C5 Vernetzung, ISO/OSI- Referenzmodell

Bei der Vernetzung können folgende Alternativen unterschieden werden:

Verbindungen:

- Punkt zu Punkt Verbindung
  Die Netzteilnehmer sind jeweils über dedizierte Verbindungen verbunden
  Beispiele: Telefon-, Telexnetz, Ethernet über Twisted Pair
- Shared-Medium
  Die Teilnehmer tauschen ihre Mitteilungen auf einem gemeinsamen Medium aus
  Beispiele: Funknetze, Bussysteme, Ethernet über Koax-Kabel

Naturgemäß kann bei einem Shared-Medium jeweils nur eine Station senden. Durch ein entsprechendes Protokoll (access control) muss dies sichergestellt werden.

Vermittlung:

- Leitungsvermittlung (Circuit-Switching)
  Zwischen den Teilnehmern wird eine durchgehende physikalische Verbindungsstrecke aufgebaut, die den Teilnehmern exklusiv überlassen wird.
  Beispiele: Telefon, Datex-L
- Speichervermittlung (Packet-Switching):
  Die Daten werden auf dem Übertragungsweg einmal oder mehrmals zwischengespeichert.
  Beispiel: Datex-P, Internet

Die Leitungsvermittlung hat den Nachteil, dass für eine Verbindung entsprechende Leitungskapazität reserviert bleiben muss, auch wenn zeitweilig keine Daten übertragen werden. Eine Speichervermittlung ist erst möglich seitdem entsprechende Computer-Hardware zur Verfügung steht. Soll eine bestimmte Übertragungsrate garantiert werden, muss ein entsprechendes Reservierungsprotokoll vorhanden sein z.B. ATM-Netze. Sind die Netzte jedoch entsprechend dimensioniert kann auch mit einem Best-Effort Verfahren eine zufrieden stellende Dienstqualität erreicht werden.
Verbindung:

- Verbindungsloser Dienst
  Die Pakete (Datagramme) werden vom Sender zum Empfänger geschickt, ohne dass eine Verbindung aufgebaut und auf eine Quittung gewartet wird. Jedes Paket wird für sich alleine vermittelt.
  Beispiel: IP- Protokoll, UDP- Protokoll
- Verbindungsorientierter Dienst:
  Bevor Daten ausgetauscht werden, wird zunächst eine Verbindung aufgebaut. Bei der Übertragung werden Quittungen ausgetauscht, sodass der Sender den Empfänger nicht überrennen kann (Flusssteuerung).
  Beispiel: TCP- Protokoll

Datagrammdienste werden genutzt, wenn eine hohe Übertragungsrate unter Echtzeit-bedingungen gefordert wird, z.B. Videoübertragung. Verbindungsorientierte Dienste werden genutzt, wenn die Übertragung abgesichert werden muss, z.B. Dateiübertragung. Bei Fehlern werden die Pakete notfalls wiederholt.

ISO/OSI- Referenzmodell

Ziel des Schichtenmodells ist es, die komplexe Interaktion zwischen den Schichten einer Kommunikation zu strukturieren. Jedes Modul des Schichtenmodells verwendet die drunter

liegende Schicht und unterstützt die darüber liegende. Das OSI- Modell gibt jedoch keine Netzarchitektur vor, sondern es wird nur beschrieben, was eine Schicht leisten soll. Dienste oder Protokolle werden nicht festgelegt.

