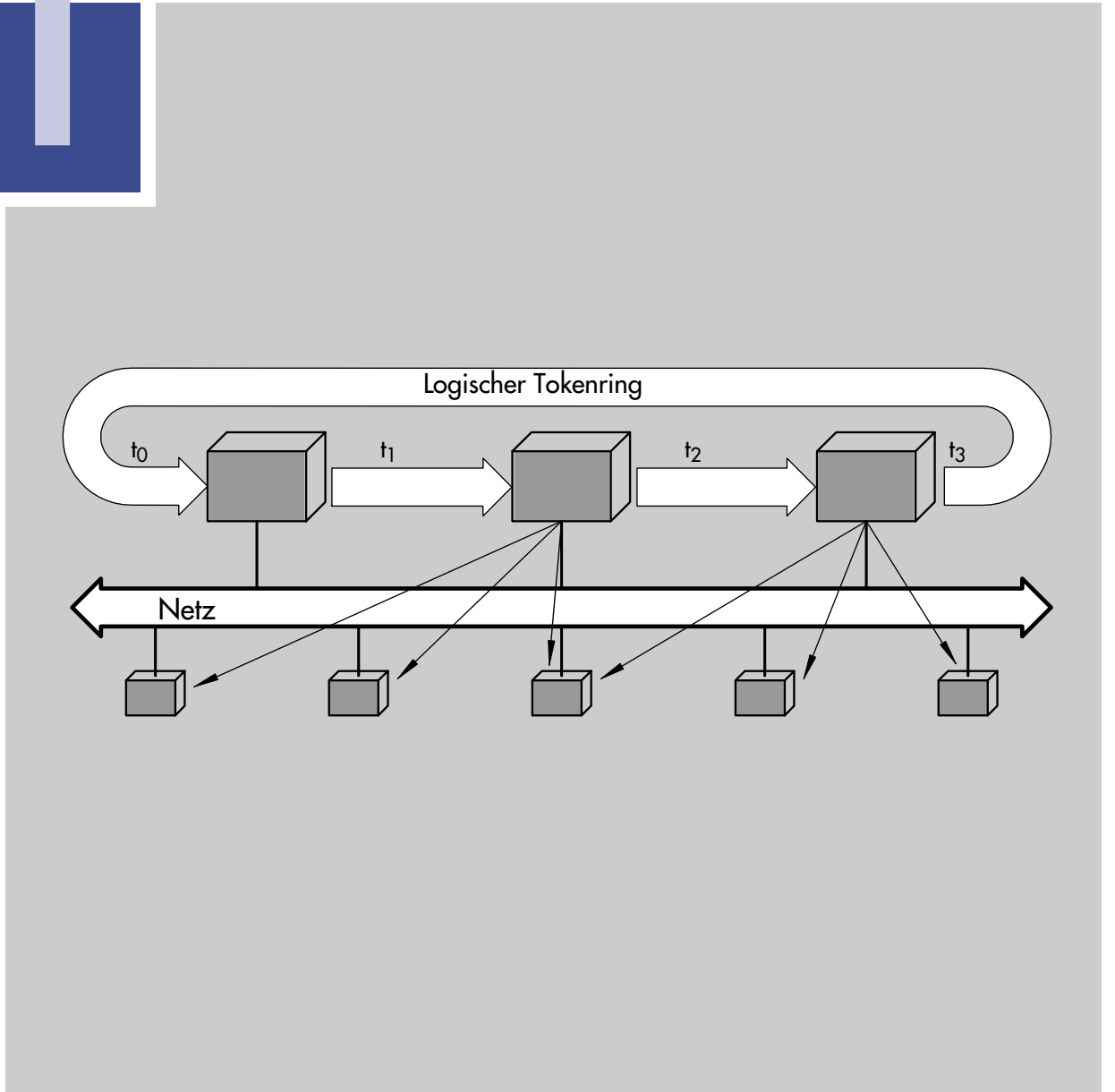
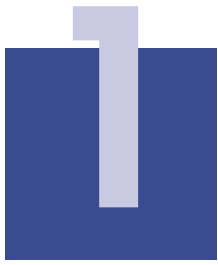


Kommunikationsnetze





Technische Informationen

Teil 1: Grundlagen

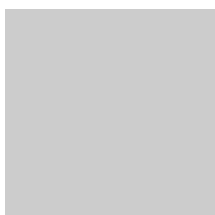
Teil 2: Regler ohne Hilfsenergie

Teil 3: Stellventile

Teil 4: Kommunikation

Teil 5: Gebäudeautomation

Teil 6: Prozessautomation



Bitte richten Sie Rückfragen und Anregungen an:

SAMSON AG
V74 / Schulung
Weismüllerstraße 3
60314 Frankfurt

Telefon (069) 4 00 94 67
Telefax (069) 4 00 97 16
E-Mail: schulung@samson.de
Internet: <http://www.samson.de>

Kommunikationsnetze

Einteilung von Kommunikationsnetzen	5
Netztopologien	9
Zugriffssteuerung	12
Echtzeitfähigkeit	12
Zufälliger Buszugriff	13
Kontrollierter Buszugriff	14
Protokolle und Telegramme	17
Adressierung und Kommunikationsdienste	19
Kommunikation offener Systeme: ISO/OSI-Schichtenmodell	20
Auswahlkriterien für Kommunikationssysteme	25
Begriffe der Kommunikation	27
Anhang A1: Ergänzende Literatur	30

Kommunikationsnetze

Kommunikationsnetze auf Basis serieller Datenübertragung bilden die Grundlage für moderne Automationseinrichtungen. Ob bei der Büroautomation oder der Automatisierung von Produktions- und Fertigungsprozessen, immer besteht die Aufgabe, innerhalb eines Systems zwischen verschiedenen Geräten bzw. Teilnehmern Daten auszutauschen. Hier bieten Kommunikationsnetze vielzählige Vorteile gegenüber Systemen, in denen jeweils nur zwei Teilnehmer über eine Punkt-zu-Punkt-Verdrahtung miteinander in Verbindung stehen.

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) (Bild 1). Während beim LAN der schnelle, leistungsfähige

abgestimmte Leistungsmerkmale ermöglichen optimale Lösungen

Aktionsradius unterteilt LANs und WANs

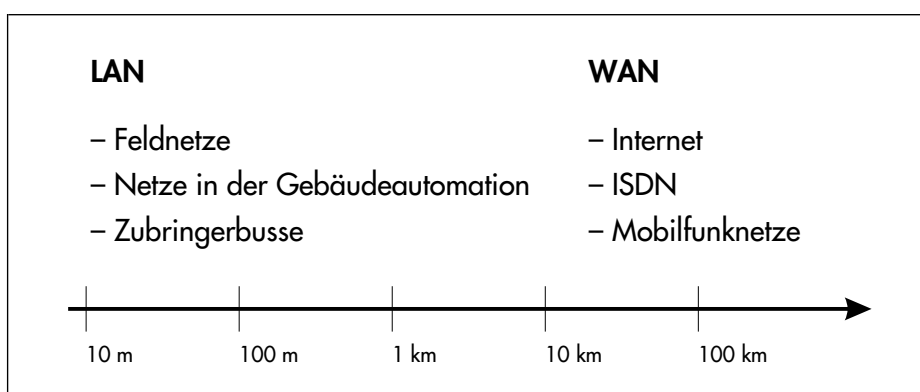


Bild 1: Aktionsradius von Kommunikationsnetzen

**Zugriff auf LAN-Daten
über das Internet**

Datenaustausch auf einem räumlich begrenzten Gebiet im Vordergrund steht, muss ein WAN große Datenmengen auf unterschiedlichsten Übertragungsmedien und über mehrere tausend Kilometer transportieren können.

Das Internet ist ein Beispiel für ein Weitverkehrsnetz. Dieses Netz ist ein weltweiter Verbund von ganz unterschiedlichen Kommunikationsnetzen, die wiederum aus vielen Subnetzen bestehen können. Durch die zunehmende Anbindung von LANs an das Internet, stehen heute an beliebigen Orten Daten bereit, die früher nur lokal verfügbar waren. Neuste Entwicklungen machen es beispielsweise möglich, dass man Anlagen mit Feldbuskommunikation über marktübliche Internet Browser fernüberwachen und bedienen kann.

Die Anforderungen an Kommunikationsnetze sind nicht nur hinsichtlich der zu überbrückenden Distanzen verschieden. Abhängig vom Anwendungsgebiet unterscheiden sich

- ▶ die erforderliche Datenübertragungsrate,
- ▶ die Anzahl der Datenbytes pro Kommunikationszyklus,
- ▶ die Erneuerungsrate der Daten,
- ▶ die Anforderungen bezüglich der Echtzeitfähigkeit, u.v.m.

**Kommunikation auf
unterschiedlichen
Hierachiestufen**

Für eine praxisnahe Einteilung ordnet man die Kommunikationsnetze unterschiedlichen Hierarchie- bzw. Anwendungsebenen zu (Bild 2). 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.

