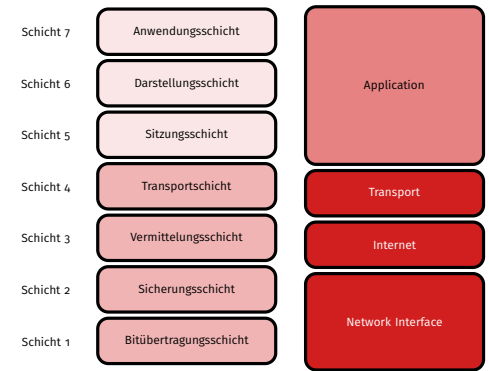


OSI Referenzmodell vs TCP/IP Stack



Vorteile des Schichtenmodells
Durch Abstraktion kann jede Schicht gesondert überlegt werden

Nachteile des Schichtenmodells
Es entsteht ein Overhead dadurch das jede Schicht einen Header anhängt

OSI Schicht 2 im Detail
Ihre Aufgabe ist es, die Verbindungen zu verwalten. Dazu gehört auch das Anfordern und Freigeben. Sie fasst Folgen von Informationen zu Datenpaketen zusammen bzw. löst (größere) logische Einheiten, die von einer oberen Ebene kommen, zu (kleineren) Datenpaketen auf. Fehler werden im Zusammenhang mit ganzen Datenpaketen betrachtet. Zudem werden hier Fehler, die auf der Bitübertragungsschicht nicht feststellbar sind, erkannt und zum Teil korrigiert.

Funktionen: Aufbau/Abbau von Vermittlungsabschnitten, Folgekontrolle, Fehlererkennung und Behebung, Flusskontrolle, Überwachung von Schicht 1

Im LAN durch IEEE spez.
Logical Link Control (LLC) Media Access Control (MAC)

TL;DR; Prüfen - immer ganze Pakete; kleine Daten von unten (S1) zusammenhängen; Große von oben (S3) zerteilen

TCP/IP Protokolle

TCP/IP	OSI	Data	Protokolle
Application	Anwendungs.	Daten	DHCP, FTP, HTTP(S), SMTP, SSH
	Darstellungs.	Daten	JPEG, MPEG, PICT, TIFF
	Sitzungs.	Daten	NetBIOS, NFS, PAP, SCP, SQL
Transport	Transport.	Segments	TCP, UDP
Internet	Vermittelungs.	Packets	IPv(4/6), ICMP, IGMP, IPsec, RIP
Networkl.	Sicherungs.	Frames	ARP, ATM, CPD, PPP, STP, Token Ring
	Bitüber.	Bits	Ethernet, BlueTooth, 802.11 WIFI

TCP Sendet bei Fehler erneut

UPD Ignoriert Fehler (z.b. Streaming)

Übertragungstechnik

Bitrate bits per second (bits/s or bps) Anzahl der pro Sekunde übertragenen Bits.

Baudrate (Schrittweite) Anzahl der pro Sekunde übertragenen Zeichen/Symbole. Wie viele Bit/s ein Baud dabei ist hängt von der Kodierung ab

Bandbreite kommt aus Audio- und Hochfrequenztechnik, in der Regel die Übertragungsrate oder Datenrate gemeint ist. Es gibt allerdings einen Zusammenhang zwischen der Bandbreite und der Übertragungsrate, da bei der Datenübertragung die erreichbare Übertragungsgeschwindigkeit von der Bandbreite und der Codierung abhängen. Wird pro Hertz ein Bit codiert, dann entspricht die Übertragungsrate in Bit pro Sekunden (bit/s) dem Bandbreitenwert. Bei 100 MHz wären dies 100 Mbit/s, werden zwei Bits pro Hertz codiert ergibt sich ein Wert von 200 Mbit/s. Dieser doppelte Wert ergibt sich, wenn in jeder Halbwelle des Sinussignals ein Bit übertragen wird.

Übertragungsmedien

Zweidrahtleitung
Sie besteht aus zwei isolierten Kupferleitungen, die in der Regel verdreht sind (twisted pair). Das Verdrehen mindert Einstreuungen durch benachbarte Leitungen. Oft sind mehrere Paare gemeinsam mit einer - ev. geschirmten - Ummantelung versehen.

Koaxialkabel
Bei Basisbandübertragung sind Übertragungsraten von 10MBit/s üblich.