Schichten des ISO/OSI- Referenzmodell

1. Bitübertragungsschicht (physical layer)
   Sie behandelt die ungesicherte physikalische Übertragung der Bits zwischen den Systemen. Es werden Eigenschaften der physischen Verbindung festgelegt
2. Sicherungsschicht (data link layer)
   In der Sicherungsschicht werden die Rohdaten in Datenrahmen (data frames) eingeteilt. Bei der Übertragung werden Übertragungsfehler erkannt und evtl. durch Wiederholung behoben. Auf dieser Schicht wird auch der konkurrierende Zugriff auf shared-media geregelt.
3. Vermittlungsschicht (network layer)
   Die Vermittlungsschicht behandelt die Pfadbildung von Sendersystem zum Empfängersystem. Diese Schicht behandelt auch die Verknüpfung verschiedener, auch heterogener, Netze.
4. Transportschicht (transport layer)
   Die Transportschicht ist endsystemorientiert. Sie erfüllt die Anforderung an Übertragungsleistung durch Aufträge an die darunter liegenden Schichten. Sie regelt auch die Flusssteuerung.
5. Sitzungsschicht (session layer)
   Sie ermöglicht das Wiederanlaufen einer unterbrochenen Übertragung. Sie regelt, ob die Übertragung im Duplex- oder Halbduplexbetrieb.
6. Darstellungsschicht (presentation layer)
   Die Darstellungsschicht ist die erste Schicht, die sich mit der Syntax und der Semantik der übertragenen Information beschäftigt. So werden Daten von der Darstellungsform des Senders in die des Empfängers übersetzt
7. Anwendungsschicht (application layer)
   Auf dieser Ebene werden die Protokolle der eigentlichen Anwendung z.B. e-mail, Filetranfer, Namensdienste geregelt

Die OSI-Schichtung ist auf eine Punkt -zu-Punkt-Kommunikation über unsichere Netzte ausgelegt. Durch neue Netztechniken werden zum Teil Probleme verlagert, Routing auf Schicht 2 (LAN), Vermittlung auf Schicht 1 (ATM). Probleme mobiler Systeme werden nicht angesprochen.

TCP/IP- Referenzmodell

Das TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol)ist das im Internet benutzte Protokoll. Die Schichten von TCP/IP im Vergleich zu OSI sind:

OSI		TCP/IP
7	Anwendung	Anwendung(HTTP,FTP)
6	Darstellung	
5	Sitzung	
4	Transport	Transport (TCP,UDP)
3	Vermittlung	Internet (IP)
2	Sicherung	Lokales Netz
1	Bitübertragung	(z.B. Ethernet)

Die Vermittlungsschicht IP (Internet Protocol) in einem Netz von einem Quelle zu einem Ziel. Die Pakete werden in nicht festgelegter Reihenfolge evtl. auch auf verschiedenen Wegen transportiert.

In der Transportschicht werden zwei Protokolle benutzt:

- TCP: Transmission Control Protocol sorgt für eine zuverlässige, fehlerfreie, verbindungsorientierte Übertragung von einem Host zu einem anderen in einem evtl. unzuverlässigen Netz. Die Nutzdaten und die Quittungen werden dabei in Pakete eingepackt, die als IP-Pakete übertragen werden. TCP regelt auch die Flusskontrolle, damit nicht der Sender einen langsameren Empfänger überflutet.
- UDP: User Datagram Protocol ist verbindungslos und unzuverlässig. Es wird benutzt, wenn die schnelle Übertragung wichtiger ist als die Fehlerfreiheit z.B. bei Realzeit Videoübertragung.

In der Anwendungsschicht sind die Protokolle für die verschiedenen Anwendungen angesiedelt z.B.:

- FTP: File Transfer Protocol zur Übertragung von Dateien
- SMTP: Simple Mail Transfer Protocol für die elektronische Post (e-mail)
- HTTP: Hypertext Transfer Protocol für das World Wide Web (WWW)
- DNS: Domain Name System für die Adressverwaltung

Bitübertragungsschicht

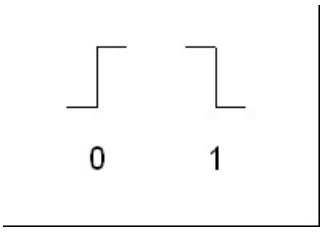
Hier beschäftigt man sich mit Übertragung von Daten auf der physikalischen Ebene.

Definitionen:
Daten sind Zeichen, die Informationen darstellen.
Eine **Nachricht** ist eine endliche Zeichenfolge, die eine Information vermittelt.
Daten bzw. Nachrichten werden zu einer **Information**, wenn ihnen eine Semantik zugeordnet ist.

Die Daten werden durch Bitfolgen dargestellt. Das Übertragungsmedium muss daher die beiden Werte 0 und 1 darstellen können.