**Anforderungen auf
Leitebene**

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.:

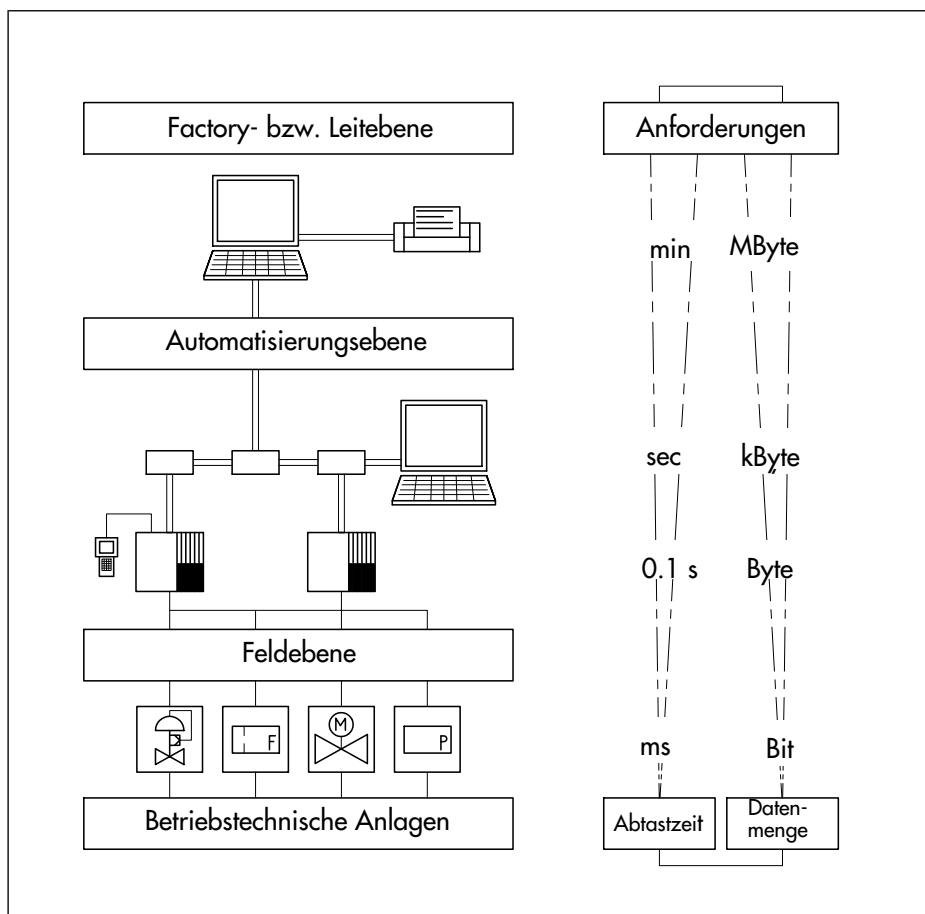


Bild 2: Hierarchieebenen in der Kommunikation

- ▶ 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),

**Anforderungen auf
Automatisierungs-
ebene**

- ▶ Modbus,
 - ▶ sowie je nach Anwendung PROFIBUS-FMS und -DP
- gezählt werden können.

**Anforderungen auf
Feldebene**

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. .

**trotz vieler Unterschiede
existiert noch mehr
Gemeinsames**

In vielen Punkten ähneln sich Strukturen sowie die Soft- und Hardware-Komponenten einzelner Kommunikationssysteme. Dies wird verständlich, wenn man bedenkt, dass die Hauptaufgabe – die störungsfreie Kommunikation aller angeschlossenen Teilnehmer – immer dieselbe ist. Zudem müssen die Kommunikationssysteme innerhalb ihrer Anwendungsfeldes den selben Standards bzw. Normen gerecht werden. Die nachfolgenden Ausführungen gelten deshalb zumeist für mehrere, zum Teil sogar für alle der hier aufgelisteten Kommunikationsnetze.

Netztopologien

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 –

Realisierungsformen von Netzen

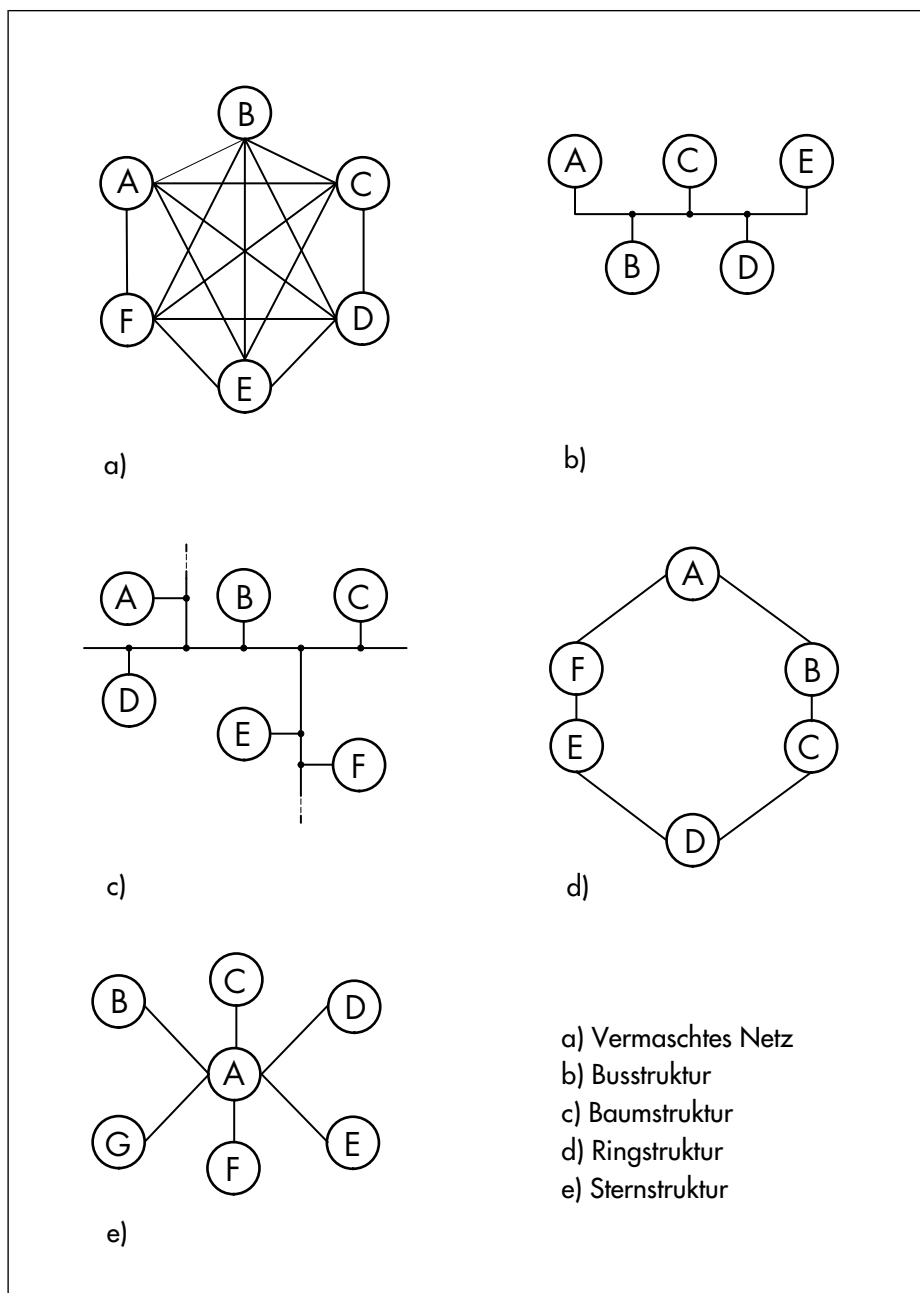


Bild 3: Netztopologien

der Geometrie – sein kann. Für die Verbindung von mehr als zwei Teilnehmern sind sehr verschiedene Strukturen üblich:

- vermaschte Struktur** Die aufwendigste Methode ist die vollständige Vermaschung aller Teilnehmer, bei der jeder mit jedem über eine separate Leitung kommuniziert (Bild 3a). Aufgrund der geringen Flexibilität bei möglichen Erweiterungen und wegen des sehr hohen Hardware-Aufwandes, wird diese Struktur in der Praxis jedoch kaum eingesetzt.
- Linie bzw. Bus** Sehr viel übersichtlicher und aufwandsärmer ist die Bus- oder Linienstruktur. Hier kommunizieren alle Teilnehmer über eine gemeinsame Leitung (Bild 3b). Die Anbindung der Teilnehmer erfolgt über kurze Stichleitungen, so dass jeder Teilnehmer nur eine Schnittstelle zum Bus benötigt. Da eine gesendete Nachricht von allen Teilnehmern 'gesehen' wird, lassen sich Gruppennachrichten (Broadcast oder Multicast) schnell und einfach versenden. Die Kontrolle über das gemeinsame Übertragungsmedium übernimmt eine spezielle Buszugriffssteuerung, die zumeist auch beim Ausfall einer Station die Funktionen des Busbetriebs weiterhin aufrechterhalten kann.
- Baumstruktur** Die Baumstruktur ist in vielen Punkten der Busstruktur ähnlich, nur dass zusätzlich an so genannten Knotenpunkten mehrere Buszweige zusammentreffen können (Bild 3c). Mit der Baumstruktur können leichter größere Flächen vernetzt werden. Wie auch bei der Busstruktur ist jedoch die maximale Leitungslänge und die Teilnehmeranzahl ohne zwischengeschaltete Verstärker (Repeater) begrenzt.
- Ringstruktur** Wird mit mehreren Zweipunktverbindungen ein physikalischer Ring aufgebaut, spricht man von einer Ringstruktur (Bild 3d). Eine zu übertragende Nachricht wird von einem Teilnehmer zum anderen weitergereicht. Da das Signal bei jeder Weitergabe verstärkt werden kann, lassen sich sehr große Entfernungen überbrücken. Nachteilig ist, dass die Übertragungsgeschwindigkeit von der Anzahl und der Verarbeitungsgeschwindigkeit der Kommunikationsteilnehmer abhängt. Ein Ausfall eines einzigen Teilnehmers führt – wenn kein redundanter Ring vorgesehen wurde – zum Netzausfall.
- Sternstruktur** Bei der Sternstruktur ist eine Zentralstation mittels Zweipunktverbindungen mit allen anderen Teilnehmern verbunden (Bild 3e). Diese Zentralstation kann entweder aktiv ausgeführt werden und z.B. als Master für die Netzsteuerung zuständig sein, oder – als so genannter Sternkoppler – lediglich die Verbindung zwischen dem aktuellen Sender und Empfänger herstellen.

