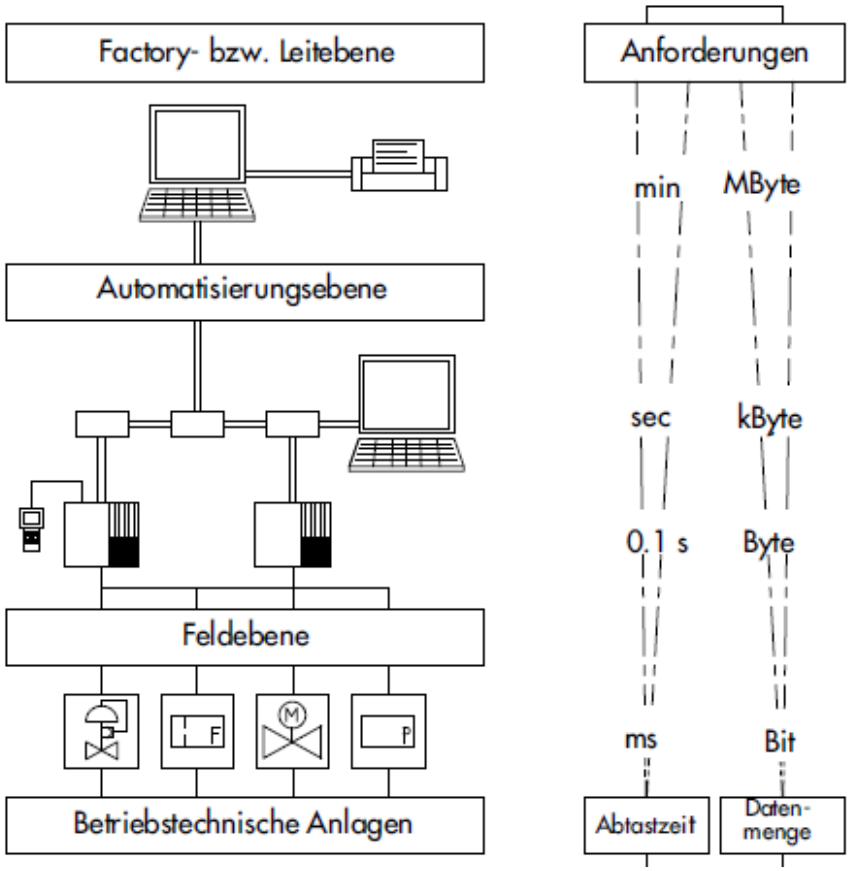
(Fa. Samson, Kommunikationsnetze)

Einteilung von Kommunikationsnetzen

Abhängig vom Anwendungsbereich . Fertigungs-, Prozess-, Büro-, Gebäudeautomation . ergeben sich bei der Kommunikation ganz unterschiedlich komplexe, zum Teil widersprüchliche Aufgabenstellungen. Würde man diese mit nur einem einzigen Kommunikationsnetz lösen, ließe sich keine optimale Lösung erzielen. Der Markt bietet deshalb ganz unterschiedliche Netze und Bussysteme, die mehr oder weniger auf einen speziellen Aufgabenbereich zugeschnitten sind. Eine erste grobe Klassifizierung von Netzen unterscheidet die räumliche Ausdehnung, über die hinweg kommuniziert wird. So gibt es lokale Netze LANs (Local Area Networks) als auch Weitverkehrsnetze. WANs (Wide Area Networks). Während beim LAN der schnelle, leistungsfähige Datenaustausch auf einem räumlich begrenzten Gebiet im Vordergrund steht, muss ein WAN große Datenmengen auf unterschiedlichsten Übertragungsmedien und über mehrere tausend Kilometer transportieren können (Beispiel: Internet).



Für eine praxisnahe Einteilung ordnet man die Kommunikationsnetze unterschiedlichen Hierarchie- bzw. Anwendungsebenen zu. So entsteht eine Kommunikationspyramide, die sich aus drei manchmal vier Ebenen zusammensetzt.



In der untersten Ebene ist die Anzahl der Teilnehmer, die Echtzeitanforderung und auch die Erneuerungsrate der Nachrichten hoch. Je höher die Hierarchiestufe ist, umso geringer wird die Zahl der Netzteilnehmer. Auch Anforderungen bezüglich Echtzeit und Abfragezyklus sinken. Es steigt jedoch die Komplexität und die Länge der Nachrichtentelegramme.

Die Factory- oder Leitebene kontrolliert die übergeordnete Betriebsführung. Hier sind nicht die Antwortzeiten kritisch, sondern es gilt die sichere Übertragung auch sehr langer Nachrichten (Dateitransfer) zu garantieren. Da diese Netze sozusagen als Rückgrat der Kommunikation auch die untergeordneten Ebenen steuern, werden sie häufig als Backbone-Netze bezeichnet.

Typische Protokolle die in diesem Bereich verwendet werden sind z.B.:

- MMS (Management Message Specification),
- PROFIBUS-FMS und
- TCP/IP (Transmission Control Protokol / Internet Protocol).

Auf Prozess- und Automatisierungsebene haben Nachrichten eine mittlere Länge (10 bis 500 Byte), wobei Antwortzeiten zwischen 5 und 20 ms erreicht werden müssen. Diese Anforderungen erfüllen die so genannten Automationsnetze, zu denen z.B. der

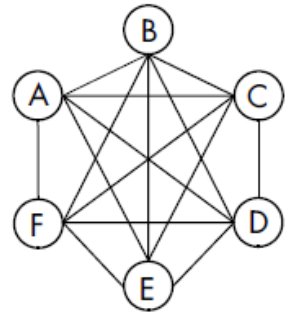
- Bitbus,
- FF (FOUNDATION Fieldbus),
- FIP (Factory Information Protocol),
- LON (Local Operating Network),
- Modbus,
- sowie je nach Anwendung PROFIBUS-FMS und -DP

gezählt werden können.

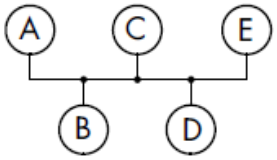
Auf der Feldebene, der Ebene der Sensoren und Aktoren müssen kurze Meldungen (einige Bytes) mit schnellen Antwortzeiten (10 bis 100 ms) übertragen werden. Diesen Bereich deckt die große Gruppe der Feldnetze ab, denn aufgrund sehr spezieller, unterschiedlicher Anforderungen existieren hier sehr viele Systeme:

- ASI (Aktor-Sensor-Interface),
- CAN (Controller Area Network),
- FF (FOUNDATION Fieldbus),
- InterBus-S,
- PROFIBUS-DP und -PA und
- v. a. m. .

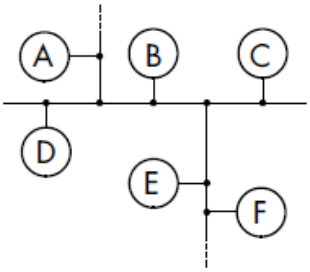
Netztopologie



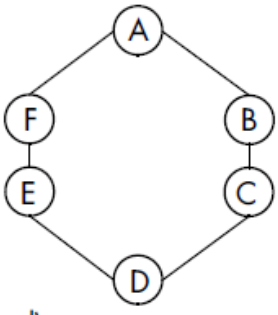
a)



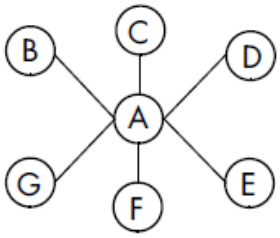
b)



c)



d)

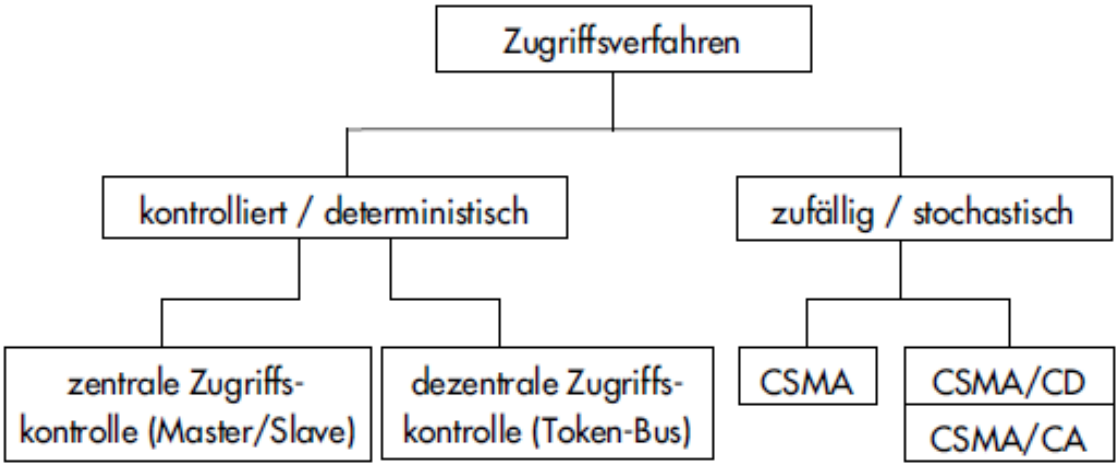


a) Vermaschtes Netz
b) Busstruktur
c) Baumstruktur
d) Ringstruktur
e) Sternstruktur

Der Begriff Netztopologie wird sowohl für die Beschreibung der geometrischen Anordnung der Teilnehmer innerhalb des Netzes verwendet, steht aber auch für die logische Anordnung der Teilnehmer während der Kommunikation, welche unabhängig von den örtlichen Gegebenheiten der Geometrie sein kann. Für die Verbindung von mehr als zwei Teilnehmern sind sehr verschiedene Strukturen üblich.

10.3.2.1 Zugriffsverfahren

In einem Bussystem sind die Teilnehmer meist in Bustopologie angeordnet. Alle Komponenten arbeiten z. B. über eine Zweidrahtleitung. Die Leitung kann jedoch zur gleichen Zeit immer nur einem Teilnehmer zur Verfügung stehen. Durch die Zugriffsverfahren ist geregelt, welcher Teilnehmer zu welcher Zeit auf den Bus zugreifen darf.