Lichtwellenleiter
Lichtwellenleiter können Daten in Form von Lichtimpulsen übertragen. Ihre Bandbreite ist aufgrund der hohen Frequenz des Lichtes enorm hoch. Das Einspeisen in den Lichtwellenleiter erfolgt durch eine LED (light emitting diode) oder eine Laserdiode. Beide senden Licht aus, wenn sie von elektrischem Strom durchflossen werden. Der Empfänger besitzt für die Rückwandlung eine Photodiode.

Terrestrischer Funk
Eingesetzt wird dies als Richtfunk in unwegsamen, dünn besiedelten Gebieten oder über sehr weite Entfernungen, wenn eine konventionelle Verkabelung technisch nicht rentabel ist. Da zwischen Sender und Empfänger eine Sichtverbindung herrschen muss, sind die Einsatzmöglichkeiten beschränkt. Seit einigen Jahren ist ungerichteter Funk im lokalen Bereich unter dem Begriff Wireless LAN populär, derzeit sind damit bis zu 54 Mbps im Umkreis von ca. 100 m einer Basisstation (Access Point) möglich

Satelliten
Kommunikationssatelliten eignen sich für interkontinentale Verbindungen und für Rundsendesysteme bei denen viele Empfänger die gleiche Nachricht erhalten. Wegen der großen Entfernung unterliegen die Signale z. B. bei geostationären Satelliten einer Verzögerung von ca. 1/5 s. Für das Übertragen von Daten stehen Bandbreiten bis zu ca. 50 Mbit/s zur Verfügung

Codierung

NRZ-Code (non return to zero)

NRZ-Codierung:

Eigenschaften

- hoher Gleichspannungsanteil
- keine Taktrückgewinnung

NRZ-Mark-Codierung bewirkt eine 1 einen Wechsel des Pegels am Beginn der Bitzeit, bei 0 erfolgt keine Pegeländerung. Sie hat die gleichen Nachteile wie die beiden vorhergehenden Codes, zudem muss hier zwischen Sender und Empfänger eine Absprache über den Anfangszustand existieren

RZ-Code (return to zero)

RZ-Codierung:

Eigenschaften

- hoher Gleichspannungsanteil
- keine Taktrückgewinnung

Manchester

Manchester-Codierung: (bi-phase)

Eigenschaften

- quasi kein Gleichspannungsanteil
- Taktrückgewinnung (Flanke immer zur Bitmitte)

Einsatzgebiete
Manchester Ethernet
NRZI (non return to zero inverted) Glasfaser, im Endeffekt verdrehtes NRZ

4B/5B Code
Die 4B/5B-Codierung wird in Hochgeschwindigkeitsnetzen benutzt. Bei dieser Leitungscodierung werden alle Daten in 4-Bit-Einheiten, einem Nibble oder Quadbit, unterteilt und nach einer Tabelle in 5-Bit-Einheiten (Symbole) umcodiert. Daher auch die Bezeichnung „4 Bit Nibble to 5 Bit Symbol“
Diese Codiertabelle ist so aufgebaut, dass unabhängig von den Eingangsdaten nie Symbole mit mehr als drei Nullen in Folge auftreten. Der Vorteil dieser Codierung liegt darin, dass man Non Return to Zero Inverted (NRZ-I) nutzen kann, ohne dass bei langen Null-Sequenzen die Synchronisation verloren geht. Nachteilig ist der 25%ige Overhead, der durch die Umsetzung von 4-Bit- auf 5-Bit-Einheiten entsteht. Von den 32 verschiedenen Zeichen, die mit dem 4B/5B-Code erzeugt werden, werden 16 zur Nutzdatenübertragung benötigt, die restlichen 16 für Steuerzwecke. Manchester-Codierung kann aus wirtschaftlichen Gründen in Hochgeschwindigkeits-LANs nicht verwendet werden, da sie bei jedem übertragenen Bit zweimal den Status wechselt und damit die doppelte Bandbreite belegt.

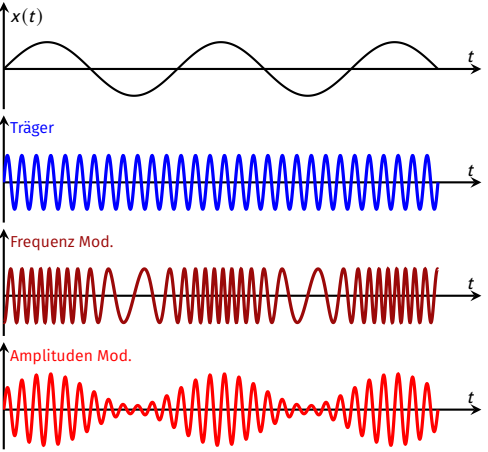
TL;DR; 4 Bits in in Quadbit mit einem Bit mehr kodiert, keine 3 Nullen hintereinander möglich. NRZ-I möglich ohne Synchro. zu verlieren.