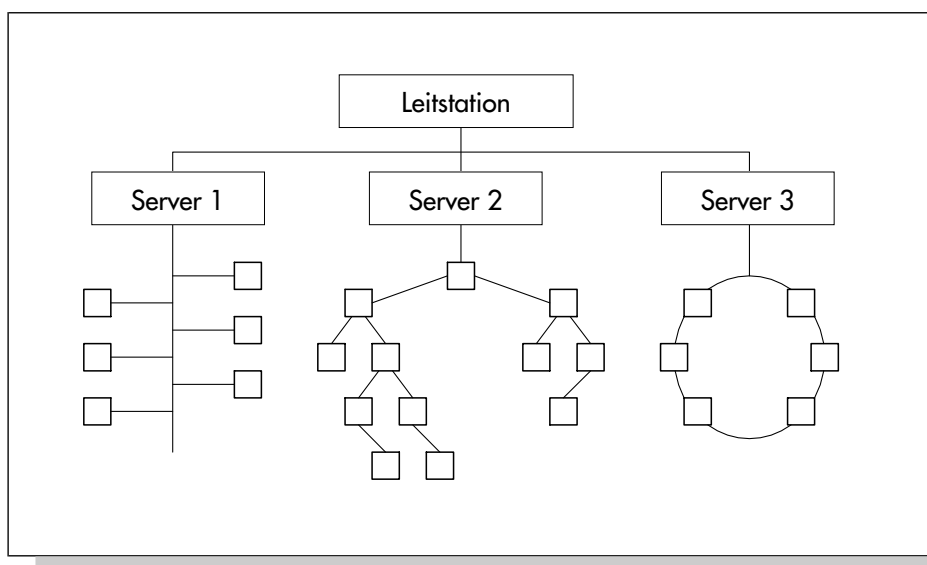


Bild 4: Komplexes Netz bestehend aus verschiedenen Teilnetzen

In beiden Fällen führt ein Defekt dieser Sternpunkt-Station zum Ausfall der gesamten Netzkommunikation.

Die genannten Topologien bilden die Grundstrukturen, auf denen fast alle seriellen Kommunikationsnetze basieren. Viele Netzspezifikationen lassen aber auch freie Topologien oder Mischformen der genannten Grundstrukturen zu. So ist es häufig möglich, Linien- und Baumstrukturen oder Baum- und Sternstrukturen miteinander zu mischen. Damit in jedem Fall die elektrischen Spezifikationen des Übertragungsmediums erfüllt werden, muss am Verbindungsknoten gegebenenfalls ein entsprechender Koppler, Verstärker oder Verteiler vorgesehen werden (Repeater, Hub o.ä.).

Komplexe Netzstrukturen bestehen häufig aus mehreren – zum Teil eigenständigen – Teilnetzen. Diese werden auch als 'Subnetz' bezeichnet. Jedes dieser Teilnetze kann mit unterschiedlicher Topologie und anderem Kommunikationsprotokoll arbeiten (Bild 4). Auf alle Fälle muss gewährleistet sein, dass jeder Teilnehmer jeden seiner Kommunikationspartner eindeutig identifizieren und direkt ansprechen kann. Zudem ist sicherzustellen, dass allen Kommunikationsteilnehmern der Zugriff auf das Übertragungsmedium möglich ist. Wie diese Netzzuteilung erfolgt, bestimmt die Protokollspezifikation durch die Festlegung des Zugriffsverfahrens.

**freie Topologien
ermöglichen flexible
Netzstrukturen**

**eigenständige Teilnetze
sind Bestandteile
komplexer Netze**

Zugriffssteuerung

aktive und passive Teilnehmer an einer Übertragungsleitung

‘Aktive’ Kommunikations Teilnehmer sind befähigt den Informationsaustausch einzuleiten, während ‘passive’ Teilnehmer erst nach Aufforderung von einem aktiven Teilnehmer an der Kommunikation teilnehmen. Sind mehrere aktive Teilnehmer an ein Netz angeschlossen, müssen deren Aktivitäten koordiniert werden, um Datenkollisionen zu vermeiden. Diese Aufgabe leistet die Netz-Zugriffssteuerung.

- Echtzeitfähigkeit

Bei vielen Automationsaufgaben muss sichergestellt sein, dass eine Meldung oder eine Bedienaktion innerhalb einer festgelegten Zeitspanne erfolgt oder gar in einem festen äquidistanten Zeitraster bearbeitet werden muss. Erfüllt ein Kommunikationssystem die zeitlichen Anforderungen einer solchen Anwendung, bezeichnet man es als echtzeitfähig.

Echtzeitfähigkeit durch deterministisches Netzzugriffsverfahren

Echtzeitfähigkeit setzt voraus, dass ein Kommunikationsteilnehmer innerhalb einer festgelegten Maximalzeit seine Datenübertragung starten kann. Eine solche Zeitgarantie lässt sich nur bei einer kontrollierten Vergabe des Zugriffsrechtes geben (Bild 5). Kommunikationssysteme, die mit kontrolliertem Netzzugriff arbeiten, nennt man deterministisch.

zufälliger Zugriff bei stochastischen Verfahren

Neben der kontrollierten Netzzuteilung bei den deterministischen Verfahren nutzt man vielfach auch stochastisch arbeitende Verfahren, bei denen der Zugriff auf das Netz zufällig erfolgt. Da bei diesen Systemen die Zeitdauer

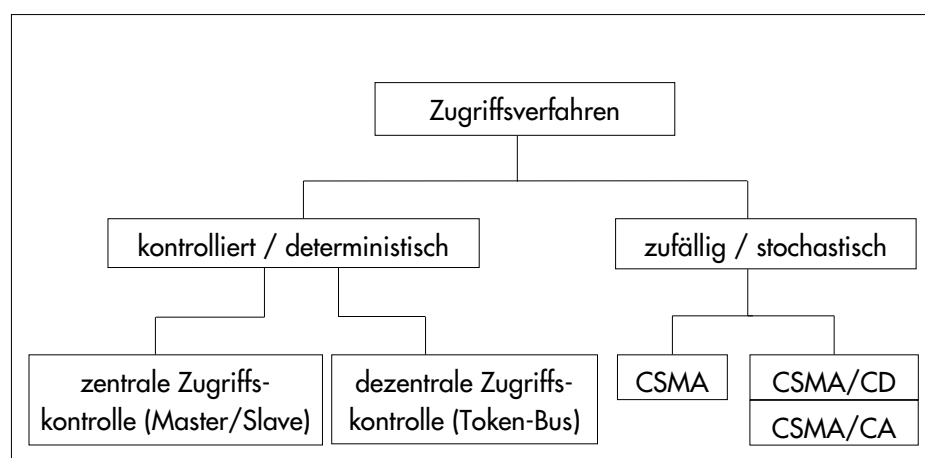


Bild 5: Klassifizierung der Netzzugriffsverfahren

für das Absetzen einer Nachricht ganz wesentlich von der Teilnehmerzahl abhängt, eignen sich solche Verfahren nicht – bzw. nur unter bestimmten Voraussetzungen – für Echtzeitanwendungen.