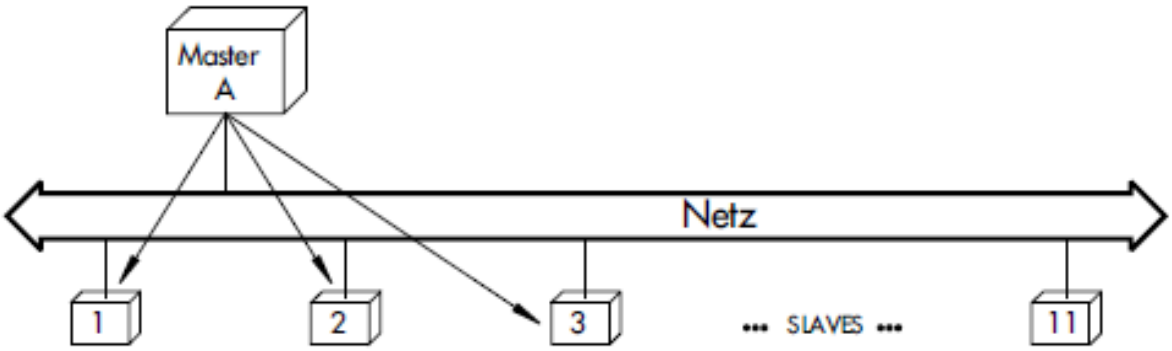


Man unterscheidet also 4 Zugriffsverfahren

- Master-Slave-Verfahren
- Token-Passing-Verfahren
- CSMA-Verfahren (CSMA-CD und CSMA-CD)

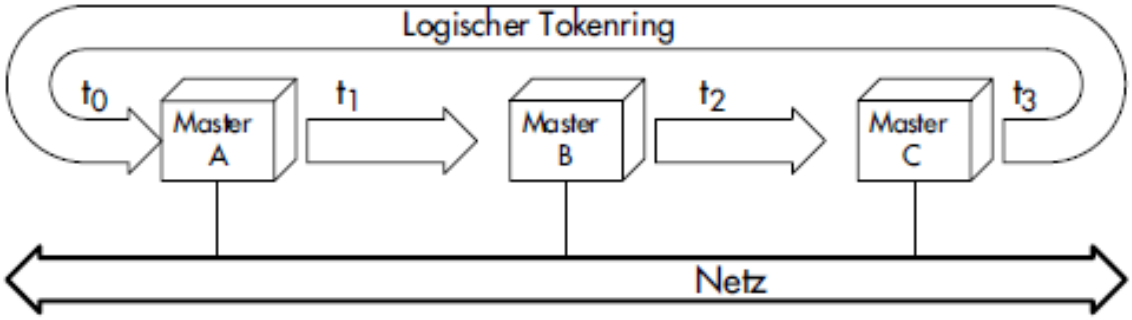
10.3.2.1.1 Master-Slave-Verfahren

Beim Master-/Slave-Verfahren steuert ein Master die Kommunikation auf dem Bus: er beginnt z. B. mit Anweisungen für den Slave 1. Der Slave folgt den Anweisungen und bestätigt die Ausführung (z. B. Übernahme Sollwert). Hiernach fragt der Master die ihn interessierenden Werte vom gleichen Slave ab (der Slave sendet z. B. 2 Analogwerte). In dieser Weise kommuniziert der Master mit allen angeschlossenen Slaves. Wurden die Daten mit dem letzten Slave ausgetauscht, beginnt der Master erneut mit Slave 1. Die Zeit, die für den Austausch mit allen Slaves benötigt wird, nennt man Buszykluszeit. Die Buszykluszeit kann von ms (PROFIBUS-DP) bis zu mehreren Sekunden (Modbus) betragen.



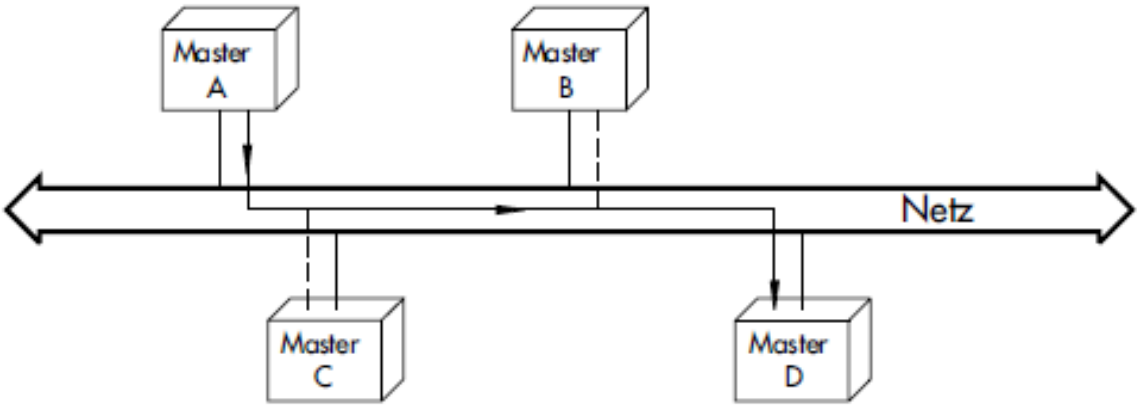
10.3.2.1.2 Token-Passing-Verfahren

Auch beim Token-/Passing-Verfahren hat zur gleichen Zeit ein Master die Kontrolle über den Bus. Hier ist jedoch die Besonderheit, dass mehrere Master im System vorhanden sind. Im System existiert ein Token (Zugriffsrecht). Dieser wird von Master zu Master weitergereicht. Nur der Master, der im Besitz des Token ist, darf die Daten mit den Slaves austauschen. Das Token-/Passing-Verfahren kommt relativ selten zum Einsatz. Ein Beispiel ist PROFIBUS-DP.



10.3.2.1.3 CSMA-Verfahren

Arbeitet ein System nach dem CSMA(**C**arrier **S**ense **M**ultiple **A**ccess)-Verfahren, sind alle Teilnehmer auf dem Bus gleichberechtigt: jede Station kann von sich aus anfangen zu senden. Prinzipiell prüft jede Station, bevor sie zu senden anfängt, ob im Moment ein anderer Teilnehmer sendet. Problematisch wird es, wenn zwei Teilnehmer gleichzeitig anfangen zu senden. Nun gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, wie mit dieser so genannten Kollision umgegangen wird:



CSMA-CD

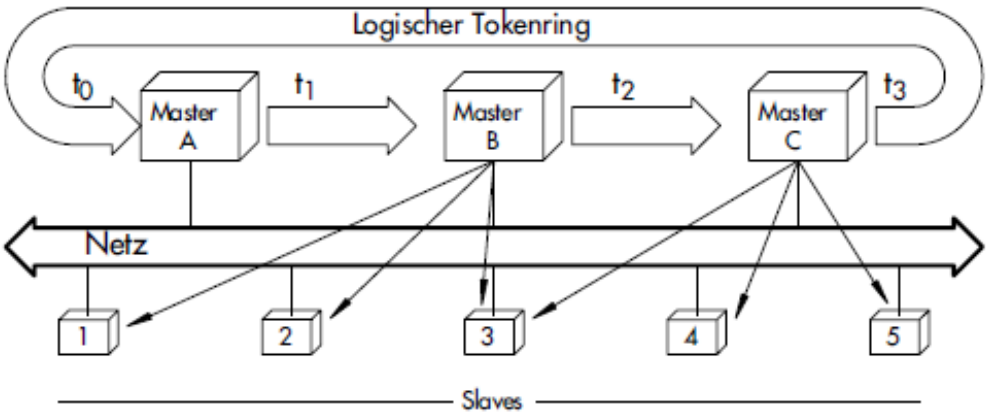
Senden beim Zugriffsverfahren CSMA-CD(**C**arrier **S**ense **M**ultiple **A**ccess **C**ollision **D**etection) zwei Teilnehmer gleichzeitig, wird die Nachricht zerstört. Die Teilnehmer erkennen das gleichzeitige Senden und wiederholen die Sendung nach dem Zufallsprinzip. Sollte es wieder zu einer Kollision kommen, erfolgt ein neues Senden usw. ETHERNET arbeitet z. B. nach diesem Verfahren.

CSMA-CA

Beim CSMA-CA(**C**arrier **S**ense **M**ultiple **A**ccess **C**ollision **A**void)-Verfahren zieht sich der Teilnehmer, welcher die Nachricht mit geringerer Priorität sendet, vom Bus zurück. Durch den Protokollaufbau und die elektrischen Eigenschaften der Schnittstelle setzt sich die Nachricht mit der höheren Priorität durch und wird zerstörungsfrei übertragen.

10.3.2.1.4 Hybrides-Verfahren

Eine Kombination aus Master/Slave- und Token-Passing-Verfahren wird als hybrides Zugriffsverfahren bezeichnet (z.B. PROFIBUS). Es wird verwendet, wenn an einem Netz neben aktiven (mit Masterfunktionen ausgestatteten) Teilnehmern auch passive (ohne Netzsteuerungsfunktionen) angeschlossen sind.



10.3.3 Feldbussysteme

Mit der Öffnung der Windows-Welt für die Prozessleitsysteme und der damit verbundenen Abkehr der Leitsystemhersteller von ihren proprietären Systemen, hält auch zunehmend die typische EDV-Kommunikation bzw. EDV-typischen Bustopologien Einzug in die Automatisierungswelt. Beispielsweise MESH-Netzwerke (vermachtes Netz), oder WLAN-Technologie sind heute Stand der Technik.

Feldbussysteme sind jedoch spezifisch auf die Kommunikation von Automatisierungssystemen ausgelegt.

	Modbus	PROFIBUS-DP	ETHERNET	CANopen	HART®
Zugriffsverfahren	Master/Slave	Master/Slave	CSMA-CD	CSMA-CA	Master/Slave
Medium	beliebig	2-Draht-Leitung oder Lichtwellenleiter	2-Draht-Leitung	2-Draht-Leitung	2-Draht-Leitung
Teilnehmer/ Segment	247	32	16.777.216 (A-Klasse-Netz)	127	15
Daten-übertragungsrate	je nach Schnittstelle bis zu 187,5 kBit/s	9600 bit/s bis 12 Mbit/s	100 Mbit	50 kbit/s bis 1 Mbit/s	1200 bit/s
Busausdehnung	je nach Schnittstelle bis zu 1200m/Segment	1200m/Segment	maximaler Abstand zwischen zwei Punkten 100m	bis 5000m	bis 2000m

10.3.3.1 MODBUS

Modbus ist ein Übertragungsprotokoll, welches 1979 von der amerikanischen Firma Gould-Modicon (heute Teil von Schneider Electric) entwickelt wurde. Modbus findet überwiegend Anwendung um die Kommunikation zwischen speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) und anderen Geräten zu standardisieren und im Bereich der Prozessvisualisierung. Es ist ein einfaches und sicheres Protokoll und wird spezifiziert im „Modicon Modbus Protocol Reference Guide“. Der große Vorteil von Modbus ist, dass dieses Protokoll von jedem Programmierer realisiert werden kann und keinerlei Lizenzgebühren fällig werden.