Bitstuffing
Bit-Stuffing oder Bitstopfen nennt man das Einfügen von informationslosen Binärelementen in bitorientierten Protokollen zur Unterbrechung langer Null- oder Einsen-Bitfolgen.
Durch das Einfügen von informationslosen Binärzeichen, den Füll-Bits, werden Fehlinterpretationen von langen gleichbleibenden Bitfolgen vermieden. Das Bitstopfen erfolgt auf der Sicherungsschicht; die eingefügten Bits werden senderseitig berücksichtigt und empfangsseitig erkannt oder entfernt. Das Bit-Stuffing dient der Vermeidung von Signalmustern, die im

Datenfeld eines Frames als Steuerzeichen interpretiert werden können.

Modulation

TL;DR; Notwendig um über größere Distanz zu übertragen
Bei der Übertragung per (analoger) Telefonleitung oder per Funk werden die Binärwerte einem höherfrequenten Signal (Sinusträger) aufmoduliert. Dazu ist ein **Modem (Modulator-Demodulator)** notwendig. Im einfachsten Fall verwandelt ein Modem den seriellen Bitstrom beispielsweise in Töne unterschiedlicher Höhe, für die "0" einen tieferen Ton und für die "1" einen höheren Ton. Wenn eine Station nur in jeweils einer Richtung sendet und die Gegenstelle während dieser Zeit in Ruhe verbleibt, kann man die maximale Bitrate verwenden (Halbduplex-Betrieb). Wenn aber beide Stationen gleichzeitig senden und empfangen wollen (Voll duplex-Betrieb), sinkt die Datenrate. Damit die Daten über die Leitung kommen, müssen sie auf ein Trägersignal moduliert werde.



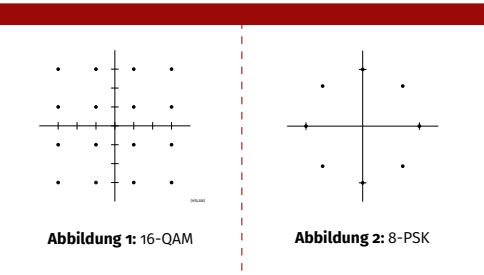
Frequenzmodulation
Bei der Frequenzmodulation wird die Frequenz (Tonhöhe) bei einem Signal bei konstanter Amplitude verändert (FSK=Frequency Shift Keying, Frequenzumtastung). Den Wertigkeiten "1" und "0" werden zwei verschiedene Frequenzen zugeordnet. Zum Duplexbetrieb werden unterschiedliche Träger-Frequenzen für den Hinweg (Originate) und Rückweg (Answer) verwendet. Eine Unterbrechung (Ausfall des Trägers) ist erkennbar.

Amplitudenmodulation
Bei der Amplitudenmodulation (ASK=Amplitude Shift Keying, Amplitudentastung) wird die Amplitude (Signalspannung) des Signals verändert, das eine konstante Frequenz besitzt. Im einfachsten Fall erfolgt dies durch Ein- und Austasten des Trägers. Die Grundfrequenz des Trägers ist wesentlich höher, als die Anzahl der Austastvorgänge. Es ist das einfachste Verfahren, aber Unterbrechung und Nullbits sind voneinander nicht unterscheidbar.

PSK / QAM
PSK=Phase Shift Keying, Phasenumtastung
Bei der Phasenmodulation (PSK=Phase Shift Keying, Phasenumtastung) hat das Signal eine konstante Frequenz. Es werden hier Phasensprünge in die Sinusschwingung "eingebaut". Stellen Sie sich eine Sinusschwingung vor. Ein Phasensprung führt dann zu einer bestimmten Amplitude, die vom Phasenwinkel abhängt, d. h. die Sinuswelle wird in ihrem Schwingungsanfang um

den entsprechenden Phasenwinkel verändert. Mit PSK sind hohe Übertragungsraten erreichbar, aber es wenden auch hohe Anforderungen an die Hardware gestellt.