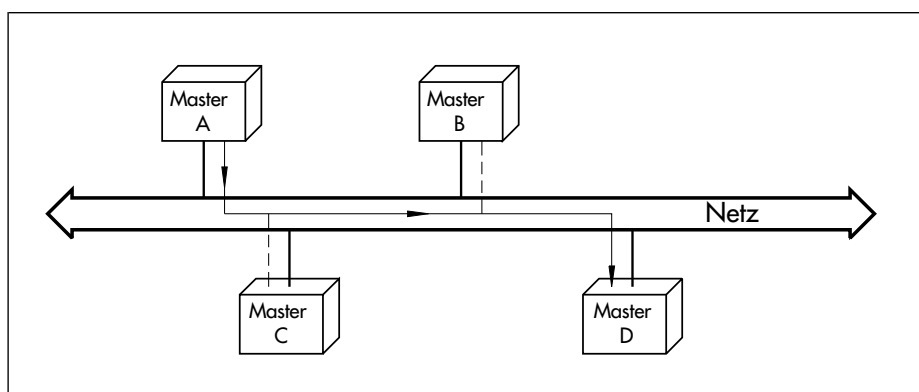
- Zufälliger Buszugriff

Bei zufälligem, stochastischem Netzzugriff warten die Sendestationen bis das Übertragungsmedium frei ist, um anschließend mit dem eigenen Senden zu beginnen. Wenn zufällig zwei Stationen gleichzeitig mit dem Senden beginnen, überlagern sich die Daten und werden zerstört. Die Sendestationen erkennen eine Datenkollision, da sie von den Empfängern keine Empfangsbestätigung erhalten und wiederholen ihren Sendevorgang nach einer kurzen, unterschiedlich langen Wartezeit. Bei geringer Netzauslastung ist dieses Verfahren aufgrund seiner Flexibilität und der kurzen Reaktionszeiten vorteilhaft, während es bei starker Netzauslastung zu häufiger Blockierung führt. Das Antwortverhalten ist daher nicht deterministisch, denn es kann nicht bestimmt werden, wann eine Nachricht spätestens beim Empfänger eintrifft. Diese Form des Zugriffs wird mit CSMA (Carrier Sense Multiple Access) bezeichnet (Bild 6).

**CSMA-Verfahren:
Carrier Sense Multiple
Access**

Eine verbesserte Variante dieses Zugriffsverfahrens nutzt unter anderem das vielfach eingesetzte Ethernet. Dabei erkennen Sender eine Datenkollision, indem sie beim Senden den Pegel der Leitung überwachen. Bei einer Kollision brechen die Sender die Übertragung sofort ab und wiederholen den Sendeversuch nach einer zufällig gewählten Wartezeit. Dieser erweiterte CSMA- Zugriff wird durch die Bezeichnung CSMA/CD abgekürzt (Carrier Sense Multiple Access – Collision Detection).

**Kollisionserkennung
mit CSMA/CD**



**Teilnehmer B und C
warten bis die
Kommunikation
zwischen A und D
beendet ist**

Bild 6: Zufälliger Zugriff beim CSMA-Verfahren

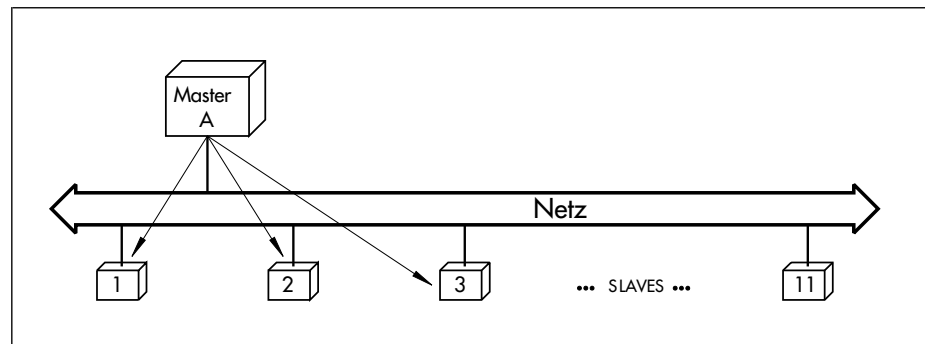


Bild 7: Kontrollierter Netzzugriff durch das Master-Slave-Verfahren

Kollisionsvermeidung durch CSMA/CA

Noch bessere Ergebnisse lassen sich erzielen, wenn mit Kollisionsvermeidung (CSMA/CA – Collision Avoidance) gearbeitet wird. Dies erreicht man, wenn ein Sendepiegel, z.B. der Low-Pegel, gegenüber dem anderen dominant ist, d.h. diesen einfach überschreiben kann. Beginnen zwei Teilnehmer gleichzeitig mit dem Sendevorgang, so setzt sich immer der Teilnehmer mit der höheren Priorität durch. Dieser überschreibt beim Senden seiner Adresse mit einem dominanten Bit das nicht-dominante Adressbit des anderen Teilnehmers. Der Sender mit niedrigerer Priorität stellt daraufhin sein Senden unverzüglich ein und wiederholt seinen Versuch nach kurzer, variabler Wartezeit. Diese Art des Zugriffsverfahrens verwendet unter anderem das CAN-Protokoll (Controller Area Network).

- Kontrollierter Buszugriff

Die kontrollierten, deterministischen Netzzugriffsverfahren werden abhängig von der Art der Teilnehmer unterschieden. So spricht man bei nur einem aktiven Teilnehmer von einer zentralen Zugriffsvergabe, während das Zugriffsrecht bei mehreren aktiven Teilnehmern dezentral vergeben wird.

Master-Slave-Steuerung

Bei der zentralen Zugriffsvergabe hat nur ein Gerät, der so genannte Master, das Recht einen Kommunikationszyklus einzuleiten. Dadurch ist sichergestellt, dass niemals zwei Geräte gleichzeitig auf das Netz zugreifen. Alle anderen Geräte – die Slaves – senden nur auf Anforderung des Masters (Bild 7). Zumeist nutzt der Master das Polling-Verfahren, bei dem er die Slaves zyklisch nacheinander bedient. Nachrichten mit hoher Priorität werden innerhalb eines Zyklus mehrfach abgefragt.

Abfrage per Polling

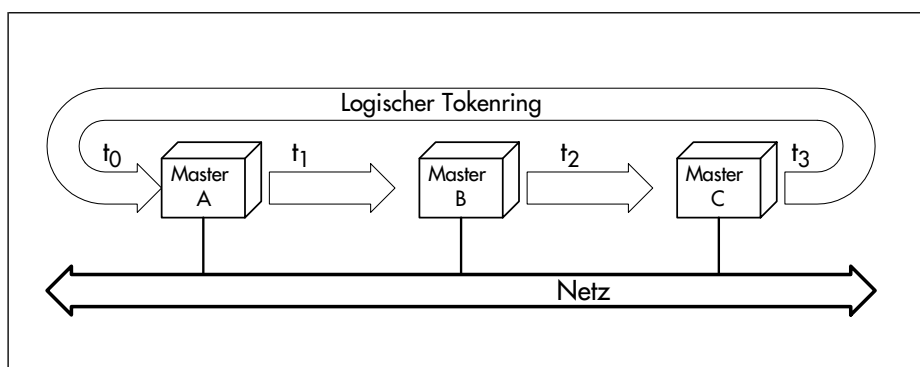


Bild 8: Kontrollierter Netzzugriff mit dem Token-Passing-Verfahren

Slave-Geräte sind zumeist aufwandsarme Peripheriegeräte, wie z.B. Sensoren, Stellgeräte und Messumformer. Eine direkte Kommunikation zwischen zwei Slaves ist im Normalfall nicht möglich. Die Daten werden vom Master gelesen und gegebenenfalls weitergegeben. Eine mögliche Variante besteht darin, einen Sender- und Empfänger-Slave zeitgleich zu adressieren und dadurch einen direkten Datenaustausch zu initiieren.

Die Master-Slave-Steuerung ist ein einfaches und preiswertes Verfahren, da nur eine Station die zum Teil komplexen Dienste zur Netzsteuerung übernehmen muss. Die Slave-Teilnehmer kommen hingegen mit einer aufwandsarmen Teil-Implementierung des Protokolls aus. Nachteilig ist, dass bei einem Defekt des Masters das gesamte Netz ausfällt. Dies lässt sich nur vermeiden, wenn in diesem Fall ein entsprechend konfigurierter Slave die Master-Funktionen übernimmt.

Die dezentrale Zugriffsvergabe nach dem sogenannten Token-Passing-Verfahren (Bild 8) stellt keine solchen Anforderungen an die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit eines speziellen Teilnehmers. Alle Netzteilnehmer sind in der Lage die Masterfunktion zu übernehmen.

Die Zuteilung der Masterfunktion an einen bestimmten Kommunikationsteilnehmer erfolgt in einer festgelegten Reihenfolge. Dazu wird eine besondere Nachricht, das sogenannte Token (Staffelholz), von einem aktiven Teilnehmer zum nächsten, innerhalb eines logischen Rings, weitergereicht. Derjenige Teilnehmer, der das Token gerade besitzt, ist der Netzmaster mit der alleinigen Kontrolle über das Netz. Spätestens nach einer durch die Tokenumlaufzeit festgelegten Zeitspanne, muss das Token an den nächsten aktiven Teilnehmer weitergegeben werden. Wird das Token-Passing-Verfahren in

einfache und preiswerte Implementierung

Token-Passing-Verfahren

das 'Staffelholz' kennzeichnet den zur Zeit aktiven Master

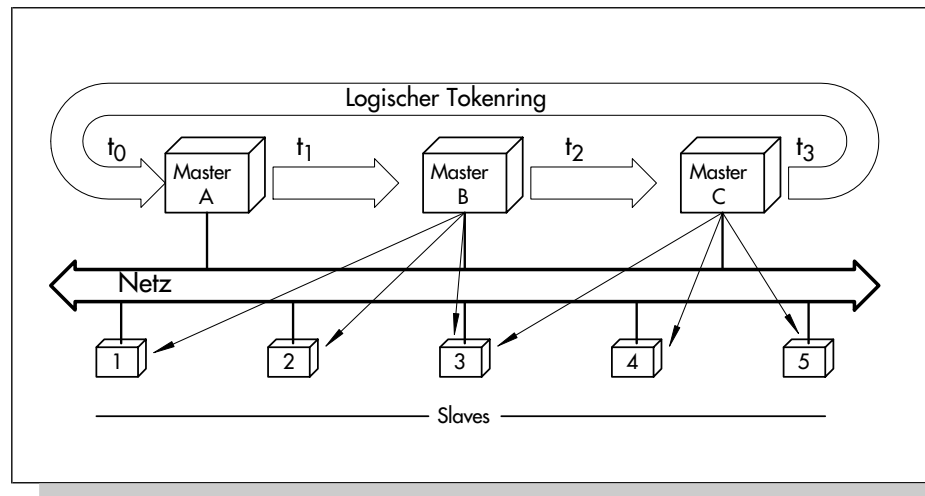


Bild 9: Kontrollierter Netzzugriff durch das Hybride-Verfahren: Token-Passing und Master-Slave

einer Netzstruktur verwendet, die einen physikalischen Ring bildet, so spricht man vom Token-Ring; sowie man in gleicher Weise, bei einem physikalischen Bus, vom Token-Bus redet.