Hierdurch entstehen im Vergleich zu anderen Bussystemen kommerzielle Vorteile. Dank seiner Einfachheit, Flexibilität und Offenheit ist es eines der am häufigsten verwendeten Protokolle in der Industrie

Beim Einsatz von Modbus kann der Anwender selbst bestimmen, welche Schnittstelle er verwendet (RS422/RS485, RS232, LWL etc.). Sicher findet in den meisten Fällen die RS-485-Schnittstelle Anwendung. Wird die RS-485-Schnittstelle verwendet, sind die Teilnehmer in Linie anzuordnen und ggf. der erste und letzte Teilnehmer mit einem Abschlusswiderstand zu versehen (siehe auch Kapitel 3 *„Serielle Schnittstellen RS232, RS422, RS485 und USB“*).

Die Schnittstellen aller Teilnehmer sind hinsichtlich Baudrate, Paritätsprüfung und Anzahl Stoppbits gleich einzustellen. Jedem Teilnehmer ist eine Adresse zu vergeben, diese darf im System nur einmal vorhanden sein. Hinsichtlich der Baudrate verwendet JUMO die folgenden Standardraten: 9600, 19200, 38400 Baud.
Modbus arbeitet nach dem Master-Slave-Verfahren. Wie bereits beschrieben, tauscht bei diesem Verfahren ein Master (bei Modbus meist eine Visualisierungssoftware auf einem PC) zyklisch die Daten mit allen Slaves aus.

Merkmale von Modbus

a) **Offener Standard**:
   - Modbus ist ein freier, lizenzfreier Standard, was die Integration und Anpassung erleichtert.

b) **Master-Slave-Architektur**:
   - Ein Master steuert die Kommunikation und bis zu 247 Slaves (Geräte) können Daten senden oder empfangen.

c) **Einfache Implementierung**:
   - Das Protokoll ist einfach zu verstehen und zu implementieren, was es ideal für einfache Steuerungsanwendungen macht.

d) **Verschiedene Varianten**:
   - **Modbus RTU**: Seriell (RS-232/RS-485).
   - **Modbus ASCII**: Seriell, textbasiert.
   - **Modbus TCP/IP**: Ethernet-basiert.

Modbus-Varianten

a) **Modbus RTU (Remote Terminal Unit)**:
   - Nutzt eine kompakte Binärdarstellung für die Datenübertragung.
   - Effizient und weit verbreitet in seriellen Netzwerken (RS-485 oder RS-232).
   - **Frame-Struktur**:
     - Start-Bit, Adresse, Funktion, Daten, Prüfsumme (CRC), Stopp-Bit.
   - Vorteile:
     - Schnelle und effiziente Datenübertragung.
   - Nachteile:
     - Begrenzte Entfernung und Geschwindigkeit.

b) **Modbus ASCII**:
   - Daten werden in lesbarer Textform (ASCII) übertragen.
   - Weniger effizient als RTU, aber einfacher zu debuggen.
   - Typischerweise für ältere Systeme verwendet.

c) **Modbus TCP/IP**:
   - Verwendet Ethernet für die Kommunikation.
   - Ermöglicht eine höhere Geschwindigkeit und größere Reichweite als serielle Varianten.
   - Verwendet **Port 502** als Standard für die Kommunikation.
   - Vorteile:
     - Einfache Integration in moderne Netzwerke.
     - Keine Begrenzung der Anzahl der Slaves durch Hardware (z. B. RS-485).
   - Nachteile:
     - Höhere Komplexität und eventuell größere Latenzzeiten.

Vorteile von Modbus

a) **Einfachheit**:
   - Modbus ist leicht verständlich und implementierbar.

b) **Weite Verbreitung**:
   - Unterstützt von vielen Herstellern und Geräten.

c) **Flexibilität**:
   - Unterstützt serielle und Ethernet-basierte Kommunikation.

d) **Robustheit**:
   - Gut geeignet für industrielle Anwendungen.

Nachteile von Modbus

a) **Begrenzte Datenrate**:
   - Besonders bei seriellen Varianten wie RTU oder ASCII.

b) **Fehlende Sicherheit**:
   - Keine Verschlüsselung oder Authentifizierung; für kritische Anwendungen sind zusätzliche Schutzmaßnahmen erforderlich.

c) **Master-Slave-Beschränkung**:
   - Slaves können nur auf Anfragen des Masters antworten, nicht selbst aktiv kommunizieren.

d) **16-Bit-Limitierung**:
   - Datenwerte sind auf 16 Bit begrenzt, was die Handhabung komplexer Datenstrukturen erschwert.

Anwendungsbereiche

1. **Industrieautomation**:
   - Kommunikation zwischen SPS, HMIs und Sensoren/Aktoren.

2. **Energie- und Gebäudetechnik**:
   - Überwachung von Stromzählern, Klimaanlagen, Beleuchtungssystemen.

3. **Prozesssteuerung**:
   - Steuerung von Pumpen, Motoren und anderen Geräten in Fabriken.

4. **Medizintechnik**:
    - Steuerung medizinischer Geräte und Überwachungssysteme.

Vergleich mit anderen Protokollen

1. **Gegenüber Profibus**:
    - Modbus ist einfacher, aber Profibus bietet höhere Geschwindigkeit und mehr Funktionalität.

2. **Gegenüber EtherNet/IP**:
    - Modbus TCP/IP ist weniger komplex, aber EtherNet/IP ist moderner und flexibler.

3. **Gegenüber CANopen**:
    - CANopen ist deterministischer und bietet bessere Echtzeitfähigkeit.

Fazit

Modbus ist ein bewährtes und vielseitiges Kommunikationsprotokoll, das besonders für einfache Steuerungs- und Überwachungsaufgaben in der Industrie geeignet ist. Mit der Erweiterung auf **Modbus TCP/IP** bleibt es auch in modernen Ethernet-basierten Netzwerken relevant. Die Einfachheit und Offenheit machen es zu einer bevorzugten Wahl für viele Anwendungen, auch wenn für komplexe Anforderungen andere Protokolle besser geeignet sein können.

10.3.3.2 PROFIBUS DP

PROFIBUS (**PRO**cess **FI**eld **BUS**) ist ein internationaler, offener Feldbusstandard, der in der Feldbusnorm EN 50 170 standardisiert wurde. Die PROFIBUS-Technologie wurde in Zusammenarbeit mehrerer Firmen – unter Führung von Siemens, Klöckner Möller und Bosch – entwickelt und wird von der PROFIBUS-Nutzerorganisation (PNO) gepflegt. Derzeit sind zwei Varianten der PROFIBUS-Familie von Bedeutung:

- **PROFIBUS-DP (Decentralized Peripherie)**

ist konzipiert für den Einsatz im Bereich der dezentralen Peripherie, bei dem kurze Systemreaktionszeiten wichtig sind. Er dient fast immer dazu, die dezentralen Automatisierungsgeräte (Regler, Bildschirmschreiber etc.) über eine serielle Schnittstelle mit einer SPS zu verbinden.

- **PROFIBUS-PA (Process Automation)**

wurde speziell für die Verfahrenstechnik konzipiert und erlaubt die Anbindung von Sensoren und Aktoren im Ex-Bereich. PROFIBUS-PA ermöglicht die Kommunikation und Energieversorgung der Geräte in 2-Drahttechnik gemäß dem internationalen Standard IEC 1158-2. PROFIBUS-DP und -PA sind für die schnelle Datenübertragung kleiner Datenmengen konzipiert.

10.3.3.3 ETHERNET

Ethernet ist eine weit verbreitete Technologie für kabelgebundene lokale Netzwerke (**LANs**), die die Kommunikation zwischen Geräten wie Computern, Druckern, Switches und Routern ermöglicht. Es wurde in den 1970er Jahren von **Robert Metcalfe** und seinem Team bei Xerox PARC entwickelt und hat sich zu einem zentralen Standard für Netzwerke in Unternehmen, Haushalten und Rechenzentren entwickelt.

Grundprinzipien von Ethernet

1. **Datenübertragung im Paketformat**:
   - Ethernet überträgt Daten in Form von **Frames**.
   - Ein Frame enthält Zieladresse, Quelladresse, Nutzdaten und Fehlerprüfungsinformationen.

Ethernet-Frames
Ein Ethernet-Frame besteht aus folgenden Teilen:

1. **Präambel**:
   - Synchronisation für die Empfängerhardware.
2. **MAC-Adressen**:
   - Ziel- und Quelladressen.
3. **Typfeld**:
   - Identifiziert das Protokoll der Nutzdaten (z. B. IPv4, IPv6).
4. **Nutzdaten**:
   - Die eigentliche Information (46 bis 1500 Bytes bei Standard-Ethernet, bis zu 9000 Bytes bei Jumbo Frames).
5. **CRC (Cyclic Redundancy Check)**:
   - Zur Fehlererkennung.

2. **Zugriffssteuerung**:
   - Ursprünglich basierte Ethernet auf dem **CSMA/CD**-Protokoll (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), das in modernen Netzwerken mit Switches durch **vollständige Duplex-Kommunikation** ersetzt wurde.

3. **Schichtmodell**:
   - Ethernet operiert in den Schichten **1 (Physische Schicht)** und **2 (Sicherungsschicht)** des **OSI-Modells**.

4. **Adressierung**:
   - Geräte werden über **MAC-Adressen** (Media Access Control) identifiziert, die weltweit eindeutig sind.

Diese so genannte MAC(**M**edia **A**ccess **C**ontrol)-Adresse hat einen einheitlichen Aufbau und besteht aus 6 Bytes. Die ersten drei Bytes stehen für den Hersteller. Die nächsten drei Bytes kennzeichnen die einzelne Karte. Die Kennziffern des Herstelleranteils werden von der IEEE (**I**nstitute of **E**lectrical and **E**lectronic **E**ngineers) zentral vergeben. Die Kennung der einzelnen Karte wird von dem Hersteller selbst vorgenommen. Die MAC-Adresse ist üblicherweise auf einem Label abgedruckt, das direkt auf der Netzwerkkarte
zu finden ist.

Ethernet-Standards

Ethernet-Standards werden von der **IEEE** in der **802.3-Norm** definiert. Zu den wichtigsten Varianten gehören:

1. **Geschwindigkeiten**:
   - **Ethernet (10BASE-T)**: 10 Mbit/s (historisch, kaum noch genutzt).
   - **Fast Ethernet (100BASE-TX)**: 100 Mbit/s.
   - **Gigabit Ethernet (1000BASE-T)**: 1 Gbit/s, heute Standard in den meisten Netzwerken.
   - **10-Gigabit Ethernet (10GBASE-T)**: 10 Gbit/s, häufig in Rechenzentren.
   - **40GBASE-T und 100GBASE-T**: Für Hochleistungsnetzwerke und Backbones.

