

IEEE 802.3 - Ethernet

Die DIX-Gruppe

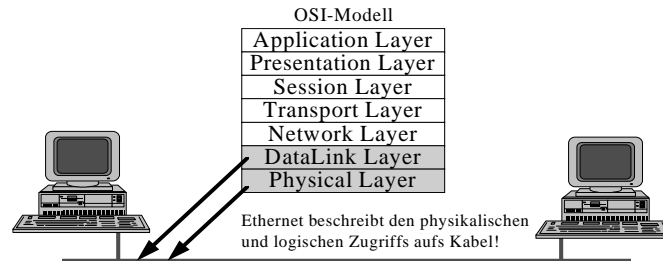
1980 hatten die Firmen *Digital Equipment Corporation, Intel und Xerox (DIX)* die Ergebnisse eines gemeinsamen Projektes zur Spezifikation eines Basisband-LANs als Ethernet V1.0 bezeichnet. Gegenüber dem Experimental-Ethernet wurde die Übertragungsrate des Mediums von 3 Mbit/s auf 10 Mbit/s angehoben; die Spezifikation wurde vervollständigt und präzisiert mit dem erklärten Ziel, bezüglich der spezifizierten Schichten die Kompatibilität heterogener Systeme als Netzteilnehmer zu erreichen. Diese Spezifikation wurde eingebracht in das Local Network Standards Committee des IEEE und im wesentlichen unverändert neben den anderen Normungsansätzen im ersten zusammenhängenden Status-Report des IEEE project 802 als Draft B im Oktober 1981 veröffentlicht. Die DIX-Gruppe arbeitete ebenfalls an der Vervollständigung der Ethernet-Festlegungen weiter. Als Ergebnis der Bemühungen, die Version V1.0 an die IEEE-Entwürfe anzupassen, wurde 1982 die Spezifikation DIX Ethernet V2.0 veröffentlicht, die bis heute Bestand hat.

Ethernet

Ethernet ist das zur Zeit am häufigsten installierte lokale Netz. Zur Verbindung der Knoten benutzte Ethernet ursprünglich ein Koaxialkabel (yellow cable). Seine Übertragungsrate beträgt 10 Mbit/s. Das Zugangsprotokoll ist CSMA/CD. An ein Ethernet-Netz sind maximal 1024 Stationen anschließbar. 1983 wurde *Ethernet durch IEEE 802.3 Type 10Base-5 standardisiert*. Die ISO hat die Standardisierung im ISO-Standard 8802/3 übernommen. Ethernet kann zwischenzeitlich auf allen gängigen Kabeltypen und auf LwL betrieben werden. Es gibt allerdings einige technische und erhebliche logische Unterschiede zwischen den genormten Varianten und dem ursprünglichen »Ethernet«, weshalb man heute immer von »Ethernet« spricht, wenn die ältere Konstruktion gemeint ist und von »802.3« für die genormten Systeme. »Ethernet«- und »802.3«-Stationen können zwar auf dem gleichen physikalischen Netz koexistieren, ohne Zusatzmaßnahmen aber nicht kommunizieren, alleine deshalb, weil die für 802.3-Systeme verbindliche LLC (logical link control) bei »Ethernet«-Systemen völlig fehlt. Heute basieren über 80% aller installierten Anschlüsse auf dem Ethernet V2 Standard. Ethernet / IEEE 802.3 definiert nur die zwei untersten Layer des OSI-Modells, alle anderen Aufgaben müssen durch zusätzliche Produkte wahrgenommen werden!

Einbindung im OSI-Modell

- Ethernet erfüllt im OSI-Modell nur die Aufgaben der Layer 1 & 2. Alle anderen Aufgaben müssen von zusätzlichen Produkten (Protokollen) wahrgenommen werden.