Das Signal sollte möglichst keinen Gleichstromanteil enthalten, d.h. längere Folgen von nur 0 oder nur 1. Diese sind auf vielen Medien physikalisch schlecht zu übertragen und die Synchronisation zwischen Sender und Empfänger geht verloren. Um dies zu umgehen gibt es u.a. folgende Verfahren:

- Asynchrone Übertragung: Den 8 Bits eine Byte wird ein Start- und ein oder mehrere Stoppbits hinzugefügt. Das Startbit und die Stoppbits haben unterschiedliche Werte. So ist sichergestellt, dass unabhängig von den Informationsbits ein Wechsel stattfindet. An diesen Bits wird auch synchronisiert.
- Synchrone Übertragung: Nach einer Anzahl von gleichen Bits, z.B. 5 Bits, wird ein Füllbit mit dem anderen Wert eingefügt. Damit ist auf jeden Fall ein Wechsel gesichert, an dem auch wieder synchronisiert werden kann.
- Biphase-Codierung: Hier z.B. bei der Manchester Codierung wird eine 0 dargestellt durch eine 0 am Anfang und eine 1 am Ende der Phase, bei einer 1 ist es umgekehrt. Hier wird allerdings die Frequenz erhöht.



Das Medium, auf dem übertragen wird, ist entweder auf eine Punkt zu Punkt Kommunikation ausgelegt, z.B. bei Modems am Telefonnetz bzw. Ethernet über strukturierte Verkabelung oder es arbeitet als Shared Media, wie z.B. bei Ethernet auf Koax- Kabel oder bei einem Modem an ein TV-Kabelnetz. In diesem Fall müssen die Zugriffe der Teilnehmer auf der nächsten Schicht entsprechend koordiniert werden.

Sicherungsschicht (MAC Ebene)

Aufgabe dieser Schicht ist es zunächst, Bitübertragungsfehler festzustellen. Dazu werden den Nutzdaten zusätzliche Prüfdaten, z.B. ein Parity-Bit zugefügt. Einschließlich des Parity-Bits ist dann die Summe der Bits eines Zeichens immer gerade oder immer ungerade. Ändert sich bei der Übertragung ein Bit, ist dies nicht mehr der Fall. Durch das Parity-Bit werden also 1-Bit Fehler erkannt. Ändern sich 2 oder 4 Bits, wird der Fehler nicht mehr erkannt. Komplexere verfahren sind in der Lage Mehrbit Fehler zu erkennen und z.B. ein Bit Fehler automatisch zu korrigieren.
Bei diesen Selbstkorrigierenden Codes wird die Codetabelle so dünn besetzt, dass nach Änderung eines beliebigen Bits, kein gültiges Zeichen entsteht.

Definition: Der **Hamming-Abstand** zweier Bitfolgen ist die Anzahl von Bitposition, an denen unterschiedliche Werte auftreten.
Für ein **Alphabet** ist der **Hamming-Abstand** das Minimum der Distanzen zwischen allen Paaren des Alphabets.

Einen Hamming-Code erhält man, wenn man die Bits auf Zweierpotenzen, also 1,2,4,8,.. als Prüfbits nimmt und die dazwischen liegenden als Informationsbits.
Der Informationsgehalt der Prüfbits ist dann $2^{\log(n)}=n$, was gerade die Position des fehlerhaften Bits darstellen kann.

Daher muss daher bei b Informationsbits und r Prüfbits immer $b+r+1 \leq 2^r$ sein. Je mehr Informationsbits ein Zeichen enthält, desto geringer ist der Anteil der Prüfbits. Man

verschlüsselt daher nicht 8-Bit, wo 3 Prüfbits gebraucht werden sondern z.B. 32 Bits, wo man 6 Prüfbits braucht, da $32+6 \leq 2^6 = 64$.

Eine andere Möglichkeit, die Fehlerposition festzustellen, ist mit einer Quer- und einer Längsparity zu arbeiten. Für jedes 8-Bit Zeichen wird eine Querparity gebildet. Für jede Bitposition in einem Block von z.B. 32 Bytes wird eine Längsparity gebildet. Aus der Position des Fehlers in beiden Parityinformationen, kann die Koordinate des fehlerhaften Bits ermittelt werden. Dieses Verfahren versagt allerdings, wenn Fehler in 2 oder mehr Bits auftreten. Dafür verwendet man das CRC- Verfahren (cyclic redundancy check).