2. **Medien**:
   - **Kupferkabel**: Am häufigsten verwendet (z. B. Twisted-Pair-Kabel, Cat5e/Cat6/Cat7).
   - **Glasfaserkabel**: Für hohe Geschwindigkeiten und lange Distanzen.

3. **PoE (Power over Ethernet)**:
   - Überträgt Daten und Strom über dasselbe Ethernet-Kabel.
   - Standards: IEEE 802.3af, 802.3at (PoE+), 802.3bt (PoE++).

4. **Industrial Ethernet**:
   - Angepasste Ethernet-Versionen (z. B. PROFINET, EtherCAT), die in rauen industriellen Umgebungen eingesetzt werden.

Ethernet-Topologien

1. **Stern-Topologie**:
   - Alle Geräte sind mit einem zentralen Switch oder Hub verbunden.
   - Heute die häufigste Topologie.

2. **Baum-/Hierarchische Topologie**:
   - Mehrere Switches sind miteinander verbunden, um größere Netzwerke zu ermöglichen.

3. **Bus-Topologie (historisch)**:
   - Alle Geräte sind an ein einziges Kabel angeschlossen (selten genutzt).

Vorteile von Ethernet

1. **Hohe Geschwindigkeit**:
   - Gigabit- und 10-Gigabit-Ethernet bieten schnelle Datenübertragung.

2. **Zuverlässigkeit**:
   - Fehlererkennung und robuste Übertragungsmechanismen.

3. **Skalierbarkeit**:
   - Kann in kleinen Heimnetzwerken bis hin zu großen Unternehmensnetzwerken verwendet werden.

4. **Kosteneffizienz**:
   - Verfügbarkeit von kostengünstigen Geräten und Kabeln.

5. **Interoperabilität**:
   - Standardisiert und kompatibel mit einer Vielzahl von Protokollen (z. B. IP, TCP, UDP).

Nachteile von Ethernet

1. **Kabellängenbegrenzung**:
   - Kupferbasierte Verbindungen sind auf maximal 100 Meter begrenzt (für 1000BASE-T).

2. **Installation**:
   - Verkabelung kann in großen Gebäuden oder unzugänglichen Bereichen aufwendig sein.

3. **Netzwerkengpässe**:
   - Bei hoher Auslastung können Engpässe auftreten, insbesondere bei älteren Switches oder Hubs.

Anwendungsbereiche

1. **Unternehmensnetzwerke**:
   - Ethernet ist der Standard für Bürokommunikation und Datenaustausch.

2. **Heimnetzwerke**:
   - Verbindungen zwischen Routern, Computern, Druckern und Smart-Home-Geräten.

3. **Rechenzentren**:
   - Hochgeschwindigkeitsverbindungen für Server-Backbones.

4. **Industrieautomation**:
   - Industrial Ethernet für präzise und zuverlässige Kommunikation.

5. **IP-basierte Kommunikation**:
   - VoIP, Videostreaming und andere Dienste nutzen Ethernet als Übertragungsmedium.

Zukunft von Ethernet

1. **Höhere Geschwindigkeiten**:
   - Standards für 400 Gbit/s und 800 Gbit/s sind in Entwicklung, um wachsende Datenmengen zu bewältigen.

2. **Mehr Flexibilität**:
   - Integration von Ethernet in drahtlose Technologien und IoT-Umgebungen.

3. **Geringerer Energieverbrauch**:
   - Effizientere Chips und Mechanismen wie "Energy-Efficient Ethernet" (IEEE 802.3az).

Ethernet ist ein Fundament moderner Netzwerktechnologien und wird kontinuierlich weiterentwickelt, um den Anforderungen wachsender Datenmengen und neuer Anwendungen gerecht zu werden.

10.3.3.4 CAN

CAN ist ein sehr sicheres Bussystem, welches 1986 von der Firma Robert Bosch entwickelt wurde. Ursprünglich wurde CAN für den Einsatz in Kraftfahrzeugen entwickelt, findet aber auch verstärkt im industriellen Bereich Einsatz.

CAN steht für **C**ontroller **A**rea **N**etwork und ist ein serieller Datenbus. Bei CAN werden kurze Nachrichten zerstörungsfrei übertragen. Die zerstörungsfreie Übertragung wird unter anderem durch die Adressierung der Nachrichten ermöglicht.

Das Signal wird über zwei Leitungen (CAN_H und CAN_L) übertragen. Die Teilnehmer werden über Linientopologie über eine geschirmte Zweidrahtleitung miteinander verbunden und die Leitung am ersten und letzten Teilnehmer mit einem Abschlusswiderstand versehen.
Bei CAN erfolgt über das Anschlusskabel häufig auch zugleich die Spannungsversorgung der Teilnehmer (V+ und V-).
Bei CAN kann jeder Teilnehmer von sich aus mit dem Senden beginnen. Alle Nachrichten erhalten eine Priorität. Eine Priorität ist in jedem System nur einmal vorhanden. Beginnen nun zwei Teilnehmer mit dem Senden, setzt sich die Nachricht mit der höheren Priorität durch. In Abbildung 75 beginnen zwei Teilnehmer gleichzeitig, eine Nachricht zu senden. Während des Sendens hören die Teilnehmer auf den Bus, ob die Information der von ihnen gesendeten Information entspricht.

Hauptmerkmale des CAN-Bus

a) **Multimaster-Kommunikation**:
   - Alle Geräte (sogenannte **Nodes**) am CAN-Bus können Daten senden, ohne dass ein zentraler Master erforderlich ist.
   - Jeder Node entscheidet autonom, wann er Daten sendet.

b) **Echtzeitfähigkeit**:
   - CAN-Bus bietet schnelle und deterministische Kommunikation, was ihn ideal für zeitkritische Anwendungen macht.

c) **Robustheit**:
   - Hohe Störsicherheit durch Differenzsignalübertragung und Fehlerkorrekturmechanismen.
   - Funktioniert zuverlässig auch in rauen Umgebungen mit elektromagnetischen Störungen.

d) **Effiziente Nutzung der Bandbreite**:
   - Die Nachrichtenpriorisierung sorgt dafür, dass wichtige Daten bevorzugt übertragen werden.

e) **Fehlererkennung und -management**:
   - Mehrere Mechanismen (z. B. CRC-Prüfsummen, Acknowledgement) zur Erkennung und Behebung von Fehlern.

f) **Arbitration**:
   - Bei gleichzeitigen Sendewünschen mehrerer Nodes entscheidet die Nachricht mit der **höchsten Priorität** (kleinster Identifier) über den Zugriff auf den Bus.
   - Dies geschieht ohne Datenverlust.

Vorteile des CAN-Bus

a) **Effiziente und zuverlässige Kommunikation**:
   - Durch Priorisierung und Fehlerkorrekturmechanismen.
   -

b) **Kosteneffizienz**:
   - Reduziert die Anzahl der Kabel und spart Kosten im Vergleich zu punkt-zu-punkt-Verbindungen.

c) **Flexibilität**:
   - Einfaches Hinzufügen oder Entfernen von Geräten ohne Beeinträchtigung des Systems.

d) **Skalierbarkeit**:
   - Kann für kleine Systeme (z. B. Fahrzeuge) und große Netzwerke (z. B. Gebäudeautomation) verwendet werden.

Nachteile des CAN-Bus

a) **Begrenzte Datenrate**:
   - 1 Mbit/s ist für moderne Anwendungen mit hohem Datenvolumen oft zu langsam.
   - Erweiterung durch CAN FD möglich.

b) **Längenbegrenzung**:
   - Die maximale Kabellänge ist von der Datenrate abhängig.

c) **Komplexität bei großen Netzwerken**:
   - Die Verwaltung vieler Nodes und Nachrichtenprioritäten kann komplex werden.

Einsatzgebiete

a) **Automobilindustrie**:
   - Vernetzung von Steuergeräten (z. B. Motorsteuerung, ABS, Airbags, Infotainment).

b) **Industrieautomatisierung**:
   - Kommunikation zwischen Sensoren, Aktoren und Steuerungen (z. B. mit **CANopen** oder **DeviceNet**).

c) **Medizintechnik**:
   - Steuerung von Geräten wie Infusionspumpen oder Patientenüberwachungssystemen.

d) **Land- und Baumaschinen**:
   - Steuerung von Hydrauliksystemen, GPS-Modulen und anderen Komponenten.

e) **Luft- und Raumfahrt**:
   - Integration von Subsystemen mit Echtzeitanforderungen.

Fazit

Der CAN-Bus ist ein bewährter Standard für robuste und effiziente Kommunikation in eingebetteten Systemen. Dank seiner Echtzeitfähigkeit, Priorisierung und Fehlertoleranz ist er ideal für sicherheitskritische und zeitkritische Anwendungen. Erweiterungen wie **CAN FD** machen ihn zukunftsfähig für anspruchsvollere Anwendungen mit höherem Datenaufkommen.

10.3.3.5 CANopen

Ist die Weiterentwicklung des CAN-Busses. Überwiegend in Europa verbreitet, ist das Schicht-7 Kommunikationsprotokoll CANopen in der Automatisierungstechnik zu finden. Es wurde von überwiegend deutschen Firmen unter der Leitung von Bosch erarbeitet und ist als europäische Norm EN50325-4 standardisiert.
Das CANopen Protokoll nutzt als Übertragungsmedium den CAN-Bus (Schichten 1&2). Die Anwendungsschicht 7 (Application Layer 7) regelt unter anderem das zeitliche Verhalten auf dem Bus, die Verwendung der Identifier und das Netzwerkmanagement. Dies ermöglicht eine reibungslose Kommunikation von Geräten verschiedener Hersteller.

Grundsätzlich sind alle Geräte gleichberechtigt und jedes kann Daten senden und empfangen. Somit ist der Bus bei Ausfall eines Gerätes noch voll einsatzfähig. Jedes Gerät, welches als Steuergerät agiert, wird in dem CAN-Bus Knoten genannt und hat eine eigene Knotenadresse (Node-ID), unter der es verfügbar ist.

Grundsätzlich unterscheidet CANopen zwischen Echtzeitdaten, die höher priorisiert über den Bus verschickt werden und Parameterdaten. Parameterdaten sind niedriger priorisiert und dienen meist der Initialisierung und Parametrierung von Knoten.