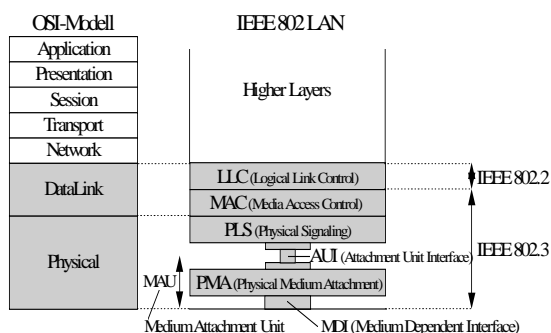


Ethernet-Architektur

Der **Zugriff auf das physikalische Medium des Ethernet** erfolgt über einen **Transceiver**. Dieser ist entweder in einem kleinen Gehäuse am Kabel befestigt, oder er befindet sich direkt auf dem Rechner-Board. Der Transceiver besitzt Einrichtungen zum Einspeisen eines Bitdatenstroms in das Kabel sowie eine Empfangseinrichtung, die gleichzeitig zum Abhören des Kabels dient. Vom Transceiver führt ein sogenanntes **Transceiver-Kabel** zur Workstation. Im Personal Computer oder der Workstation wird die Aufbereitung der zu sendenden und die Auswertung der empfangenen Daten auf einer im Rechner befindlichen Netzkarte vorgenommen. Diese Steckkarte gehört im Grunde noch zum Datennetz, befindet sich aber im Computer. Auf ihr werden auch alle zum Betrieb des Ethernet notwendigen Steuerungsmaßnahmen verwaltet, z. B. das Einkapseln der Daten (Versehen mit headern und trailern), Träger- und Kollisionserkennung und die daraus abzuleitenden Maßnahmen. Neben dem Link-Management ist auf dieser Karte auch das Interface zur Datenstation untergebracht. Der Standard IEEE 802.3 hat weitere Systemvarianten auf unterschiedlichen Übertragungsmedien hervorgebracht. In Abhängigkeit von diesen implizierten Umgebungen können die funktionalen Elemente der Hardware etwas anders verteilt sein (siehe hierzu die Ethernet Übertragungsmedien).

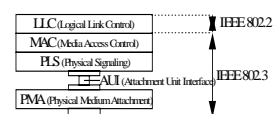
Architekturmodell IEEE 802.3

- Die Aufgabenteilung im (älteren) 802.3-Modell entspricht nur teilweise dem ISO/OSI-Referenzmodell.



Aufgaben von 802.3 / Ethernet

- Teilaufgaben der IEEE 802 Layer 1 & Layer 2
 - LLC Logical Link Control (nach IEEE 802.2)
 - Fehlerbehandlung (Erkennen, Beheben, Quittieren)
 - Flusssteuerung
 - Reihenfolgesicherung (queuing)
 - MAC Zugriffsverfahren (CSMA/CD nach IEEE 802.3)
 - PLS Taktgenerierung (Synchronisierung & Zeitkontrolle)
 - Signalcodierung (Manchestercode)
 - Erzeugen der Frame-Präambel
 - AU Transmitter / Receiver Modul
 - Kollisionserkennung
 - Carrier Sensing
 - PMA Kabel, Stecker
 - Medium Interface



Ethernet-Uebertragungsmedien

Ethernet kann auf verschiedenen Übertragungsmedien implementiert werden:
Auf Koaxialkabeln, Glasfasern und verdrehten Leitungen.

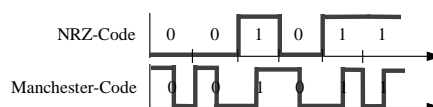
Bei sonst gleicher Technik ist der **Zugriff auf die Leitungen** vom **attachment unit interface (AUI) unterschiedlich**. Die medium access unit (MAU) hat hier eine auf das veränderte Medium angepasste PMA (physical medium attachment) und MDI (medium dependent interface). Bei den Varianten in twisted pair (TP) sind zwei Drahtpaare notwendig, je eines für die Send- und für die Empfangsrichtung.

Auf Kuperkabeln werden die Signale in **Manchester-Code** übertragen:

Die Manchestercodierung ist ein Verfahren, bei dem die binären Informationen durch Spannungswechsel innerhalb der Bitzeit dargestellt werden. Dadurch können Sender und Empfänger wesentlich leichter synchronisiert werden, denn der Übergang in der Mitte der Bitzeit gibt einen zuverlässigen Takt. Die erste Hälfte der Bitzeit enthält die Repräsentation des zu übertragenden komplementierten Bitwertes, die zweite Hälfte repräsentiert den Bitwert (spezifiziert für IEEE 802.3 Ethernet). Die Manchester-Codierung stellt eine XOR-Verknüpfung aus Taktsignal und NRZ-codiertem Signal dar.