Quadratur-Amplituden-Modulation
QAM = PSK + Amplitudenmodulation



Betriebsarten

Richtung der Übertragung

- Simplex** eine Richtung, z.B. Radio Fernsehen.
- Halbduplex** beide Richtungen, Sender immer laut Protokoll.
- Vollduplex** Beide können gleichzeitig senden. Auf Schicht 1 getrennte Adern für beide Richtungen notwendig.

Parallele vs. Seriell

- parallel** mehrere Bits (meistens ein Byte) werden gleichzeitig auf verschiedenen Adern übertragen
- seriell** einzelne Bits eines Bytes werden hintereinander übertragen, meits niedrigste zu höchster Wertigkeit

Synchronisation

Anpassen dees Taktes des Senders auf den des Empfängers.

asynchrone Übertragung

Bei der asynchronen Übertragung erfolgt das Abstimmen des Empfangstaktes zum Beginn jedes einzelnen Bytes.

Der Name asynchrone Übertragung ist etwas irreführend, er bezieht sich auf die beliebig lange Pause zwischen einzelnen Bytes. Dieses Verfahren stellt zwar keine allzu großen Anforderungen an die Schaltungstechnik, hat aber den Nachteil, dass die Synchronisation sehr häufig erfolgen muss. Der Aufwand in Form von zusätzlichen Start- und Stopp-Bits macht diese Übertragung ineffizient.

synchrone Übertragung

gewährleistet die Synchronität zwischen Sender und Empfänger über einen längeren Zeitraum. Dies wird durch einen Code, der sich zur Taktrückgewinnung eignet, erreicht. Mehrere Bytes werden zu einem Übertragungsblock zusammengefasst und ohne Pause übertragen. Zur besseren Synchronisation des Empfängers stellt der Sender dem Übertragungsblock meist noch einen Vorspann genau definierter Länge mit einem speziellen Bitmuster voran. Der Empfänger verwendet diesen Vorspann zur Feinabstimmung seines Taktgenerators.

Übertragung und Vermittlung

Frequenz- und Zeitmultiplexverfahren

Frequenzmultiplexverfahren(frequency division multiplexing, FDM) teilt das Frequenzpektrum der Leitung unter den einzelnen logischen Kanälen auf. Damit erhält jeder Benutzer exklusiv ein eigenes Frequenzband.

Zeitmultiplexverfahren(time division multiplexing, TDM) es wechseln sich die Benutzer der Reihe nach ab. Jeder erhält für eine kurze Zeitdauer die ganze Bandbreite der Leitung.

Der Datenverkehr zwischen Rechnern stellt jedoch andere Anforderungen: Hier muss das Netzwerk kurzfristig eine hohe Datenmenge übertragen, andererseits treten aber auch Phasen ohne Datenverkehr, also längere Pausen, auf.

Leitungsvermittlung

End-to-End exklusiv. Die Leitungsvermittlung entspricht weitgehend der Sprachübertragung im Telefonnetz.

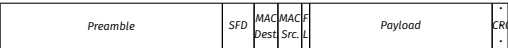
Paketvermittlung

Bei der Paket- od. Speichervermittlung wird keine direkte Verbindung zwischen den Endteilnehmern aufgebaut. Der Sender übermittelt die Nachricht in Form von Paketen – bei Paketvermittlung hat das Paket eine feste Länge – an den ersten Vermittlungsknoten. Dieser speichert das Paket und reicht es über weitere Vermittlungsrechner in Richtung Empfänger weiter. Die den Endteilnehmern zur Verfügung gestellte Bandbreite kann so dynamisch aufgeteilt werden. Allerdings kann bei der Paketvermittlung eine Überlastung der Vermittlungsrechner entstehen. Die Abrechnung orientiert sich in der Regel an der übertragenen Datenmenge, während die Gebühren bei der Leitungsvermittlung von der Zeit abhängen.