Typische Anwendungsbereiche

a) **Industrielle Automatisierung**:
   - Steuerung und Kommunikation zwischen Maschinen (z. B. SPS, Sensoren, Aktoren).

b) **Medizintechnik**:
   - Echtzeitsteuerung von medizinischen Geräten.

c) **Fahrzeugtechnik**:
   - Kommunikation in Nutzfahrzeugen oder mobilen Arbeitsmaschinen.

d) **Energie- und Umwelttechnik**:
   - Steuerung in Windkraftanlagen, Solaranlagen und ähnlichen Systemen.

e) **Aufzüge und Rolltreppen**:
   - Dezentrale Steuerungskomponenten.

Vorteile von CANopen

- **Robustheit**: Hohe Zuverlässigkeit und Störfestigkeit durch CAN-Bus.
- **Standardisierung**: Einheitliche Profile erleichtern die Interoperabilität von Geräten verschiedener Hersteller.
- **Echtzeitfähigkeit**: Schnelle und deterministische Kommunikation.
- **Skalierbarkeit**: Kann in kleinen und großen Netzwerken eingesetzt werden.
- **Kosteneffizienz**: Geringe Kosten für Implementierung und Geräte.

Nachteile von CANopen

- **Begrenzte Datenrate**: CAN-Bus ist auf 1 Mbit/s limitiert, was für einige moderne Anwendungen zu langsam sein kann.
- **Komplexität**: Die Einarbeitung in die Protokollstruktur und die Konfiguration kann zeitaufwändig sein.
- **Kabellänge**: Die maximale Buslänge ist abhängig von der Baudrate (z. B. 40 m bei 1 Mbit/s, 1.000 m bei 50 kbit/s).

Fazit

CANopen ist ein vielseitiges, standardisiertes Protokoll, das auf dem robusten CAN-Bus basiert. Es eignet sich ideal für verteilte Steuerungssysteme in Echtzeitanwendungen, insbesondere in der Industrieautomatisierung und der Fahrzeugtechnik. Aufgrund seiner Flexibilität und Interoperabilität ist CANopen in vielen Bereichen eine bevorzugte Wahl.

10.3.3.6 Universal Serial Bus (USB)

USB (**Universal Serial Bus**) ist ein Industriestandard, der entwickelt wurde, um eine universelle Schnittstelle für die Verbindung und Kommunikation zwischen Computern und Peripheriegeräten bereitzustellen. USB wurde 1996 eingeführt und hat sich seitdem durch verschiedene Versionen und Typen weiterentwickelt, um steigende Anforderungen an Geschwindigkeit, Energieversorgung und Vielseitigkeit zu erfüllen.

Hauptmerkmale von USB

a) **Universelle Schnittstelle**:
   - USB ermöglicht eine standardisierte Verbindung für eine Vielzahl von Geräten, wie Tastaturen, Mäuse, Drucker, Speichergeräte, Kameras und mehr.

b) **Plug-and-Play**:
   - Geräte werden automatisch erkannt und eingerichtet, sobald sie angeschlossen sind.
   - Treiberinstallation erfolgt in der Regel automatisch oder ist bereits im Betriebssystem integriert.

c) **Hot-Swapping**:
   - USB-Geräte können während des Betriebs ein- und ausgesteckt werden, ohne das System neu starten zu müssen.

d) **Stromversorgung**:
   - USB liefert Strom an angeschlossene Geräte (z. B. Smartphones, externe Festplatten).

- Neuere Standards (z. B. USB-C) bieten höhere Stromstärken und unterstützen schnelles Laden.

USB-Versionen

1. **USB 1.0/1.1 (1996/1998)**:
   - Geschwindigkeit: 1,5 Mbit/s (Low Speed) und 12 Mbit/s (Full Speed).
   - Erste Version für einfache Peripheriegeräte wie Mäuse und Tastaturen.

2. **USB 2.0 (2000)**:
   - Geschwindigkeit: Bis zu 480 Mbit/s (High Speed).
   - Einführung von **Bus-Powered Hubs**, wodurch mehrere Geräte an einem Port betrieben werden können.

3. **USB 3.0/3.1/3.2 (2008/2013/2017)**:
   - USB 3.0 (SuperSpeed): 5 Gbit/s.
   - USB 3.1 (SuperSpeed+): Bis zu 10 Gbit/s.
   - USB 3.2: Bis zu 20 Gbit/s mit Multi-Lane-Technologie.
   - Verbesserte Energieeffizienz und Rückwärtskompatibilität mit USB 2.0.

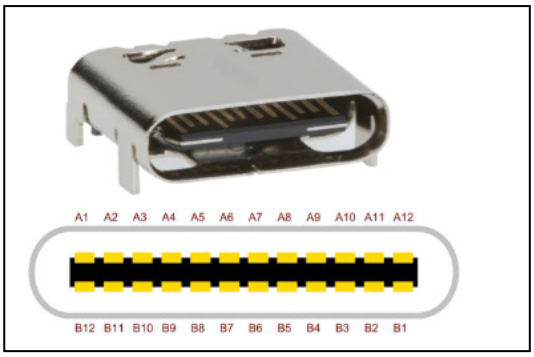
4. **USB4 (2019)**:
   - Geschwindigkeit: Bis zu 40 Gbit/s.
   - Basierend auf Thunderbolt 3-Technologie.
   - Unterstützung von Videoausgabe (z. B. DisplayPort) und Datenübertragung über denselben Anschluss.
   -

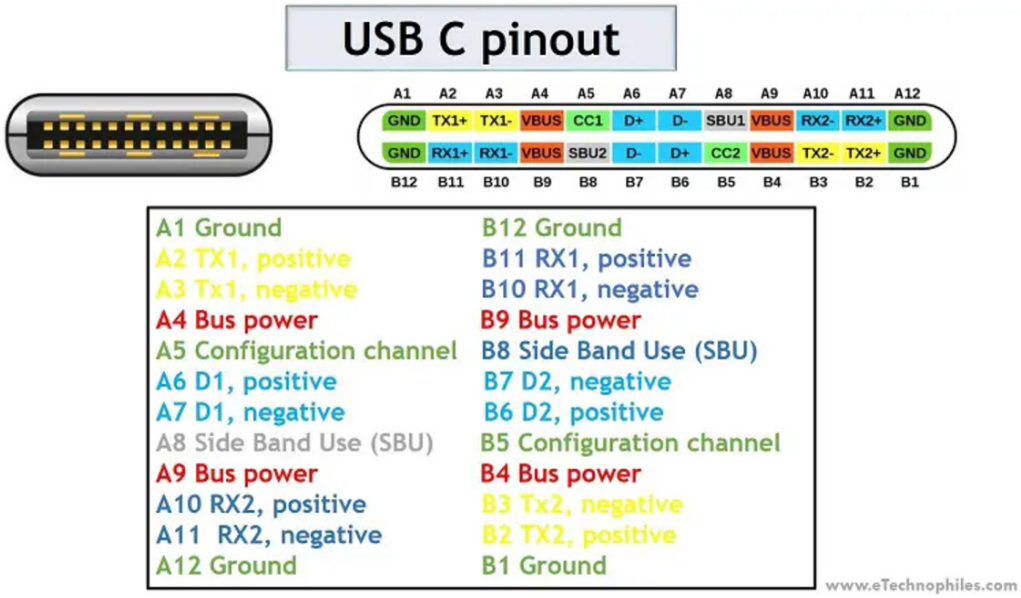
USB-Steckertypen

1. **USB-A**:
   - Klassischer rechteckiger Stecker, häufig in Computern und älteren Geräten.
   - Unterstützt USB 1.0 bis USB 3.2.

2. **USB-B**:
   - Quadratischer Stecker, häufig bei Druckern und Scannern verwendet.
   - Varianten: Mini-B, Micro-B für kleinere Geräte.

3. **USB-C**:
   - Neuer, universeller Stecker.
   - Wendbares Design (kein "falsch herum" Einstecken).
   - Unterstützt USB 3.x, USB4 und Thunderbolt.
   - Kann Daten, Strom und Videosignale über ein einziges Kabel übertragen.





Was sind die 3 Drähte in einem USB-C-Kabel?

Die drei Standarddrähte, aus denen ein USB-C-Kabel besteht, sind:

1. VBUS (Voltage Bus): Dieses Kabel führt die Stromversorgung.
2. D+ und D- (Daten positiv und Daten negativ): Diese Drähte werden für die Datenübertragung verwendet.
3. GND (Masse): Dieser Draht dient als Referenzspannung und vervollständigt den Stromkreis.

Verwendet USB-C alle 24 Pins?

Nein, USB-C verwendet nicht alle 24 Pins gleichzeitig. Die Anzahl der verwendeten Pins hängt von den verwendeten Funktionen und Protokollen ab, z. B. Datenübertragung, Stromversorgung, Videoausgabe und Audioausgabe. Unterschiedliche Funktionen können unterschiedliche Pin-Konfigurationen innerhalb des USB-C-Anschlusses erfordern.

4. **Micro-USB**:
   - Kleiner Stecker für mobile Geräte wie Smartphones und Tablets (ältere Generationen).
   - Varianten: Micro-A, Micro-B.

5. **Mini-USB**:
   - Veraltet, früher in Kameras und MP3-Playern verwendet.

USB-Stromversorgung

1. **Standardleistung**:
   - USB 2.0: 5 V, bis zu 500 mA (2,5 W).
   - USB 3.x: 5 V, bis zu 900 mA (4,5 W).

2. **Power Delivery (USB-PD)**:
   - Dynamische Anpassung von Spannung und Stromstärke (bis zu 20 V und 5 A, also 100 W).
   - Ermöglicht schnelles Laden und die Stromversorgung größerer Geräte wie Laptops.

Anwendungen von USB

1. **Datenübertragung**:
   - Verbinden von Peripheriegeräten mit Computern.
   - Übertragen von Dateien zwischen Geräten.

2. **Stromversorgung**:
   - Laden von Smartphones, Tablets, Laptops und anderen Geräten.

3. **Video- und Audioübertragung**:
   - USB-C unterstützt die Übertragung von Videosignalen (z. B. über DisplayPort oder HDMI-Adapter).
   - USB-Audiogeräte wie Mikrofone und Kopfhörer.

4. **Erweiterungen und Adapter**:
   - USB-Hubs zur Erweiterung der Ports.
   - Adapter für Ethernet, HDMI, VGA und andere Schnittstellen.