**hybrides
Zugriffsverfahren**

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.

**unterlagerte Master-
Slave-Kommunikation**

Der durch den Token ausgewählte Master kann mit den passiven Teilnehmern mit Hilfe der Master-Slave-Funktionen kommunizieren, während für die Kommunikation mit den aktiven Teilnehmern die Dienste des Token-Passing verwendet werden (Bild 9). Damit die Tokeninhaber unterscheiden können, ob ihre Kommunikationspartner aktiv oder passiv sind, müssen diese Informationen allen aktiven Teilnehmern schon während der Konfiguration des Netzes zur Verfügung gestellt werden.

**deterministischer
Netzzugriff**

Bei allen kontrollierten Netzzugriffen ist die maximale Zeitdauer, bis eine Nachricht übertragen ist, berechenbar. Dieser Determinismus ist bei echtzeitfähigen Automatisierungsaufgaben erforderlich, denn sowohl die Zykluszeit als auch die Häufigkeit der Datenübertragung muss für viele Steuerungsaufgaben garantiert werden.

Protokolle und Telegramme

Kommunikationsprotokolle sind erforderlich, um Daten sicher zwischen zwei oder mehreren Geräten/Teilnehmern austauschen zu können. Wie beim Versenden von Briefen müssen auch die digitalen Informationen verpackt und adressiert werden. Mit Hilfe der Protokolle kann zwischen Steuerinformation und Nachricht unterschieden werden. Dazu wird festgelegt, wie ein Datentelegramm aufgebaut ist: wann es beginnt, endet und wann Steuerdaten oder Nachrichten übertragen werden. Telegramme sind zumeist nach der in Bild 10 dargestellten Grundstruktur aufgebaut.

Vor dem eigentlichen Datenfeld liegen die Kopf- bzw. Headerinformationen. Bei Mehrpunktverbindungen (Netzen) beinhalten diese zumeist die Quell- und Zieladresse der Nachricht oder kennzeichnen deren Inhalt. Außerdem finden sich dort Steuerinformationen, wie die Angabe der Länge (z.B. Anzahl der Bits) der folgenden Nachricht.

An die eigentliche Nachricht schließt sich der Datensicherungsteil an. Hier liegen vom Sender generierte Prüfinformationen, anhand derer der Empfänger die Richtigkeit der Sendung überprüfen kann (siehe Abschnitt: Fehlererkennung).

Die Abgrenzung zwischen Kopf-, Nachrichten- und Datensicherungsteil kann entweder durch

- ▶ Einfügen von speziellen Steuerzeichen oder
- ▶ – bei festgelegten Längen – durch Mitzählen der empfangenen Zeichen erreicht werden.

Auch bei der bitorientierten Datenübertragung werden die Nachrichten durch Steuerinformationen eingerahmt. Bild 11 zeigt ein typisches

**Protokolle definieren
den Datenaustausch**

**Nachrichten werden zu
Telegrammen verpackt**

**Zugriff auf die
Protokollfelder**

**bitorientierte
Datenübertragung**

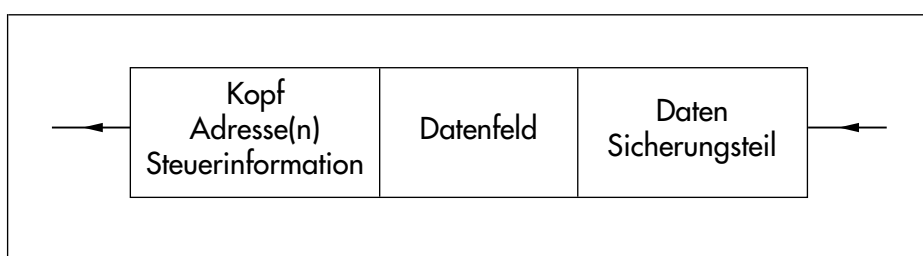


Bild 10: Grundstruktur eines Übertragungsprotokolls

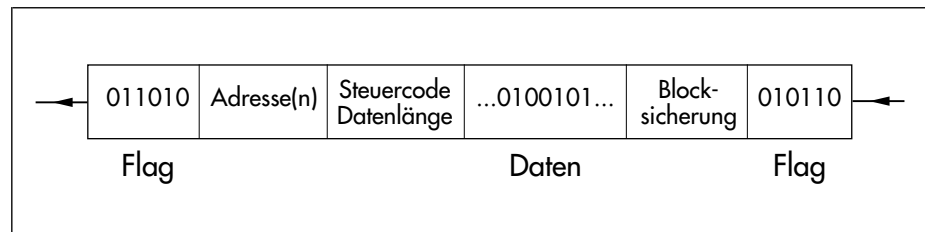


Bild 11: Telegramm bei bitserieller Übertragung

Telegramm für die bitserielle Nachrichtenübermittlung in einem Netz. Jedes Datentelegramm verwendet als Grundlage einen so genannten Übertragungsrahmen, der in verschiedene Felder eingeteilt ist.

**Start- und Endeflag
rahmen das
Telegramm ein**

Den Beginn und das Ende kennzeichnet jeweils eine Bitsequenz. Das Beginn-Flag kann bei asynchroner Übertragung auch zum Synchronisieren genutzt werden. Wie beim Start-Bit des UART-Zeichens passt sich der Empfänger dabei an die Frequenz des Senders an.

**festе Bit-Folge und
-anzahl garantiert
Eindeutigkeit**

Jedes einzelne Feld des Telegramms besteht aus einer fest definierten Anzahl von Bits. Dadurch kann der Empfänger, allein durch das Zählen der Bits die einzelnen Felder, Nachrichten und Steuerinformationen, voneinander unterscheiden. Definiert das Übertragungsprotokoll auch Telegramme mit variabler Nachrichtenlänge, so trägt der Sender die Anzahl der Datenbits in ein Steuerfeld ein (z.B.: Datenlänge). Der Empfänger wertet diese Information entsprechend vor dem Lesen des variablen Datenfeldes aus.

**Nutzdatenrate
berücksichtigt
zusätzlich erforderliche
Protokolldaten**

Bei der Übertragung digitaler Daten kann die Übertragungsgeschwindigkeit einer Nachricht nicht allein aus der Angabe der Bit-Übertragungsrаte ermittelt werden. Um die so genannte Nutzdatenrate abschätzen zu können, muss das Verhältnis von Steuer- zu Nutzdaten, abhängig vom verwendeten Übertragungsprotokoll, mit berücksichtigt werden. Bei zeichengesteuerter, asynchroner Übertragung muss zudem berücksichtigt werden, dass die einzelnen Bytes als UART-Zeichen (11 Bit für 1 Datenbyte) übertragen werden. Allein dies reduziert den Nutzdatenanteil auf 73 Prozent.

Adressierung und Kommunikationsdienste

Besteht ein Kommunikationssystem aus mehr als zwei Teilnehmern und möchte man eine Nachricht an einen bestimmten Teilnehmer weitergeben, so muss man diesen gezielt ansprechen können. Hierfür dient eine Bit-Sequenz – ein Zeichen oder eine Zeichenfolge, die als Adresse eines Teilnehmers bezeichnet wird (siehe Telegrammaufbau Bild 10 und 11).

Im einfachsten Fall wird jedem Gerät ein Adresse statisch zugeteilt. Dies kann mit Hilfe von Dip-Schaltern per Hardware oder vorinstalliert per Firmware geschehen. Die Vergabe der Adressen kann aber auch dynamisch erfolgen. Dies ist möglich bei der ersten Parametrierung und Inbetriebnahme des Systems oder aber von einem Master gesteuert, während des laufenden Betriebes, innerhalb spezieller Initialisierungsphasen.

Zur Abwicklung von Kommunikationsaufgaben stehen den Teilnehmern verschiedene Dienste zur Verfügung. Die Anzahl der bereitgestellten Dienste ist ein Kriterium bei der Beurteilung von Kommunikationssystemen.

Man bezeichnet einen Kommunikationsdienst als verbindungsorientiert, wenn die Datenübertragung über einen Kommunikationskanal abläuft, welcher den Sender und den Empfänger unter Verwendung ihrer Adressen direkt miteinander koppelt.