Eine Bitfolge wird als ein Polynom mit den Koeffizienten 0 und 1 aufgefasst. Die Bitfolge 110001 wird repräsentiert durch das Polynom $X^5+X^4+X^0$. Für die Übertragung wird ein Generatorpolynom vereinbart. Diese hat so viele Stellen, wie fehlerhafte Bitfolgen erkannt werden sollen und das höchste und das niedrigste Bit hat den Wert 1,
Bei einer 16-Bitfolge wird CRC-16 das Polynom $x^{16}+x^{15}+x^2+1$ benutzt.
Diese Polynom kann alle Einzel- und Doppelfehler erkennen und alle Fehlerbündel mit 16 oder weniger Bit.
Dazu wird an die Nachricht Nullen angehängt, und zwar eins weniger als Bits in dem Prüfpolynom. Diese Bitfolge wird durch die Prüffolge dividiert. Statt Addition und Subtraktion wird jeweils ein Exklusives- Oder ausgeführt, d.h. die Berechnung erfolgt jeweils modulo 2.
Diese Berechnung kann für ein gegebenes Prüfpolynom in Hardware erfolgen durch ein entsprechendes Schieberegister.
Beispiel:
Nachricht= **110101101**

```
      Angeh.Nullen
Nachricht  |   Generator
110101101 0000:10011=110000101
10011
 10011
 10011
  00001
  00000
   00010
   00000
    00101
    00000
     01010
     00000
      10100
      10011
       01110
       00000
        11100
        10011
         1111 Rest
```

Es wird dann folgender Rahmen übertragen:

```
110101101|1111
Nachricht|Rest
```

Der Empfänger überprüft den empfangenen Rahmen indem er durch den Generator dividiert. Dabei muss der Rest 0 sein.

```
11010110111111:10011=110000101
10011
 10011
 10011
  00001
  00000
   00010
   00000
    00101
    00000
     01011
     00000
      10111
      10011
       01001
       00000
        10011
        10011
         0000   Rest=0 Übertragung korrekt
```

Die Nachricht ist der übertragene Rahmen ohne den angehängten Rest.
Sei U(x) die Nachricht, G(x) das Generatorpolynom und R(x) der Rest der Division, dann ist:
$x^k \cdot U(x)=G(x)\cdot Q(x)+R(x)$
Das übertragene Polynom $T(x)= x^k \cdot U(x)+R(x)$. Nach obiger Formel gilt dann:
$x^k \cdot U(x)+R(x)=G(x)\cdot Q(x)+R(x) +R(x)$
Bei der binären Arithmetik ist die Addition aber das exclusive Oder, damit ist R(x)+R(x)=0.
Es ist daher:
$x^k \cdot U(x)+R(x)=G(x)\cdot Q(x)$, d.h. das übertragene Polynom T(x) ist ohne Rest durch das Generatorpolynom teilbar.

Soll das Polynom T(x) übertragen werden und es kommt ein fehlerhaftes Polynom H(x)=T(x)+E(x) an, dann ist E(x) das Fehlerpolynom. Jedes Bit in E(x) ist ein gekipptes Bit in der Übertragung.
Teilt der Empfänger [T(x)+E(x)]/G(x) so ist der Divisionsrest von E(x)/G(x), wie oben gezeigt, immer 0. E(x)/G(x) ist aber nur dann ohne Rest Teilbar, wenn E(x) ein Vielfaches von G(x) ist. Enthält G(x) aber 2 Terme und E(x) nur einen Term, so kann dies nie der Fall sein. Daher werden alle Einbit Fehler erkannt. Entsprechende zahlentheoretische Überlegungen können auch für Mehrbit Fehler gemacht werden.
Für CRC-16 ergibt dies, das erkannt werden:

- alle Einzel- und Doppelfehler
- alle Fehler mit ungerader Bitzahl
- alle Fehlerbündel mit 16 oder weniger Bits
- mehr als 99% alle Fehlerbündel mit 17 oder 18 Bits.