Vorteile von USB

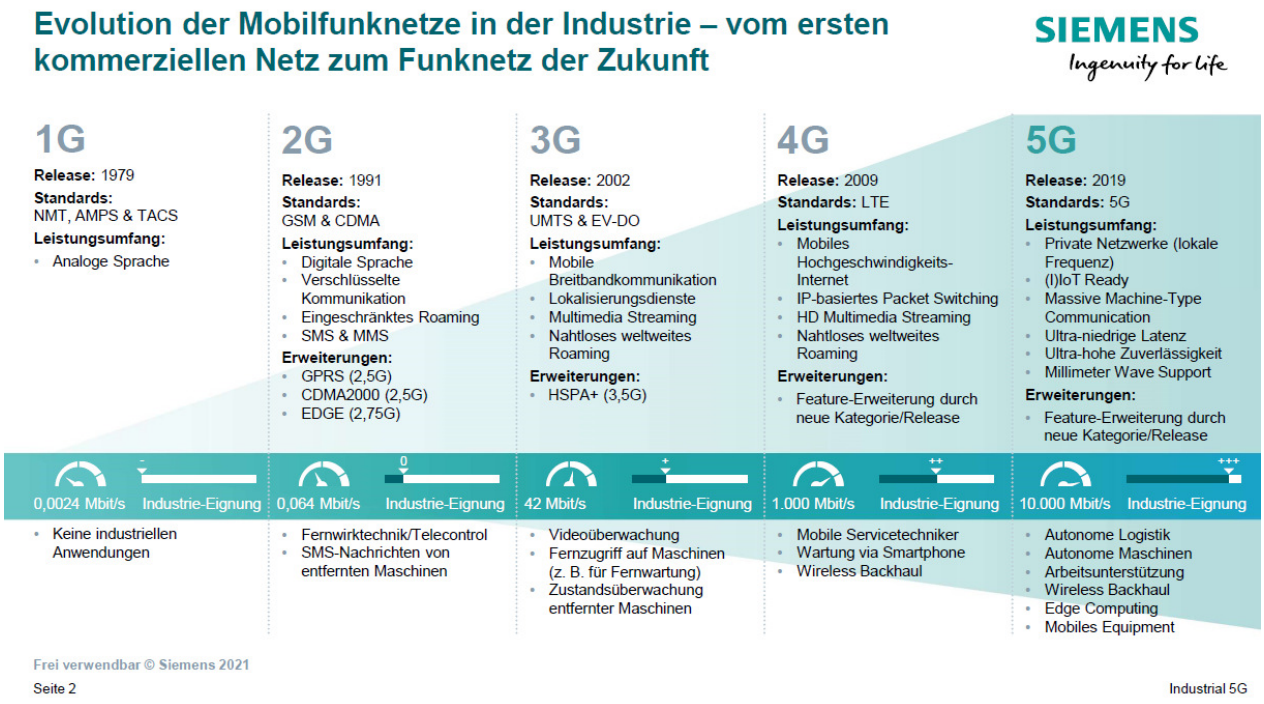
- **Universelle Kompatibilität**: Unterstützung einer Vielzahl von Geräten.
- **Einfachheit**: Intuitive Plug-and-Play-Funktionalität.
- **Erweiterbarkeit**: Verwendung von Hubs, um mehrere Geräte anzuschließen.
- **Flexibilität**: Daten, Strom und Video können über denselben Anschluss übertragen werden.

Nachteile von USB

- **Begrenzte Kabellänge**: Standardmäßig bis zu 5 Meter (für USB 2.0).
- **Kompatibilitätsprobleme**: Unterschiede in Steckertypen und Versionen können Adapter erfordern.
- **Geschwindigkeit**: Für bestimmte Anwendungen, wie Hochgeschwindigkeitsnetzwerke, ist USB langsamer als spezialisierte Protokolle wie Thunderbolt oder Ethernet.

10.3.4 Der 5G-Mobilfunkstandard, Industrial 5G

10.3.4.1 Entwicklung der Mobilfunknetze



Der 5G-Mobilfunkstandard gewinnt seit 2019 an Verbreitung. Er ist nicht nur für die Privathaushalte (öffentlich) interessant, sondern auch die Industrie (privat) sieht hier ein zunehmendes, technisches Potenzial. Industrial 5G ist der Kommunikations-standard, der für die Prozess- und Fertigungsindustrie von großer Bedeutung ist.

Die aktuelle Release des 5G Mobilfunkstandards ist die 15. Die Release 15 berücksichtigt leider noch keine Funktionalitäten, die für die Prozessindustrie und deren Sensorik und Aktuatorik (Prozessmesstechnik) von Nutzen sein könnte. Diese Funktionalitäten sind für die Release 16 angedacht. Aus diesem Grund gibt es noch keine fertigen Applikationen für die Prozessmesstechnik.

10.3.4.2 Öffentliche 5G-Netze

Öffentliche 5G-Netze werden von Mobilfunkprovidern betrieben und stellen 5G-Konnektivität für eine Region zur Verfügung – wie die bereits heute bestehenden Mobilfunknetze.
Im Vordergrund für die Betreiber typischer Mobilfunknetze steht dabei eine hohe Bandbreite für möglichst viele Anwender, damit diese z. B. von unterwegs Filme in 4K streamen können.

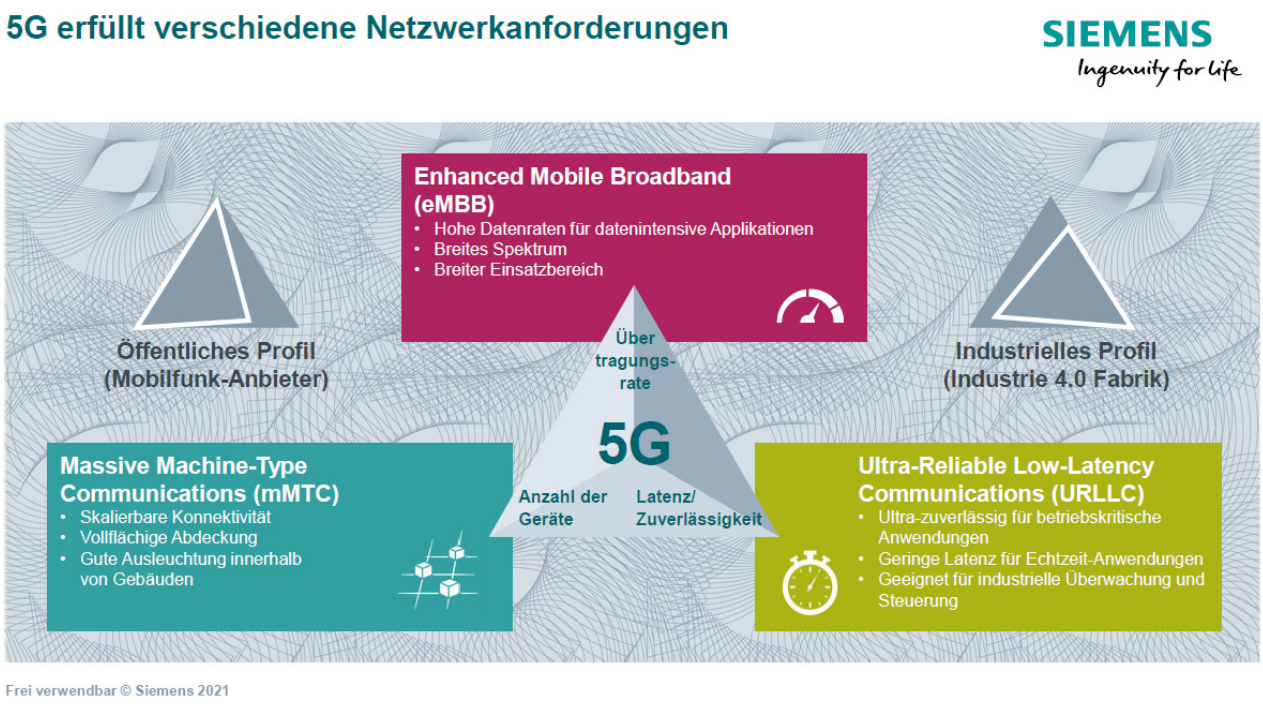
10.3.4.3 Private 5G-Netze

Ein privates/lokales 5G-Netz wird vom Nutzer selbst betrieben, z. B. von einem Industrieunternehmen, und daher für seine spezifischen Bedürfnisse ausgelegt – so wie beim heutigen WLAN.
Für industrielle Netzwerke liegt der Fokus meist auf niedriger Latenz (Zeitverzögerung) und hoher Verfügbarkeit. Das private 5G-Netz kann entsprechend dieser Anforderungen konfiguriert werden. Zudem bieten private 5G-Netze Datensicherheit: In einem selbst verwalteten Netzwerk bleiben die Daten im Unternehmen und der Besitzer kann entscheiden, welche Daten wo verarbeitet werden.

Für die Industrie besteht somit die wesentliche Besonderheit der 5G-Technologie, private Netze aufzubauen und somit die Eigenschaften und Zuverlässigkeit des 5G-Netzwerks selbst steuern zu können. Ein privates Netzwerk ist dabei in Abgrenzung zu einem öffentlichen Netzwerk zu sehen. Deshalb werden sie auch nicht-öffentliche Netze (non-public networks NPN) oder lokale Netzwerke genannt.

Bei einem privaten 5G-Netz werden an eine 5G-Basisstation mehrere Antennen angeschlossen, um z. B. eine Fabrikhalle oder ein privates Gelände auszuleuchten. Damit liegt eine gänzlich eigenständige Kommunikationsinfrastruktur vor. Die betroffenen Wireless-Geräte verbinden sich dann mit dem selbst aufgebauten Funknetz, statt mit dem öffentlichen Mobilfunknetz.

10.3.4.4 5G bietet drei große Vorteilsszenarien:



1. Eine 10-20-mal höhere Geschwindigkeit als bei 4G – das Szenario heißt enhanced Mobile Broadband (eMBB)
2. Höchste Zuverlässigkeit bei niedrigster garantierter Latenz von unter 10 ms mit Ultra-Reliable Low-Latency Communication (URRLC)
3. Anschluss von bis zu 1 Mio. Geräte pro Quadratkilometer dank Massive Machine-Type Communication (mMTC)

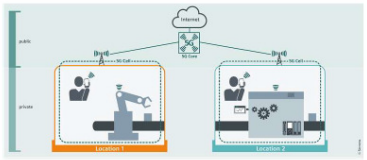
Drahtlose Vernetzung innerhalb der Fabrikautomation

10.3.4.5 Was macht 5G zu Industrial 5G?

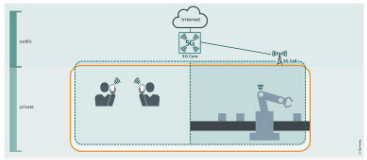
5G ist ein Mobilfunkstandard, der je nach Anforderung enorme Bandbreite im Gigabit-Bereich, Echtzeitfähigkeit oder hohe Teilnehmerzahlen bei extrem hoher Zuverlässigkeit und Sicherheit verspricht.
Im Gegensatz zu den vorherigen Mobilfunkgenerationen, wie zum Beispiel 3G und 4G, erfüllt 5G erstmals auch Industrieanforderungen, sodass eine intelligente Wireless-Kommunikation zwischen Maschinen und Anwendungen gewährleistet werden kann.
Mit Industrial 5G lassen sich beispielsweise auch private Netze realisieren, sodass alle Voraussetzungen für eine flexible und zukunftsfähige Netzwerkanbindung in mobilen oder hochflexiblen Einsätzen erfüllt werden können.