Demgegenüber stehen die verbindungslose Kommunikationsdienste. Bei diesen stehen Sender und Empfänger nicht in direkter Verbindung zueinander. Typische Beispiele dafür sind:

- ▶ Multicast-Nachrichten, welche an eine Gruppe von Teilnehmern gerichtet sind und
- ▶ Broadcast-Nachrichten, die für alle Teilnehmer bestimmt sind.

Verwendet werden solche Nachrichten, um bei der Systeminitialisierung alle angeschlossenen Teilnehmer zu identifizieren und zu parametrieren; oder wenn Abläufe oder Aktionen bei mehreren Teilnehmern zeitsynchron ausgeführt werden sollen.

Adressen können für diesen Zweck hierarchisch organisiert sein, so dass alle Teilnehmer einer Gruppe, mit beispielsweise demselben Adressbeginn, gleichzeitig adressiert werden.

Adressierung für eine gezielte Nachrichtenzuteilung

Adresszuteilung per Hard- oder Software

Kommunikationsdienste ...

... verbindungsorientiert

... oder verbindungslos

Multicast- und Broadcast-Nachricht

Kommunikation offener Systeme: ISO/OSI-Schichtenmodell

Kommunikation über genormte Schnittstellen

Damit eine Kommunikation zwischen verschiedenen Teilnehmern und über die Netz-Hierarchiestufen hinweg effektiv und unmissverständlich abläuft, müssen vorgegebene Regeln eingehalten werden. Sollen Geräte und Systeme von verschiedenen Herstellern und Netzbetreibern miteinander kommunizieren, sind genormte Übergabe-Schnittstellen erforderlich.

ISO/OSI-Referenzmodell ...

Eine solche Festlegung von solchen Übergabe-Schnittstellen, welche die Aufgaben der Rechnerkommunikation regeln, wurde 1983 von der Internationalen Organisation für Standardisierung (ISO) in der ISO-Norm 7498 mit dem Titel "Basic Reference Model for Open Systems Interconnection – OSI" vorgeschlagen. Sie beschreibt die Kommunikation eines offenen Systems, in welches sich beliebige Komponenten und Sub-Systeme integrieren lassen, solange sie sich an die Vorgaben des Referenzmodells halten.

... in sieben Schichten eingeteilt ...

Dieses so genannte ISO/OSI-Modell definiert alle zur Kommunikation erforderlichen Elemente, Strukturen und Aufgaben und ordnet sie sieben aufeinander aufbauenden Schichten zu (Bild 12). Jede Schicht erledigt innerhalb des Kommunikationsablaufes genau festgelegte Aufgaben bzw. Dienste. Dabei stellt jede Schicht ihre Dienste der nächst übergeordneten Schicht über genau definierte Schnittstellen, den so genannten Service Access Points (SAPs), zur Verfügung.

... für die Datenübertragung und Anwendung

Insgesamt ergibt sich eine hierarchisch gegliederte Struktur, bei der die vier unteren Schichten für die Datenübertragung zwischen den Geräten zuständig sind (Übertragungsschichten), während die Schichten fünf bis sieben das Zusammenwirken mit dem Anwendungsprogramm oder dem Betriebssystem koordinieren (Anwendungsschichten).

physikalische Schicht

Schicht eins legt fest, in welcher Weise die Datenübertragung physikalisch, d.h. elektrisch und mechanisch, erfolgt. Dazu gehört z.B. die Art der Kodierung (z.B.: NRZ) und der verwendete Übertragungsstandard (z.B.: RS 485).

Verbindungs- oder Sicherungsschicht

Schicht zwei hat die Aufgabe gesicherte, d.h. fehlerfreie Informationen bereitzustellen. Sie muss in der Schicht eins möglicherweise aufgetretene Fehler erkennen und durch geeignete Fehlerprotokolle beheben. Schicht zwei reguliert auch den Datenfluss, wenn Sender und Empfänger die Daten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten verarbeiten und ist in lokalen Netzwerken für die Zugriffssteuerung (MAC: Media Access Control) zuständig.

Schicht drei übernimmt den Auf- und Abbau von Verbindungen im Netz und das Wegeauswahlverfahren (Routing), bei dem der Weg von Daten innerhalb des Netzes festgelegt wird. Gleichzeitig wird die Anzahl der im Netz befindlichen Datenpakete überwacht, um damit mögliche Stauungen im Netz zu vermeiden.

Netzschicht

Schicht vier übernimmt die vollständige Kontrolle einer von Schicht fünf angeforderten Datenübertragung. Dazu wird für die Zeit der Übertragung zwischen den Teilnehmern eine ständige Verbindung aufgebaut. Die Übertragung wird hinsichtlich möglicher Transportfehler überwacht, Datenpakete der nächsthöheren Schicht in transportierbare Einheiten zerlegt und auf Empfängerseite die richtige Reihenfolge der ausgetauschten Dateneinheiten wiederhergestellt.

Transportschicht

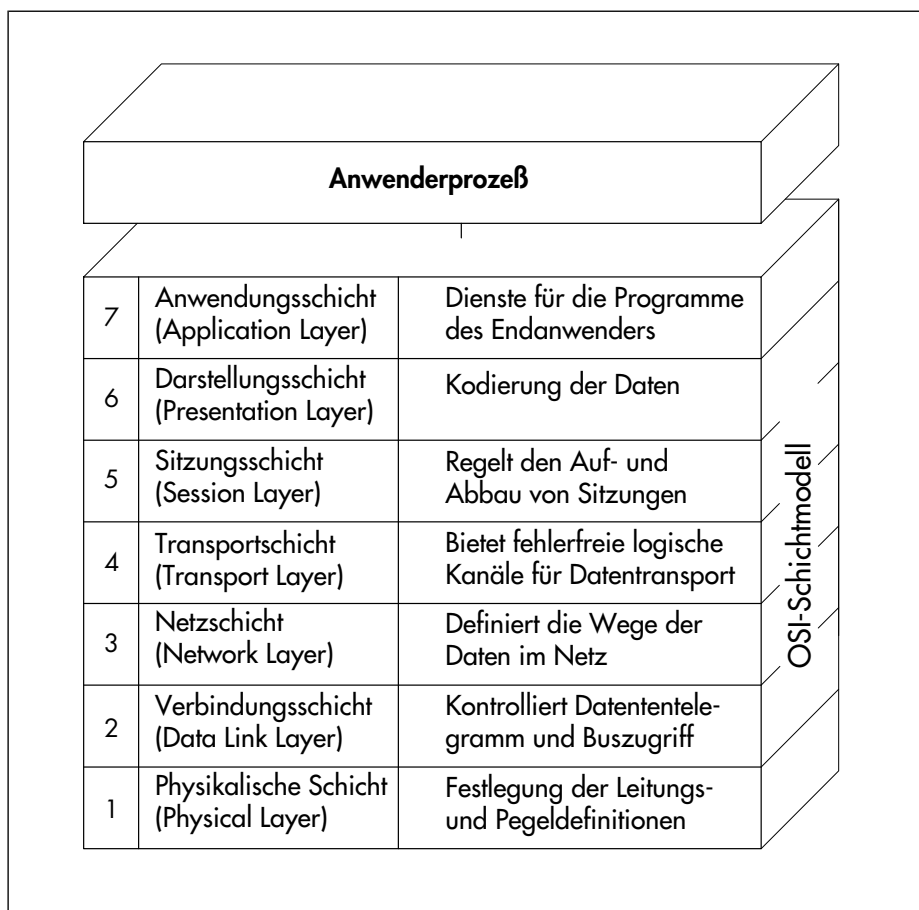


Bild 12: Definition der Schichten im OSI-Referenzmodell

Sitzungsschicht Schicht fünf steuert den Auf- und Abbau von temporären Teilnehmerverbindungen (Sitzungen), in denen ein oder mehrere Prozesse auf das Transportsystem zugreifen können. Kommunizierende Prozesse können gegebenenfalls synchronisiert werden. Ein weiteres Sprachmittel von Schicht fünf ist die Verwaltung und Zuordnung der logischen Namen zu physikalischen Adressen.

Darstellungsschicht Schicht sechs übernimmt die Dienste zur Kodierung (Darstellung) der Daten. Sie erfüllt damit die Aufgabe, die Daten so aufzubereiten, dass sie für die höheren Ebenen zur Auswertung und Interpretation zur Verfügung stehen.

Anwendungsschicht Schicht sieben bildet die Schnittstelle zum Anwendungsprogramm und beinhaltet alle Funktionen, mit denen der Nutzer – in aller Regel ein Computerprogramm – auf die Kommunikationsfunktionen zugreifen kann.