Aufgabe der MAC (medium access control) Schicht ist es den Mehrfachzugriff auf ein Shared-media zu regeln.
Beim Ethernet wird hierzu das CSMA/CD (carrier sense multiple access/ collision detection) Protokoll benutzt.

Bevor eine Station sendet, prüft sie ob bereits eine andere Station sendet (Carrier sense). Ist der Kanal frei beginnt sie zu senden. Auf Grund der Laufzeiten kann es jedoch trotzdem vorkommen, dass mehrere Stationen gleichzeitig beginnen. Da die Stationen auch beim

Senden den Kanal abhören, wird dies von allen Sendern erkannt(Collision detection). Alle beenden ihre Übertragung und warten für eine bestimmte Zeit, die durch einen Zufallsgenerator ermittelt wird. Damit ist die Wahrscheinlichkeit, dass nach einer Kollision, wieder eine Kollision auftritt gering. Durch die Möglichkeit der Kollision kann keine bestimmte Übertragungszeit garantiert werden. Ebenso kann der Kanal nie zu annähernd 100% ausgelastet werden, da dann die Anzahl der Kollisionen zunimmt.

Auf anderen shared-media werden andere Verfahren benutzt:
Verwendung eines Token: Zwischen den Stationen wird in festgelegter Reihenfolge ein Token weitergereicht. Senden darf nur die Station, die das Token besitzt. Dies bietet sich an, wenn die Stationen in Form eines Ringes verknüpft sind (Token-Ring).
Eine andere Möglichkeit ist den Stationen jeweils Zeitschlitze zur Verfügung zu stellen (TDM time division multiplex). Dieses Verfahren wird bei Funknetzen angewandt.

Ethernet Standard

Das Ethernet wurde 1972-1976 im Forschungszentrum XEROX Palo Alto Research Center entwickelt. Es sollte folgende Anforderungen erfüllen:

- hohe Datenrate (10-1000 Mbit/s)
- keine Speicher- oder Transportlogik im Netz
- Netzdurchmesser 1km
- mehrere 100 Stationen
- keine Zentralkomponente
- faire Zugriffsverteilung für alle Teilnehmer
- einfache Installation und Rekonfiguration

Heute normiert sind folgende Standards:

- 10 Mbit/s über Koaxkabel (10Base5,10Base2) oder Kupferkabel (10BaseTX)
- 100 Mbit/s über Twisted Pair Kupferkabel (Fast-Ethernet 100Base)
- 1000 Mbit/s über Glasfaserleitungen (1000Base-SX, 1000Base-LX) oder über Kupferkabel (1000Base-TX) Gigabit-Ethernet.
- 10000 MBits/s über Glasfaserleitungen (10Gigabit-Ethernet)

Dabei arbeitet man ab Gigabit-Ethernet nur noch mit dedizierten Fullduplex- Verbindungen, sodass keine Kollisionen mehr auftreten können.
Sind Kollisionen möglich, muss die Paketlänge eine gewisse Mindestgröße haben, damit alle Teilnehmer eine Kollision erkennen können. Ebenso muss für die Kollisionserkennung die maximale Entfernung zwischen 2 Stationen begrenzt werden auf 500 bzw. 185 Meter,
Mehrere Netze, die diese Bedingungen einhalten, können jedoch gekoppelt werden. Dafür gibt es zwei Möglichkeiten:

- Hub (Konzentrator): Er leitet ein Paket, das er von einem Netzsegment bekommen hat, an alle anderen Netzsegmente weiter.
- Switch: Empfängt der Switch ein Paket von einer Station in einem Netzsegment, so weis er, in welchem Segment sich diese Station befindet. Pakete an diese Station werden danach nur noch an dieses Segment geschickt. Mit der Zeit kennt der Switch die Segmente aller aktiven Stationen, sodass bei einer Übertragung nur noch die betroffenen Segmente belegt werden. Ist der Empfänger in dem gleichen Segment, wie der Sender, wird das Paket vom Switch nicht behandelt. Sind an den Switch 2*n Segmente angeschlossen, muss er in der Lage sein, maximal n gleichzeitige Übertragungen zu realisieren.
- Bridge: Dies ist ein Switch, der 2 Netzsegmente verbindet.