Industrial 5G kann unterschiedliche Infrastrukturen nutzen. Welche ist die richtige für Ihre Anwendung?

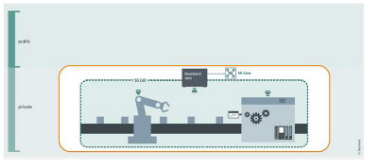
SIEMENS Ingenuity for life



Public
- Verwaltet vom Mobilfunknetzbetreiber
- Produktionsdaten verlassen das Betriebsgelände
- Großer Abdeckungsbereich
- Geeignet für Fernwartung und fernwirktechnische Anwendungen



Semi-public
- Verwaltet vom Mobilfunknetzbetreiber
- Produktionsdaten verlassen teilweise das Betriebsgelände
- Großer Abdeckungsbereich
- Hohe Bandbreite
- Geeignet für Fernwartung und -überwachung

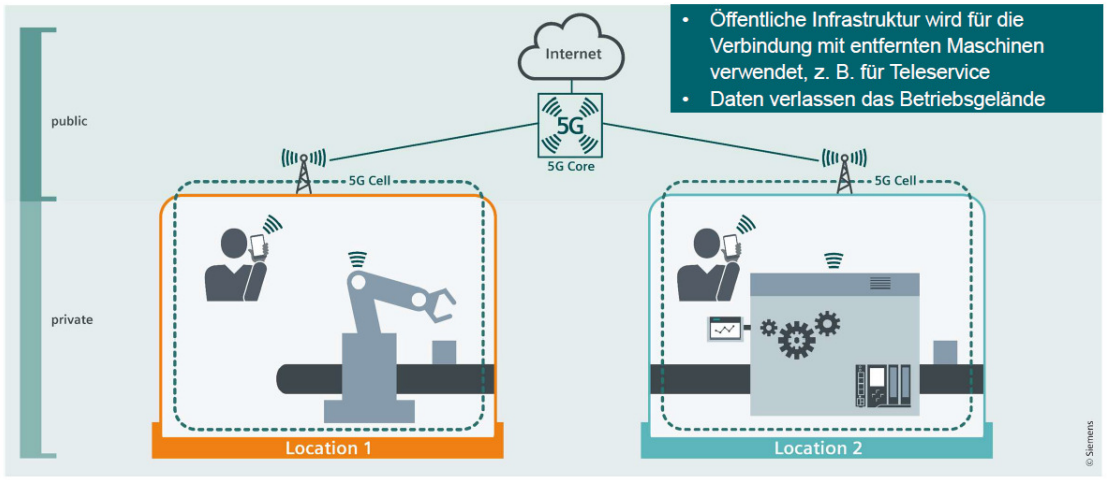


Private
- Verwaltet vom Endnutzer (Produktionsanlage)
- Optimaler Datenschutz, Daten bleiben innerhalb des Betriebsgeländes
- Höchste Zuverlässigkeit
- Bestes Echtzeitverhalten
- Keine Störung durch andere Geräte/Netze

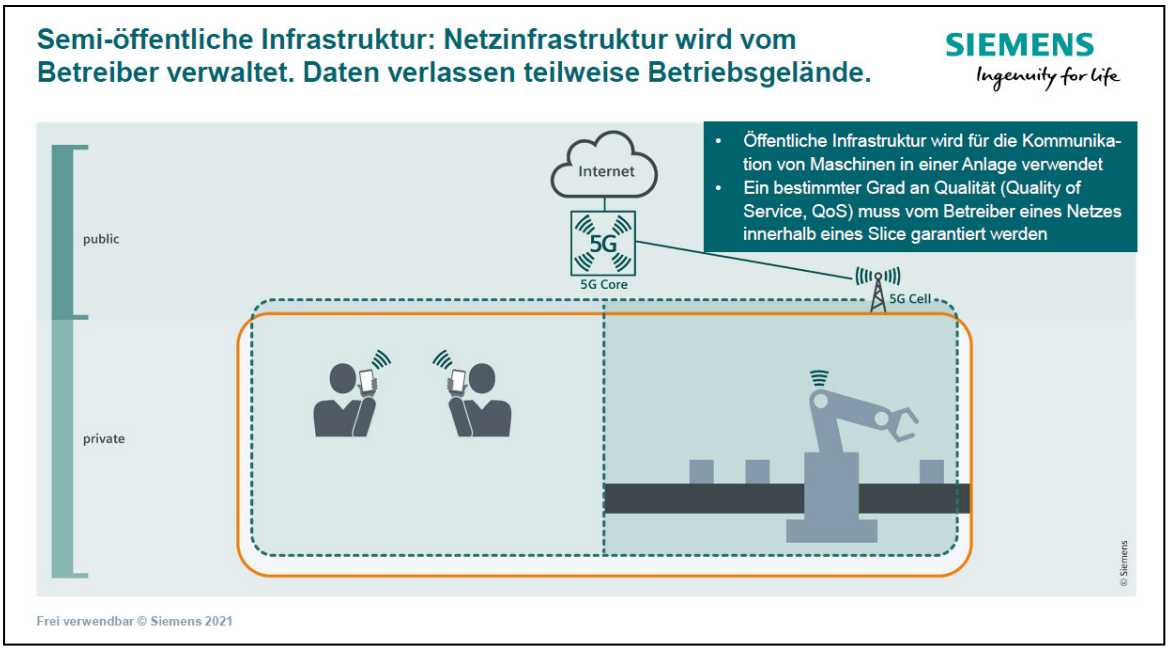
Frei verwendbar © Siemens 2021

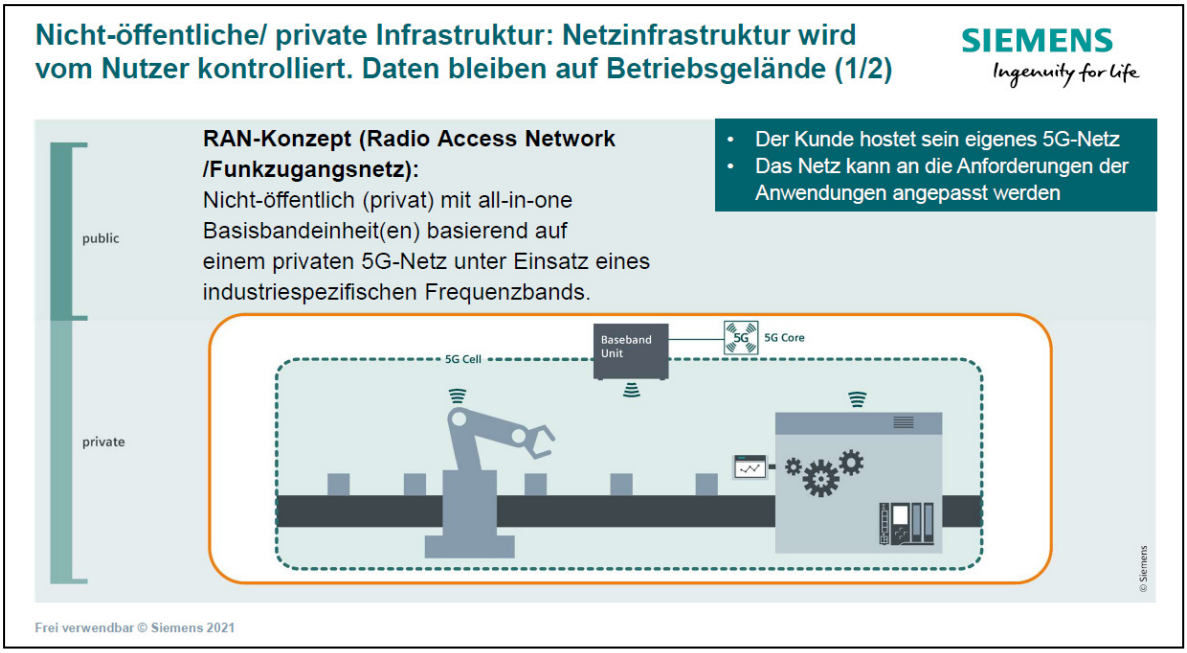
Öffentliche Infrastruktur: Netzinfrastruktur wird vom Betreiber verwaltet. Daten verlassen Betriebsgelände.

SIEMENS Ingenuity for life



Frei verwendbar © Siemens 2021


Semi-öffentliche Infrastruktur: Netzinfrastruktur wird vom Betreiber verwaltet. Daten verlassen teilweise Betriebsgelände.
SIEMENS
Ingenuity for life
public
private
Internet
5G
5G Core
5G Cell
• Öffentliche Infrastruktur wird für die Kommunikation von Maschinen in einer Anlage verwendet
• Ein bestimmter Grad an Qualität (Quality of Service, QoS) muss vom Betreiber eines Netzes innerhalb eines Slice garantiert werden
© Siemens
Frei verwendbar © Siemens 2021


Nicht-öffentliche/ private Infrastruktur: Netzinfrastruktur wird vom Nutzer kontrolliert. Daten bleiben auf Betriebsgelände (1/2)
SIEMENS
Ingenuity for life
public
private
RAN-Konzept (Radio Access Network /Funkzugangsnetz):
Nicht-öffentlich (privat) mit all-in-one Basisbandeinheit(en) basierend auf einem privaten 5G-Netz unter Einsatz eines industriespezifischen Frequenzbands.
• Der Kunde hostet sein eigenes 5G-Netz
• Das Netz kann an die Anforderungen der Anwendungen angepasst werden
5G Cell
Baseband Unit
5G
5G Core
© Siemens
Frei verwendbar © Siemens 2021

Nicht-öffentliche/ private Infrastruktur: Netzinfrastruktur wird vom Nutzer kontrolliert. Daten bleiben auf Betriebsgelände (2/2)

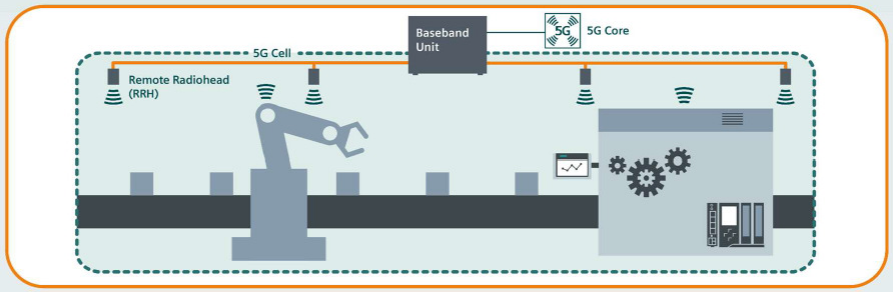
SIEMENS
Ingenuity for life

public

private

RAN-Konzept (Radio Access Network /Funkzugangsnetz):
Nicht-öffentlich (privat) mit Basisbandeinheit(en) mit abgesetzten Radioköpfen basierend auf einem privaten 5G-Netz unter Einsatz eines industriespezifischen Frequenzbands.