Pakete, Frames und Prüfsummen

Frame definiert Paket für bestimmtes Netzwerk (minimale, maximale Länge, Format)

Beispiel Ethernetframe



*SFD: Sync. Frame Delimiter, F L: Frame Length

Packet Switching

- Für Fairness
 - Daten in kleine Einheiten unterteilen (Packets)
 - Weitergabe des Senderechts nach jedem Paket möglich
- Art des Zeitmultiple

Fehlererkennung

Parity Bit: Ein Byte wird mit einem zusätzlichen Parity Bit versehen. Es kann sich dabei um gerade (Quersumme ist 0) oder ungerade (Quersumme ist 1) Parität handeln. Dieses Verfahren ist unsicher, es kann lediglich einen Fehler eines einzigen Bit erkennen, zusätzlich hat es auch einen hohen Overhead. Es wird z. B. bei RS-232 verwendet

Prüfsumme: Über ein ganzes Paket wird eine Prüfsumme über die einzelnen Bytes oder Worte gebildet und im Trailer platziert. Die Prüfsumme entsteht z. B. durch die aritmetische Summe oder durch XOR-Verknüpfung. Der Overhead ist wesentlich besser als bei einem Parity Bit, besonders bei großen Paketlängen. Allerdings ist die Sicherheit nicht besonders gut.

CRC: Cyclic Redundancy Check, Hier wird wieder aus dem ganzen Paket eine Art Prüfsumme erzeugt und im Trailer verschickt. Allerdings ist der Algorithmus komplizierter, er basiert auf der Division von Polynomen. Dabei werden die einzelnen Bit des Datenblocks als Koeffizienten eines Polynoms aufgefasst und die CRC so gebildet, dass das durch Konkatenation von Datenblock und Prüfsumme entstehende Polynom durch ein vorab spezifiziertes Polynom G teilbar ist. In der Praxis erfolgt diese Berechnung sehr effizient in Hardware mittels Schieberegister und XOR-Gatter. Bei geeigneter Wahl von G ist dieses Verfahren sehr sicher

Lokale Netze

Klassifizierung nach Ausdehnung der Netze

LAN - Local Area Network

- ein einziger Eigentümer
 - einfache, nicht redundante Topologie
 - homogene Ausstattung
- MAN** - Metropolitan Area Network
- WAN** - Wide Area Network
- weltumspannendes Netz – das Internet
 - mehrere Eigentümer
 - redundante (und sich ändernde) Topologie
 - heterogene Ausstattung

Identifizierung von Stationen = Adressierung

Adressen notwendig, da alle Stationen (am Shared Medium) Frame hören

Adressen in Ethernet

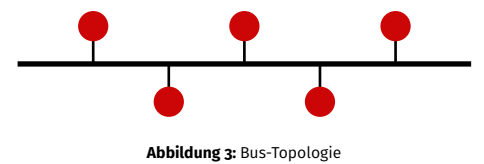
MAC Adressen, standardisiert, 6 Bytes.

Arten von (Ziel-)Adressen

- unicast** eine bestimmte Station
 - broadcast** alle Stationen im Netzwerk
 - multicast** Teilmenge der Stationen im Netzwerk
- Empfänger akzeptiert immer Frames an Unicast und Broadcast.

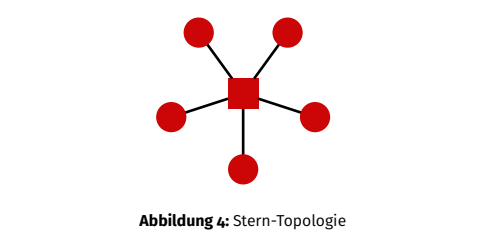
Topologien

Bus



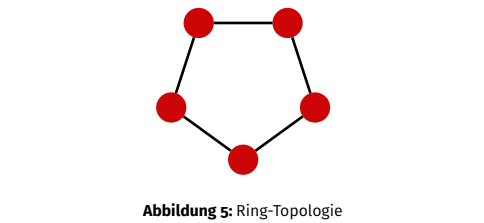
Bus
Leitung von allen Hosts benutzt, Broadcasts einfach zu realisieren Enden vom Bus müssen terminiert werden um Reflexionen zu vermeiden, ursprüngliche Topologie von Ethernet
Verkabelungsaufwand
⬇️ geringer Verkabelungsaufwand
Ausfallsicherheit
⬇️ mittlere Ausfallsicherheit
Ausbreitung von Signalen
<ul style="list-style-type: none">nur maximal ein Teilnehmer sendet gleichzeitigSignal breitet sich über ganzes Kabel ausalle Teilnehmer hören NachrichtZugriffsverfahren bei Ethernet: CSMA/CD

Stern



Stern
explizit genutzte Verbindungen vom Hub zu jedem Host (nur Individual-Traffic) gängige Topologie in LANs
Verkabelungsaufwand
⬆️ hoher Verkabelungsaufwand
Ausfallsicherheit
⬆️ gute Ausfallsicherheit (außer Hub)