Medien für CSMA/CD-Netze

- Ethernet ist auf vier verschiedenen Medien genormt:
 - Standard Ethernet (10 Base 5)
 - Thin Wire Ethernet (10 Base 2)
 - Twisted Pair Ethernet (10 Base T)
 - Optisches Ethernet (10 Base F)
- Die Bezeichnung 10BaseX bedeutet:
 - 10' für '10MB/s'
 - Base X für 'X * 100m' für maximale Segmentlänge des Kabels, respektive 'T' für 'Twisted Pair' und 'F' für 'Fiber Optic'.
- Auf allen Medien wird mit einer Datenrate von 10MB/s übertragen.
- Auf den Kupferkabeln werden die Signale im Manchester-Code gesendet.



Um die einzelnen 802.3-Implementationen unterscheiden zu können, werden die Übertragungsmedien hinsichtlich ihrer Übertragungsrate und der maximalen Segmentlänge spezifiziert: Übertragungsrate in Mbit/s, Übertragungstechnik Basisband (BASE), Breitband (BROAD), maximale Segmentlänge (in 100-m-Segmenten).

Nach dieser Notation ergibt sich für das Ethernet:

Auf dem ursprünglich verwendeten bekannten **yellow cable** (RG-8A/U) bei 10 Mbit/s Übertragungsrate und 500 m max. Segmentlänge die Spezifikation **IEEE 802.3 10Base-5**.

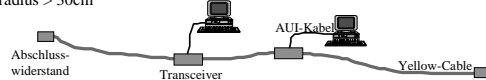
Das **CheaperNet (Thinwire-Ethernet)**, das Standard-Koaxialkabel benutzt (RG-58 A/U), wird wegen der geringeren Segmentlänge (185 m) spezifiziert als: **IEEE 802.3 10Base-2**.

10Base-5 - Norm

10Base-5 ist die klassische Ausführung eines CSMA/CD-Bussystems mit Basisbandübertragung und entspricht in vielen Teilen dem Basis-Ethernet DIX V.2. Ein Koaxialkabelsegment ('yellow cable') darf 500 m nicht überschreiten und muß 50 Ohm/1W Terminatoren haben. Höchstens 100 MAUs dürfen an einem Segment angeschlossen werden, wobei ein Minimalabstand von 2,5 m nicht unterschritten werden darf.

Standard Ethernet (Yellow Cable) 10Base5

- Koax Kabel Typ RG-8A/U (Kabelimpedanz 50 +/- 20 Ohm)
- Koax-Länge < 500m (Abschlusswiderstände 50 Ohm / 1 Watt)
- Fertig konfektionierte Teilstücke von 23,4; 70,2; 117; 257,4 und 500m (ungerade, ganzzahlige Vielfache der halben Wellenlänge bei 5 MHz)
- Signallaufgeschwindigkeit 0,77c ($c=300'000\text{km/s}$)
- Kabeldämpfung: 8,5dB/500m bei 10MHz
- Maximal 100 Medium Access Units (MAU; Transceiver) pro Segment
- Maximal 1024 Medium Access Units pro Netz
- Minimaler Abstand zwischen zwei MAUs: 2,5m
- Laufzeitverzögerungen: 2165ns/Coax-Segment; 2570ns/Link-Segment
- Biegeradius > 30cm



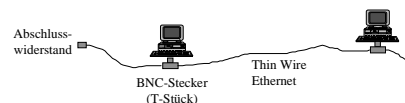
Mit einer minimalen Signallaufgeschwindigkeit von 0,77c ergibt sich eine Laufzeitverzögerung von höchstens 2165 ns. Ein AUI-Kabel darf höchstens 50 m lang werden; bei einer minimalen Signalgeschwindigkeit von 0,65c ergibt sich hier eine maximale Laufzeitverzögerung von 257 ns. Zwischen zwei Stationen dürfen höchstens fünf Segmente und vier Repeater liegen, die 'eigenen' Segmente eingeschlossen; von den Segmenten dürfen allerdings nur drei Segmente Koaxialsegmente sein. Die anderen Segmente ergeben sich aus den max. 1000 m langen Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zwischen den Remote Repeatern. So ist also die maximale Entfernung zwischen zwei Stationen 2500 m. 10Base-5-Systeme besitzen eine LLC, DIX-V.2-Systeme nicht. *Das führt dazu, daß IEEE 10Base-5- und Ethernet V.2-Stationen zwar am selben Kabel koexistieren, sich aber gegenseitig keine Nachrichten zuschicken können.*