Datenübergabe zwischen den OSI-Schichten Damit eine Nachricht von einer Anwendung zur anderen gelangt, läuft sie auf Senderseite von Schicht sieben hinab bis Schicht eins und wird jeweils um schichtspezifische Steuerdaten sowie einen Protokoll-Header erweitert (siehe Bild 13). Diese Daten dienen zur Kommunikation mit der korrespondierenden Schicht auf Empfängerseite. Über das physikalische Medium werden daher, neben der ursprünglichen Nachricht, entsprechend viele Steuerdaten zum Empfänger übertragen. Dort entfernt umgekehrt Schicht eins bis Schicht sieben seine spezifischen Steuerdaten und erbringt die zuge-

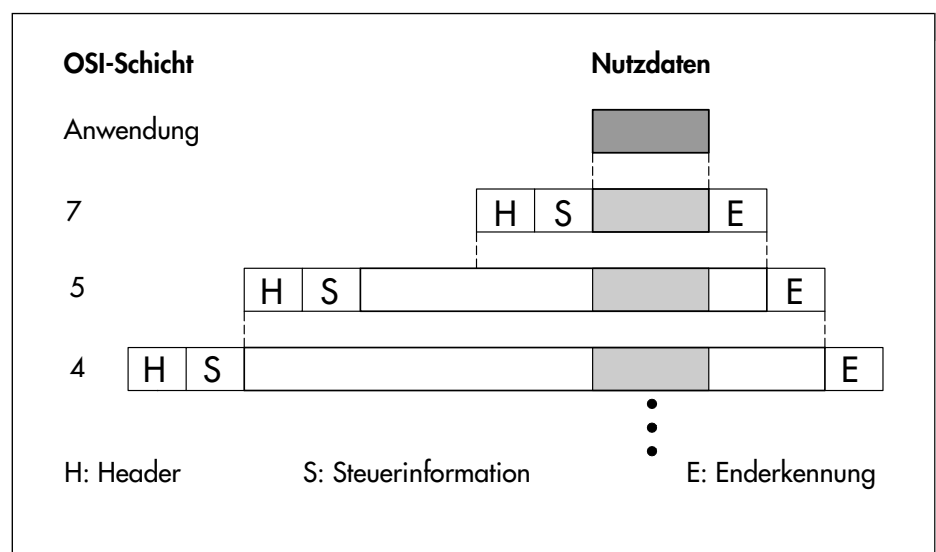


Bild 13: Kapselung der Nachricht innerhalb der OSI-Schichten

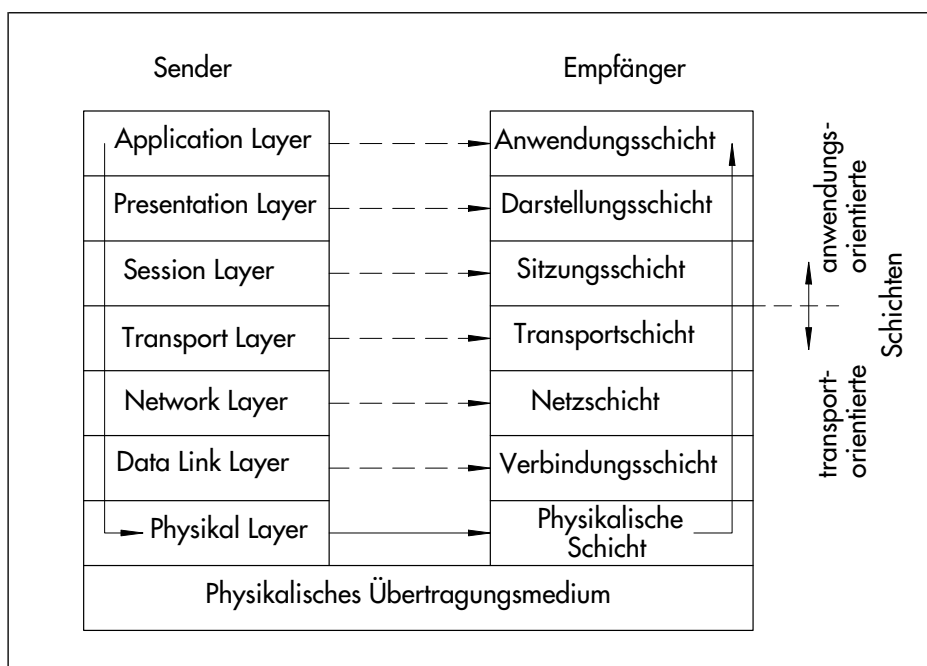


Bild 14: Schichtspezifische Kommunikation beim OSI-Modell

hörigen Dienste, so dass am Ende die Nachricht in ihrer ursprünglichen Darstellung dem Anwendungsprozess zur Verfügung steht.

Aufgrund dieser Arbeitsweise kommunizieren bei den beteiligten Kommunikationspartnern immer nur jeweils gleiche Schichten miteinander (siehe Bild 14). Das bedeutet, die physikalische Schicht von Rechner A steht in direkter Verbindung mit der physikalischen Schicht des Rechners B, sowie auch alle anderen Netzwerkschichten beider Stationen miteinander Daten austauschen. Jede Schicht sieht nur die korrespondierende Schicht des Kommunikationspartners, während die darunter liegenden Schichten für den Datenaustausch vollkommen transparent sind.

Eine Kommunikation zwischen zwei Teilnehmern ist nur möglich, wenn beide Partner dieselben Schichten bedienen und mit derselben Definition arbeiten. Werden bestimmte Dienste innerhalb eines Kommunikationssystems nicht benötigt, können einzelne Schichten auch leer sein. Das heißt, dass das Nachrichtentelegramm die entsprechenden Informationen nicht enthält.

Da das OSI-Schichtenmodell für die Kommunikation eines offenen Systems entwickelt wurde, wird die Kommunikation ausschließlich auf abstrakter Ebene beschrieben. Es sind keine Angaben darüber enthalten, wie die ein-

Kommunikation...

**... über
korrespondierende
Schichten**

**nur notwendige
Schichten sind definiert**

Implementation der OSI-Schichten freigestellt	<p>zelen Schichten letztendlich zu implementieren sind. D.h., das OSI-Modell legt nur die zur Kommunikation notwendigen Dienste sowie deren Einbindung in den Kommunikationsablauf fest. Es sagt aber nicht, wie die verwendeten Leitungen und Signalpegel, das Datenformat, die Fehlererkennung, die Adressierung der Teilnehmer, der Auf- und Abbau der Verbindungen sowie die Datenübergabe zum Anwendungsprozess im einzelnen verwirklicht werden sollen.</p>
SAP: Die Schnittstelle zu den Diensten einer Schicht	<p>Jede Schicht kann daher auf ganz unterschiedliche Weise realisiert werden. Dennoch ist aufgrund der einheitlichen Dienste und Dienstzugangspunkte (SAP) eine Austauschbarkeit gewährleistet. So lässt sich ein Kommunikationsprotokoll, welches sich an die OSI-Struktur hält, schichtenweise in ein anderes OSI-konformes Protokoll überführen, ohne dass die Funktionalität oder Leistungsfähigkeit beeinträchtigt wird. Diese Aufgabe übernehmen sogenannte Gateways. Sie haben die Aufgabe verschiedene Kommunikationssysteme, die sich in allen Schichten unterscheiden, miteinander zu koppeln.</p>
OSI als Standard-Darstellung	<p>Das OSI-Modell hat sich bei der Verwirklichung von Kommunikationsdiensten quasi als Standard-Darstellung etabliert, auch wenn viele Implementierungen die Modellvorgaben nur zum Teil verwirklichen. So werden nur die Dienste und Funktionen implementiert, die für den jeweiligen Anwendungsbereich notwendig sind. Umfangreiche Dienste für die organisatorischen Aufgaben innerhalb von komplexen Netztopologien werden bei vielen einfachen Anwendungen (z.B. bei Feldnetzen) nicht benötigt. Aus diesem Grund sind in den Spezifikationen von Feldnetzen zumeist nur die Schichten eins und zwei vollständig definiert, während alle sonstigen Dienste den Anwendungsprozess selbst oder die unterlagerte Schicht sieben abwickelt.</p>
Feldnetze zumeist nur mit Schicht 1,2 und 7	

Auswahlkriterien für Kommunikationssysteme

Das Attribut 'kommunikationsfähig' eines Gerätes sagt allein noch nichts über Leistungsfähigkeit und die Anwendungsvielfalt aus. Sie besagt lediglich, dass zwischen mindestens zwei Teilnehmern Informationen ausgetauscht werden können. Zur genauen Beschreibung der Leistungsfähigkeit und zur Abschätzung der Nutzungsmöglichkeit eines Kommunikationssystems sind sehr viel mehr Attribute notwendig.

Die Auswahl erfolgt auch nicht allein auf Grundlage der technischen und funktionalen Aspekte. Genauso müssen Verfügbarkeit und Austauschbarkeit der Komponenten sowie wirtschaftliche Argumente beurteilt werden. Die Kriterien, anhand derer ein Kommunikationssystem ausgewählt wird, bewerten folgende Bereiche:

- ▶ physikalische Kennwerte (z.B.: Übertragungsgeschwindigkeit),
- ▶ funktionale Aspekte (z.B.: Störsicherheit, Austauschbarkeit),
- ▶ Einsatzmöglichkeiten (z.B.: Ex-Bereich),
- ▶ Verbreitung am Markt (z.B.: Preis, Akzeptanz) und
- ▶ Stand der Normung (z.B.: Austauschbarkeit).