Ring



Ring
Sender eines Host mit Empfänger des nächsten Host verbunden (Stille Post)
Verkabelungsaufwand
⬇️ mittlerer Verkabelungsaufwand
Ausfallsicherheit
⬇️ geringe Ausfallsicherheit
Eigenschaften
Frames wandern in eine Richtung, nicht adressierte Stationen leiten Frames unverändert weiter, mehrere Technologien
Token Ring - Token Passing
Token: spezieller Frame, Symbol für das Recht zum Senden sehr kurz, nur wenige Bits
Ablauf
<ul style="list-style-type: none">wartet auf Erhalt des Tokenüberträgt dann einen Daten-Frame im Ring, Frame geht um den ganzen Ring, Empfänger kann einfach bestätigen, Sender liest seinen eigenen Frame (inkl. Bestätigung)gibt anschließend Token an nächste Station weiter falls keine Station senden will zirkuliert der Token einfach. Durch Verteiler morphed die Topologie zu einem star-shaped Ring!

Vermascht

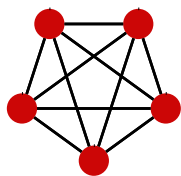


Abbildung 6: (Voll)-Vermascht-Topologie

Vollvermascht
nur hypothetisch, jeder ist mit jedem verbunden.
Verkablungsaufwand
$\ominus \frac{n(n-1)}{2}$ Verbindungen bei n Knoten!
Ausfallsicherheit
\oplus sehr hohe Ausfallssicherheit

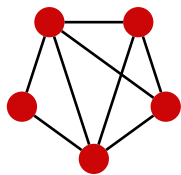


Abbildung 7: (Teil)-Vermascht-Topologie

Teilvermascht
redundante Pfade zu einigen Hosts, typisch für Wide Area Networks, Topologie des Internet
Verkablungsaufwand
\oplus Hoch
Ausfallsicherheit
\oplus hohe Ausfallssicherheit

Kopplung von Netzen

Werden mehrere Netzwerksegmente miteinander verbunden, so erfolgt die Kopplung meist durch aktive Komponenten. In der OSI-Terminologie heißt ein Gerät, welches nicht direkt verbundene Systeme verbindet, ein Relais (relay). Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal ist dabei die Schicht im Referenzmodell, in der die Kopplung realisiert ist:

Repeater verbindet zwei LAN-Segmente, leitet Signale verstärkt weiter, überträgt auch Rauschen und Kollisionen

Bridge: verbindet (ähnlich Repeater) zwei LAN-Segmente, kennt Struktur der Frames, benutzt Adressen, blockt Rauschen und Kollisionen ab, Parallelisierbar

Switch Zentrale bei physikalischer Stern-Topologie, quasi Bündel von Bridges

Router werden eingesetzt um LANs untereinander bzw. auch an ein WAN zu koppeln. Sie arbeiten auf der Schicht 3. Ihnen muss die Topologie des Netzwerkes bekannt sein. Zu ihren Aufgaben zählen das Bestimmen geeigneter Wege, die Flusskontrolle, das Vermeiden von Zyklen, etc.

Gateway: Gateways verbinden Netze, deren Protokolle sich bereits in den Anwendungsschichten unterscheiden. Hier muss die Kopplung über das Anwendungsprogramm erfolgen.

Zugriffsverfahren

Aus Sicht des OSI-Modells ist die Zugriffskontrolle (Media Access Control, MAC) der Schicht 2 (Data Link) zuzuordnen. Sie bildet den unteren Teil dieser Schicht und regelt den Zugriff auf das Übertragungsmedium. Über der MAC-Tielschicht befindet sich die logische Verbindungskontrolle (Logical Link Control, LLC), welche für die korrekte Übertragung zwischen zwei Stationen zuständig ist und – weitestgehend unabhängig vom Zugriffsverfahren – das Frame-Format festlegt

Zuteilungsstrategien vergeben das Recht zum Senden in einer festgelegten Reihenfolge. Diese geordnete Vergabe ist mitunter nur durch einen hohen Aufwand zu realisieren. Sie vermeidet Kollisionen. Beispiele für Zuteilungsstrategien sind der Token Ring und der Token Bus.