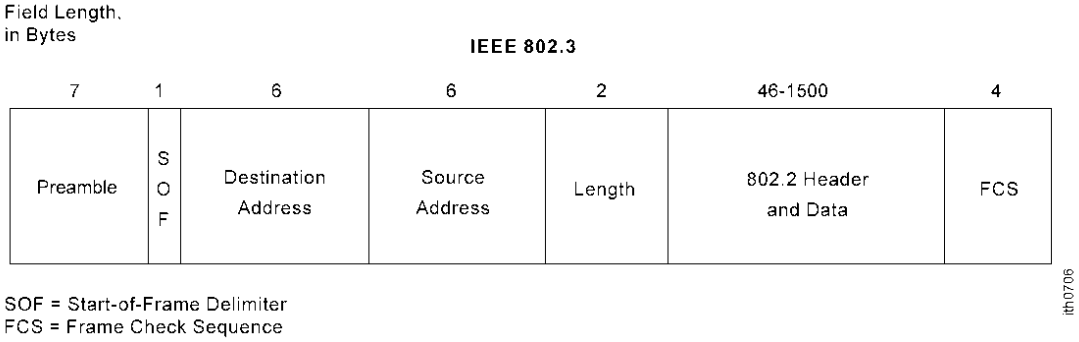
Bei einer strukturierten Verkabelung ist jede Station über eine eigene Leitung an einen Hub oder an einen Switch angeschlossen. Die Hubs und Switchs haben sind wieder an einen übergeordneten Switch angeschlossen (Uplink), bis die oberste Ebene erreicht ist. Von einem voll-geswitchten Netz spricht man, wenn jede Station an einen Switch angeschlossen ist.

Ethernet ist der im lokalem Netzwerk (LAN local area network) meist genutzte Standard. Auch in den anderen Bereichen MAN (Metropolitan area network) und WAN (Wide area network) nutzt man zunehmend Ethernet, da die benötigten Geräte billiger sind als bei anderen Techniken.

Aufbau eines Ethernet Paketes

Ein Ethernet-Paket besteht aus folgenden Elementen

- Präambel (64 Bit)
  Bitmuster zur Synchronisierung. Zunächst 7 Byte mit der Folge 10101010 und ein Start Frame Delimiter 10101011.
- Empfängeradresse (48 Bit)
- Senderadresse (48 Bit)
- Pakettyp/Länge (16 Bit)
  Kennzeichen des Protokolls auf der Vermittlungsebene, dass übertragen wird (IP, ARP usw.)
- Daten
- CRC-Checksumme (32 Bit)



Die Adressen der Ethernetadapter werden weltweit eindeutig vergeben. Die Nutzdaten können maximal 1500 Byte betragen. Bei Gigabit Ethernet werden Pakete immer auf mindesten 512 Byte aufgefüllt, sonst wäre keine Kollisionserkennung möglich.

Beim normalen Ethernet ist die minimale Paketlänge 64 Byte =512 Bit. Zur Kollisionserkennung muss der Anfang des Paketes der anderen Station angekommen sein, bevor das eigene Paket beendet ist. Bei 10MBit Ethernet benötigt die Präambel (64 Bit) 64*100 nsec=6.4 µsec.
In einer µsec legt das Licht 300m zurück (300000 km/sec), das Signal im Kabel etwa die Hälfte=150 m. In 6.4 µsec also etwa 1000 Meter. Die maximale Ausdehnung des Netzes darf dann 500 Meter, betragen, da die Station am anderen Ende nach 3.2 µsec noch mit einer Übertragung beginnen kann. Bei Fast-Ethernet hätte man demnach nur noch eine Ausdehnung von 50 Metern, daher wird dort das gesamte Paket (mindestens 512 Bit) zur Kollisionserkennung genutzt, die Ausdehnung kann dann 400 Meter betragen. Bei Gigabit-Ethernet hat man eine mindest Paketlänge von 4096 Bit und kann das damit ausgleichen. Diese maximale Ausdehnung muss jedoch nicht beachtet werden bei einer Vollduplexübertragung, da dann keine Kollisionen auftreten können. Die Länge einer

Verbindung ist dann nur noch von den physikalischen Grenzen abhängig, z.B. Dämpfung des Lichtes in einer Glasfaserleitung.