Abhängig von dem jeweiligen Einsatzgebiet müssen die Auswahlkriterien einzeln bewertet und gewichtet werden. Die folgende Aufstellung zeigt an einigen Beispielen, wie einzelne Vorgaben die erforderlichen Eigenschaften des Kommunikationssystems festschreiben:

- ▶ Je nach Anwendung kann ein Datenaustausch in beiden Richtungen (bidirektional) oder nur in eine Richtung (unidirektional) erforderlich sein.
- ▶ Prozesse mit hoher Dynamik fordern entsprechend hohe Übertragungsraten.
- ▶ Um echtzeitfähige Prozesssteuerungen zu realisieren, müssen entsprechend kurze Antwortzeiten garantiert werden (deterministisches System).
- ▶ Eine optimale Auslastung eines Netzes lässt sich nur erreichen, wenn die Größe der Datentelegramme zu der tatsächlichen Nachrichtenlänge passt.

**Auswahl eines
Kommunikations-
systemes**

uni- oder bidirektional

schnelle Reaktion

**garantierte
Antwortzeiten**

**kurze oder lange
Datenpakete**

Prioritäten erforderlich ▶ Die Behandlung von unterschiedlich wichtigen Nachrichten kann durch eine bevorzugte – priorisierte – Datenübertragung wesentlich vereinfacht werden.

Fehlererkennung wichtig ▶ Eine störungsunempfindliche und/oder Übertragungsfehler korrigierende Steuerung verbessert die Nutzungsqualität der Schnittstelle. So sollte bei Ausfall eines oder mehrerer Geräte die Kommunikation der anderen Teilnehmer weiter möglich sein und eine Unterbrechung im Übertragungsmedium sicher erkannt werden.

Nicht zuletzt müssen anwender- und entwicklungsspezifische Merkmale auch aus wirtschaftlicher Sicht betrachtet werden:

bestmögliche Anpassung an die Geräte ▶ Ein auf den Einsatzbereich zugeschnittenes Protokoll, z.B. mit entsprechend angepasster Anwenderschicht und vordefinierten Gerätebeschreibungen, kann die Engineering-Kosten und Inbetriebnahmezeiten erheblich reduzieren.

unabhängige und langfristige Geräteauswahl ▶ Die Austauschbarkeit von Komponenten (Interchangeability) und die Gewährleistung, dass Geräte unterschiedlicher Hersteller problemlos zusammen arbeiten (Interoperability), erweitern den Anwendungsbereich und die Akzeptanz.

Schließlich können zusätzliche Randbedingungen die technische Ausführung eines Kommunikationssystems vorgeben:

große Distanzen ▶ Datenübertragung über sehr große Entfernungen und

auch Ex-Einsatz ▶ Einsatz in explosionsgefährdeter Umgebung.

kein einheitlicher Standard aufgrund Vielzahliger Anforderungen

Die Vielzahl der Anwendungsgebiete und die sich teils widersprechenden Anforderungsprofile, aber auch unternehmenspolitische Gründe sind die Ursache, dass sich bis heute kein international anerkannter, einheitlicher Kommunikationsstandard durchsetzen konnte. Daher muss für jeden Fall einzeln geprüft werden, welches Kommunikationssystem am Besten geeignet ist.

Begriffe der Kommunikation

Zum besseren Verständnis der vielen technischen und abstrakten Bezeichnungen aus dem Bereich der digitalen Kommunikation, kann eine Gegenüberstellung mit den Begriffen des allgemeinen Sprachgebrauchs dienen. Auch wenn der Vergleich einer detaillierten Analyse nicht standhalten kann, erleichtert diese begriffliche Zuordnung das Verständnis der jeweiligen Aufgaben und Dienste.

Im allgemeinen Sprachgebrauch wird der Begriff 'Kommunikation' im Kontext mit 'Gespräch, Unterhaltung' verwendet und bezeichnet eine 'Verständigung zwischen Menschen'. Auch bei der 'Digitalen Kommunikation' steht die Verständigung – diesmal zwischen verschiedenen Geräten – im Mittelpunkt der Betrachtung.

In beiden Fällen findet der Informationsaustausch über ein geeignetes Medium und unter Verwendung von zweckmäßigen Schnittstellen statt

**begriffliche
Gegenüberstellung
von Alltag ↔ Technik**

Luft (akustisches Medium)	Kanäle (elektrische Leitungen)
Ohren, Mund	Hardware-Schnittstelle, z.B: Übertragungsstandard (RS 485)

und allgemeingültige Regelungen bilden die Grundlage für die gemeinsame Verständigung

Buchstabe, Wort	Bit, Byte, Datenformate
Grammatik, Sprache	Übertragungsprotokolle OSI/ISO-Modell

Jeder an der Kommunikation beteiligte hat bestimmte Aufgaben:

Gesprächsleiter	Master
andere Teilnehmer	Slave
Redner, Sprechende	Sender (Talker)
Zuhörer	Empfänger (Listener)

Dabei muss geklärt werden wer, wann, wie lange sprechen darf,

Gesprächsregelung	Netzzuteilung Vergabe der Talker-Funktion
-------------------	--

denn gleichzeitiges Sprechen (Senden) von mehreren Teilnehmern behindert die Kommunikation:

Durcheinander reden	Datenkollision
---------------------	----------------

Gleichberechtigte Kommunikationsteilnehmer können nacheinander in einer festgelegten Reihenfolge zu Wort kommen

Rednerliste	Token-Verfahren
-------------	-----------------

oder versuchen, sich in Gesprächspausen Gehör zu verschaffen

unaufgeforderte Gesprächsteilnahme	CSMA-Verfahren
------------------------------------	----------------

Andere müssen warten, bis sie von einem Gesprächsleiter aufgefordert werden

Lehrer/Schüler-Gespräch	Master/Slave-Steuerung
-------------------------	------------------------

Diese Koordination der Kommunikation übernimmt ein Einzelner

Gesprächsleiter	Single-Master-System
-----------------	----------------------

oder eine Gruppe von gleichberechtigten Gesprächsleitern

Gruppe von Moderatoren	Multi-Master-System
------------------------	---------------------

Die Informationen kommen von einem Teilnehmer (Redner/Talker) und sind an

alle Teilnehmer	alle Listener Broadcast-Sendung)
-----------------	-------------------------------------

angesprochene Teilnehmer	zuvor adressierte Teilnehmer
--------------------------	------------------------------

gerichtet. Die Kommunikation findet als

Vier-Augen-Gespräch	Punkt-zu-Punkt-Verbindung
in der Gruppe	Netzverbindung mehrerer Teilnehmer

statt. Die physikalische, örtliche Anordnung der Teilnehmer

Sitzordnung	Netztopologie
-------------	---------------

kann, muss sich aber nicht auf den Ablauf der Kommunikation auswirken, denn es ist möglich, nicht nur unmittelbar sichtbare Teilnehmer, sondern über

Namen	Teilnehmer-Adressen
-------	---------------------

auch alle Anderen direkt anzusprechen.

Die vielen Entsprechungen dieser – gewiss nicht vollständigen – Gegenüberstellung zeigen, dass die 'Digitale Kommunikation' trotz vieler neuer Begriffe kein unverständliches oder gar undurchschaubares Themengebiet darstellt. Bei genauer Betrachtung macht sie sich ein bekanntes Verfahren mit ganz ähnlichen Mitteln nutzbar.

Diese Einteilung reicht für eine nähere Auswahl jedoch nicht aus, denn auch innerhalb einer Hierarchiestufe unterscheiden sich die Anforderungsprofile je nach Einsatzgebiet. Speziell in der Feldebene, wo das Kommunikationssystem in direkter Verbindung mit den Feldgeräten steht, und damit unmittelbar in die Prozessumgebung eingebunden ist, ergeben sich sehr verschiedenartige Anforderungen.

Anhang A1: Ergänzende Literatur

- [1] Digitale Signale
Technische Information L150; SAMSON AG
- [2] Serielle Datenübertragung
Technische Information L153; SAMSON AG
- [3] Kommunikation im Feld
Technische Information L450; SAMSON AG
- [4] HART-Kommunikation
Technische Information L452; SAMSON AG
- [5] PROFIBUS PA
Technische Information L453; SAMSON AG
- [6] FOUNDATION Fieldbus
Technische Information L454; SAMSON AG

Bildverzeichnis

Bild 1:	Aktionsradius von Kommunikationsnetzen	5
Bild 2:	Hierarchieebenen in der Kommunikation	7
Bild 3:	Netztopologien	9
Bild 4:	Komplexes Netz bestehend aus verschiedenen Teilnetzen	11
Bild 5:	Klassifizierung der Netzzugriffsverfahren	12
Bild 6:	Zufälliger Zugriff beim CSMA-Verfahren	13
Bild 7:	Kontrollierter Netzzugriff durch das Master-Slave-Verfahren.	14
Bild 8:	Kontrollierter Netzzugriff mit dem Token-Passing-Verfahren	15
Bild 9:	Kontrollierter Netzzugriff durch das Hybride-Verfahren	16
Bild 10:	Grundstruktur eines Übertragungsprotokolls	17
Bild 11:	Telegramm bei bitserieller Übertragung	18
Bild 12:	Definition der Schichten im OSI-Referenzmodell	21
Bild 13:	Kapselung der Nachricht innerhalb der OSI-Schichten	22
Bild 14:	Schichtspezifische Kommunikation beim OSI-Modell	23



SAMSON AG · MESS- UND REGELTECHNIK · Weismüllerstraße 3 · D-60314 Frankfurt am Main
Telefon (069) 4 00 90 · Telefax (069) 4 00 95 07 · Internet: <http://www.samson.de>