Zufallsstrategien gestatten den sendewilligen Stationen den Zugriff in zufälliger Reihenfolge. Solche Strategien lassen Kollisionen zu. Bei einer Kollision überlagern sich die Signale der Sender – die Übertragung muss wiederholt werden.

Zufallsstrategien

ALOHA

Der Ahn moderner Zufallsstrategien wird als ALOHA bezeichnet. Eine sendewillige Station legt ihre Nachricht spontan auf dem Bus an. Der Sender überwacht weder vor dem Beginn des Sendens noch während dem eigentlichen Sendens das Medium. Damit werden Kollisionen zugelassen, die das Signal für den Empfänger unbrauchbar machen. Die Kollisionen werden indirekt durch das Ausbleiben der Empfangsbestätigung erkannt. Dann wiederholt der Sender die Übertragung. Da die Kollisionen sowohl beim Übertragen der eigentlichen Nachricht, als auch beim Übertragen der Quittierung auftreten können, ist dieses Verfahren sehr ineffizient und für den praktischen Einsatz meist unbrauchbar

CSMA

Carrier Sense (CS): Nachricht wird erst gesendet, wenn die Leitung frei ist. Multiple Access (MA) : Mehrfachzugriffe sind trotzdem erlaubt. Trotz des Wartens auf das Freiwerden der Leitung sind Kollisionen immer noch möglich, wenn mehrere Station (fast) gleichzeitig mit dem Senden beginnen. Ein Unterscheidungsmerkmal zur weiteren Verfeinerung ist das Verhalten bei belegter Leitung, d. h. wenn eine sendewillige Station eine belegte Leitung vorfindet:

non-persist: Das Senden bzw. das vor dem Senden zu erfolgende erneute Abhören der Leitung erfolgt erst nach einer zufällig verteilten Zeit. Problematisch ist hier, dass während dieser Wartezeit die Leitung nicht genutzt wird. Dies schränkt die verfügbare Netto-Transferrate ein. Zudem besteht durch das Warten die Gefahr einer Staubildung: Während der Wartezeit können sich die Übertragungsaufträge häufen, was wiederum zu vermehrten Kollisionen führen kann.

persist: Ein erneuter Sendeversuch wird unmittelbar nach dem Freiwerden der Leitung gestartet. Dieses Verfahren versucht die Totzeit zu vermeiden. Warten jedoch mehrere Stationen auf das Freiwerden, dann beginnen alle gleichzeitig mit dem Senden, was sofort zu Kollisionen führt.

p-persist: Diese Variante versucht einen Kompromiss zwischen den beiden anderen Verfahren zu finden. Eine sendewillige Station macht unmittelbar nach dem

Freiwerden der Leitung mit der Wahrscheinlichkeit p einen Sendeversuch. Daraus folgt, dass sie umgekehrt mit der Wahrscheinlichkeit 1 – p erst nach einer zufällig gewählten Zeitspanne die Leitung prüft. Konkrete Werte von p sind an die Parameter der Übertragung wie Geschwindigkeit, Übertragungshäufigkeit und Nachrichtenlänge angepasst.

Das Verfahren CSMA versucht die Anzahl der Kollisionen durch Abhören der Leitung zu verringern. Dabei werden Kollisionen lediglich indirekt, also durch das Ausbleiben der Bestätigungen erkannt. Ein Teil der Leistungsfähigkeit geht dabei verloren: Ein Sender überträgt trotz Kollision den Rest seiner Nachricht, obwohl diese für den Empfänger bereits unbrauchbar ist.

CSMA/CD

CSMA/CD erweitert CSMA um die Kollisionserkennung (Collision Detection (CD)). Zumindest während der Startphase der Übertragung liest ein Sender gleichzeitig von der Leitung. Damit kann er kontrollieren, ob am Bus auch tatsächlich das von ihm angelegte Signal erscheint. Tritt eine Kollision auf, so kann der Sender dies erkennen – er bricht den Sendeversuch ab. Damit wird die Leitung effizienter genutzt. Da jede Station vor dem Senden die Leitung abhört, kann eine Kollision nur am Beginn des Sendeversuches auftreten. Die Zeitspanne, innerhalb der eine Kollision möglich ist, ergibt sich aus der max. Ausbreitungszeit der Signale auf der Leitung. Wesentliche Faktoren sind hierbei die elektrischen Eigenschaften und die Länge des Kabels. Auch hier gibt es non-persist, persist und p-persist. Das persist Verfahren liefert die besten Ergebnisse.