- Der Kunde hostet sein eigenes 5G-Netz
- Das Netz kann an die Anforderungen der Anwendungen angepasst werden



© Siemens

Frei verwendbar © Siemens 2021

Gerade im Bereich Industrie 4.0 findet Industrial 5G seine Zuordnung. Durch sein hohes Maß an Flexibilität, Vielseitigkeit, Nutzbarkeit und Effizienz, wird 5G Industrie 4.0, intelligente Fabriken und das Industrial Internet of Things (IIoT) möglich machen.

Quelle: Siemens

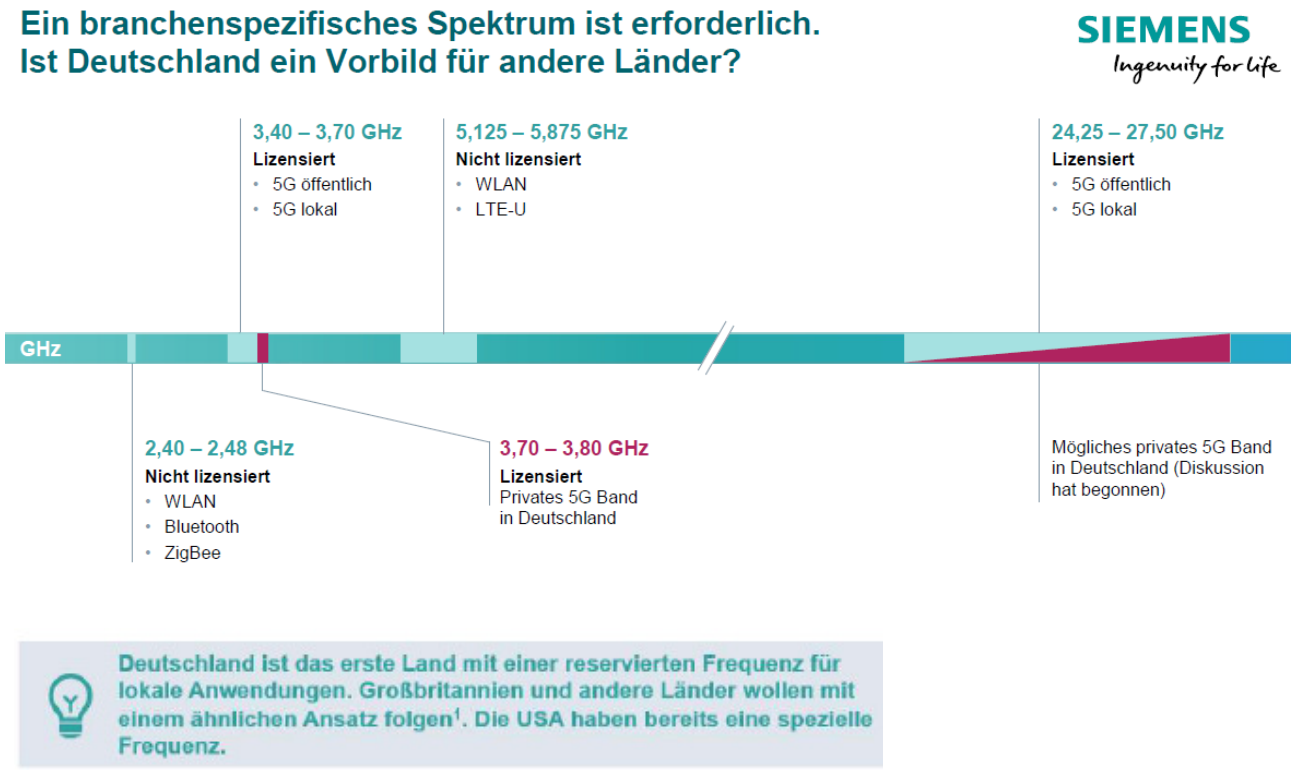
10.3.4.6 Zusammenfassend:

- Industrial 5G ist 5G-Kommunikation, die die Anforderungen industrieller Anwendungen erfüllt.
- Industrial 5G läuft auf Hardware, die für industrielle Umgebungen ausgelegt ist, die sich von verbraucherbasierten Anwendungen unterscheiden.
- Industrial 5G wird in einem lokalen privaten Netzwerk betrieben und unterstützt industrielle Protokolle (OPC UA, PROFINET, Safety etc.).
- Industrial 5G basiert auf Release 16 (oder neuer) des Mobilfunk-Standards*, der das URLLC-Szenario unterstützt.

*Der Standard wird von der 3GPP (3rd Generation Partnership Project) erarbeitet, der Standardisierungsorganisation für Mobilfunk, www.3gpp.org

Je nach Anwendung müssen nicht alle vier dieser Aspekte erfüllt werden. So sind beispielsweise für den Fernzugriff über Mobilfunk Release 16 oder ein lokales privates Netzwerk nicht zwingend erforderlich. Für den Betrieb eines mobilen Roboters müssen hingegen alle vier Aspekte erfüllt sein.

Für den Einsatz privater Netze muss ein Spektrum zur Verfügung gestellt werden. In Deutschland hat die Bundesregierung 100 MHz Bandbreite (von 3,7 GHz bis 3,8 GHz) für die lokale Nutzung z. B. in Industrieunternehmen reserviert. Das gibt Unternehmen in Deutschland die Möglichkeit, Spektrum für einen jährlichen Beitrag zu mieten und innerhalb ihrer eigenen Betriebsstätten exklusiv zu nutzen. Die Beantragung erfolgt bei der Bundesnetzagentur (BNetzA).



10.3.4.7 Welche industriellen Anwendungen werden von 5G profitieren?

In vielen Ländern ist der industrielle Automatisierungsgrad bereits hoch. Doch die Industrieunternehmen müssen ihre Prozesse ständig weiter optimieren und innovativ vorantreiben, um wettbewerbsfähig zu bleiben und schnell auf veränderte Marktbedarfe reagieren zu können.
Prinzipiell gibt es unendlich viele denkbare Anwendungen für Industrial 5G. Dank der hohen Skalierbarkeit und Anpassungsfähigkeit des Systems können die unterschiedlichsten Applikationen mit den unterschiedlichsten Anforderungen eingebunden werden

Prozessautomation

- Vorbeugende Instandhaltung,
- Verfolgung von Objekten,
- Überwachung des Anlagenzustands,
- Überwachung von Produkten,
- Augmented Reality,
- Anlagenvermögensverwaltung,
- Remote Service,
- Feuer- und Gasalarme

Infrastruktur

- Überwachung in Wasser-/Abwassernetzwerken,
- Überwachung und Steuerung in verteilten Verkehrsnetzen,
- Verkehrssignalisierung,
- Videoüberwachung (öffentliche Sicherheit)

Energie

- Überwachung und Schaltung in verteilten Energienetzen

Fabrikautomation

- Remote Service,
- Elektrohängebahn-Förderer,
- Steuerung und Überwachung von autonomen Systemen (inkl. Shuttles und AGVs),
- Konnektivität für mobile Endgeräte zur Mensch-Maschine-Interaktion,
- Standardisierte Konnektivität für Sensorik,
- Anbindung von Maschinen und Anlagen in überlagerte Netze

Autonome Logistik

Industrial 5G bietet eine zuverlässige Datenübertragung mit geringer Latenz, beispielsweise für den Einsatz fahrerloser Transortsysteme (FTS), sogenannter AGVs (Automated Guided Vehicles), in der Intralogistik.

Assisted Work

Für Augmented-Reality-Applikationen im industriellen Umfeld, z. B. für die Unterstützung von Servicetechnikern mit audio-visuellen Zusatzinformationen bei Wartung und Services, stellt Industrial 5G genügend Bandbreite zur schnellen Übertragung großer Datenmengen bereit.

Mobiles Equipment

Für die steigende Zahl kommunikationsfähiger Anlagen-Komponenten und mobiler Geräte wie Industrial Tablets, Field-PGs, RFID-Scanner etc. stellt Industrial 5G die notwendige Konnektivität zur Verfügung.

Industrial Edge

Beim *Edge* (engl. für Rand oder Kante) *Computing* werden Computer-Anwendungen, Daten und Dienste von zentralen Knoten (Rechenzentren) weg zu den äußeren Rändern eines Netzwerks verlagert. Anders ausgedrückt geht es darum, Datenströme ressourcenschonend zumindest teilweise an Ort und Stelle (z. B. direkt am Endgerät oder innerhalb einer Fabrik) zu verarbeiten, aber trotzdem von den Vorteilen der Cloud zu profitieren.
Industrial 5G sorgt für die zuverlässige Konnektivität und hohe Bandbreite, die für den reibungslosen Datenaustausch zwischen Edge-Geräten und der Cloud erforderlich sind.

10.3.4.8 Fazit

Erst mit der Release 16 wird es möglich sein, flächendeckend Industrial 5G-Netze (private 5G-Netze) so zu betreiben, dass auch die Prozessmesstechnik ziel- und ergebnisorientiert, eingebunden werden kann. Zur Zeit gibt es keine 5G-fähigen Messumformer oder Stellungsregler am Markt, auch fehlt es noch an der notwendigen industrietauglichen Netzwerkinfrastruktur, wie zum Beispiel Ex.-geschützte Router, Gateways etc.. Die gängigen Methoden der Vernetzung sind nach wie vor, die Profibus-DP/PA oder Foundation Fielbus-Anbindungen oder die Kommunikation über Wireless HART.

Release 16
Hardware-Verfügbarkeit
Lokale/ Industrie-Frequenz
Enhanced Mobile Broadband (eMBB)
Öffentliches Profil (Mobilfunk-Anbieter)
Industrielles Profil (Industrie 4.0 Fabrik)
5G
Massive Machine-Type Communications (mMTC)
Ultra-Reliable Low-Latency Communications (URLLC)
+ Support industrieller Protokolle
Industrial 5G!