10Base-2 - Norm

Der Standard **10Base-2** beschreibt eine Ethernet-Variante mit einem dünnen Koaxialkabel des Typs RG 58 A/U. Sie entstand aus dem Wunsch nach einer Alternative zu dem sperrigen yellow cable der 10Base-5-Version. Man nennt diese Version auch **Cheapernet**. Die Datenrate beträgt 10 Mbit/s, und die Topologie ist wie bei 10Base-5 ein Bus, allerdings nur von der max. Länge 185 m pro Segment ohne Repeater. An ein Segment können bis zu 30 Stationen angeschlossen werden.

Thin Wire Ethernet (Cheapernet) 10Base2

- Koax Kabel Typ RG-58A/U oder RG-58C/n (Kabelimpedanz 50 +/- 20 Ohm)
- Koax Länge < 185m (Abschlusswiderstände 50 Ohm / 1 Watt)
- Signallaufgeschwindigkeit 0,65c ($c=300'000\text{km/s}$)
- Kabeldämpfung: 8,5dB/185m bei 10MHz
- Maximal 30 Medium Access Units (MAU; 'aktive T-Stücke') pro Segment
- Maximal 1024 Medium Access Units pro Netz
- Minimaler Abstand zwischen zwei MAUs: 0,5m
- Biegeradius > 8cm



Im Gegensatz zum 10Base-5 befindet sich eine Cheapernet-MAU meistens komplett auf der Adapterkarte, die dann zum Anschluß an das Segmentkabel einen BNC-T-Konnektor bzw. eine BNC-Buchse besitzen muß. 10Base-2 kennt ebenfalls das Konzept der Repeater. Mittels geeigneter Geräte lassen sich 10Base-5- und 10Base-2-Segmente untereinander mischen, wobei ähnliche Randbedingungen gelten wie bei 10Base-5. Ein reines Cheapernet kann somit maximal 925 m lang werden. Allgemein wird aber heute die sternförmige Twisted-pair-Verkabelung des sogenannten 10-Base-T als günstigere Technologie betrachtet.

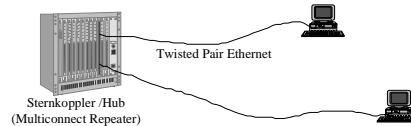
10Base-T - Norm

Seit Anfang 1988 gibt es eine CSMA/CD-Version für *verdrehte Leitungen (Twisted pair - cable)*, die mit 10 Mbit/s arbeitet und in den Normungsgremien unter der Notation **IEEE 802.3 Type 10Base-T** geführt wird. 'T' steht für twisted pair. **10Base-T** ist der Teil des 802.3-Standards, der den Einsatz einer sternförmigen Verkabelungsstruktur auch für 'Ethernet-artige' Systeme erlaubt. 10Base-T spezifiziert ein CSMA/CD-Netz mit 10 Mbit/s auf UTP (unshielded twisted pair).

Der 'Bus' konzentriert sich bei dieser 802.3-Version in einem Hub (repeater unit). Alle Stationen sind mit diesem Hub über Vierdraht-UTP verbunden. Die max. Entfernung zwischen zwei MAUs ohne Zwischenverstärker wurde auf 100 m festgelegt, wobei der Hub ebenfalls eine Ansammlung von MAUs darstellt, die über den internen Bus des Hubs zusammengeschaltet werden. In diesen 100 m sind allerdings Wandsteckdosen und Rangierverteiler sowie die Entfernungen, z.B. zwischen Endgeräten und Steckdosen, inbegriffen.

Twisted Pair Ethernet 10BaseT

- 4-adriges Kabel, paarweise verseilt; unshielded und shielded (UTP, STP)
- Kabellänge < 100m
- Signallaufgeschwindigkeit 0.58c (c=300'000km/s)
- Bitfehlerrate < 1*10E-7
- Verteiler wird als Repeater ausgebildet
- nur als Punkt zu Punkt Verbindung einsetzbar



10Base-F - Norm

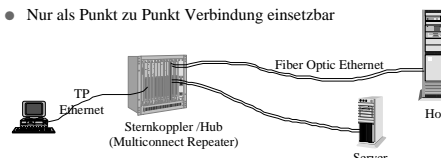
Der jüngste Ethernet-Standard basiert grundsätzlich auf *Glasfaserkabeln*, wobei für Hin- und Rückleitung je eine Faser benötigt wird, und hat die Bezeichnung **10Base-F**.

Grundsätzlich hat man fünf Alternativen - nämlich aktive Ringe, passive Sternkoppler und aktive Sternkoppler mit jeweils synchroner oder asynchroner Übertragung. Neben den aktiven optischen Sternkopplern (IEEE 802.3 **10Base-FA**), gibt es auch einen Standard für passive optische Sternkoppler (IEEE 802.3 **10Base-FP**).

Der passive Sternkoppler unterscheidet sich vom aktiven unter anderem dadurch, daß Medium und Sternkoppler vollständig passiv sind, keine Abstrahlung und keine Stromversorgung haben. Die Entfernungen zwischen FOMAU (fiber optic medium access unit) und Sternkoppler können bis zu 500 m betragen; eine Unterstützung von 1024 Ethernet-Knoten in einem Netzwerk, ohne Einschränkung für gemischte Netzwerke mit nichtoptischen Segmenten ist grundsätzlich möglich.

Fiber Optic Ethernet 10BaseF

- Multimode Glasfaserkabel (Gradientenprofil; CCITT 50/125um; IBM 100/140um)
- Zwei unidirektionale Leitungen pro Verbindung
- Längenbegrenzung nicht durch Dispersion und Dämpfung, sondern durch Laufzeit von 2570ns/Link-Segment
- Galvanische Trennung; keine Störung durch elektromagnetische Felder (EMC)
- Ausdehnung des Netzes bis auf 4500m
- Kabeldämpfung < 5db/km bei 10MHz
- Hauptsächlich im Backbone und bei wichtigen Anschlüssen (Servern) eingesetzt
- Nur als Punkt zu Punkt Verbindung einsetzbar



Das IEEE 802.3 / Ethernet - Funktionsprinzip

IEEE 802.3 / Ethernet beruht auf dem CSMA/CD-Verfahren, einer Untervariante von CSMA:

Carrier Sense Multiple Access (CSMA) - Verfahren

CSMA ist eine technische Leitungsvermittlung, die mehreren Netzstationen gleichzeitig den Zugriff auf einen Kanal erlaubt. CSMA (carrier sense multiple access) bedeutet, daß sich die Stationen dadurch synchronisieren, daß eine sendewillige Station zunächst den Kanal abhört (carrier sensing), bevor sie sendet. Beim CSMA/CD-Verfahren (CD für collision detection) darf eine Station nur dann senden, wenn das Medium nicht schon durch eine andere Station belegt ist. Ist das Medium belegt, wartet die Station so lange, bis das Medium frei ist und sie senden kann. Aufschluß über den Zustand des Mediums bekommt die Station durch das Abhören. Das CSMA/CA (CA für collision avoidance) vermeidet unnötige zusätzliche Kollisionen dadurch, daß die Abarbeitung konfliktbehafteter Sendeanforderungen nicht zufällig, sondern prioritätsgesteuert erfolgt und somit ein deterministisches Verhalten, ähnlich dem Token-Ring-Steuerungsverfahren, erzielt wird. Leider ist CSMA/CA nur bei bestimmten Produkten realisiert und nicht Bestandteil der internationalen Standardisierung. IEEE 802.3 / Ethernet verwendet das:

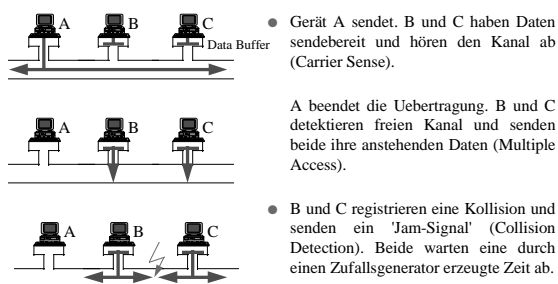
Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection (CSMA/CD) - Verfahren

Das CSMA/CD Verfahren realisiert einen Vielfachzugriff mit Leitungsabfrage und Kollisionserkennung (listen while talking). CSMA/CD ist eine Random-access-Zugriffsmethode, die bei lokalen Netzen mit Busstruktur mehreren Netzstationen den Zugriff auf den Kanal regelt. Unter den möglichen CSMA-Varianten (siehe oben) legt der Standard CSMA/CD das sogenannte 1-persistent-Protokoll (persistent = beharrlich) fest.

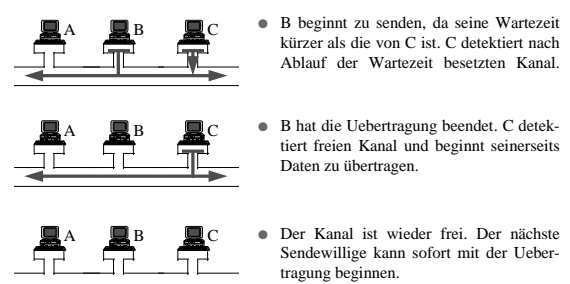
Regelung der Kanalzuteilung bei CSMA/CD:

Die sendewillige Station überwacht den Kanal (**carrier sensing**, listen before talking). Ist der Kanal frei, wird die Übertragung begonnen, jedoch frühestens 9,6 µs (interframe gap = Ausbreitungszeit) nach Freiwerden des Mediums. (Belegt kann der Bus sein, weil alle Stationen gleichberechtigt auf den Übertragungskanal zugreifen können - **multiple access**.) Ist der Kanal belegt, wird der Kanal weiter überwacht, bis er nicht mehr als belegt erkannt wird. Dann wird sofort mit der Übertragung begonnen. Während der Übertragung wird der Kanal weiter abgehört (listen while talking). Wird eine Kollision entdeckt (**collision detection**), wird die Übertragung sofort abgebrochen und ein spezielles Störsignal (jamming signal) auf den Kanal geschickt. Nach Aussenden des Störsignals wird eine bestimmte Zeit (backoff) gewartet und die CSMA-Übertragung, beginnend mit dem ersten Schritt (dem carrier sensing), neu versucht.

CSMA/CD Zugriffsverfahren

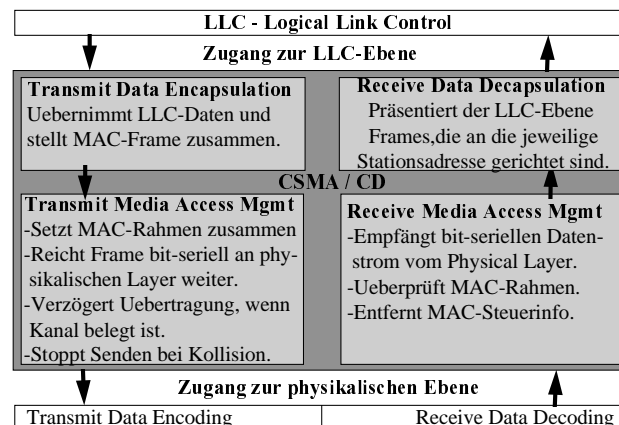


CSMA/CD Zugriffsverfahren (2)



Aufgaben der MAC-Ebene

Funktionalität der MAC-Ebene



IEEE 802.3 / Ethernet - Frameformat (MAC-Frame)

Beim *Ethernet* gibt es zwei Versionen: Einerseits die DIX-Versionen (von Digital Equipment Corporation, Intel und Xerox): DIX V1.0 (alt, heute nicht mehr relevant) und **DIX V2.0**. Daneben steht die vom Institute of Electrical and Electronic Engineers (**IEEE 802.3**) genormte Version. Wenn man von Ethernet spricht, meint man in aller Regel die standardisierte IEEE-Version. Beide Versionen unterscheiden sich in ihrem Datenformat. Ob Präambel, frame delimiter, Ziel- und Quelladresse, ob Typen- oder Datenfeld; es gibt zwischen den unterschiedlichen Versionen Differenzen. (Die Unterschiede werden in den nachfolgenden Darstellungen aufgezeigt.) Die Verfahren sind inkompatibel, können aber über das gleiche Netz laufen.

Das **MAC-CSMA/CD-Frame-Format** gemäß **IEEE** besteht aus (Abweichungen zu Ethernet werden in den Darstellungen aufgeführt):

- **Präambel**: Dient dem Empfänger zur Erreichung einer Bitsynchronisation und zur Lokalisierung des ersten Frame-Bits.
- **start frame delimiter/SFD**: Das Bitmuster 10101011 kennzeichnet den Frame-Beginn.

MAC-Frame: Aufbau

Der MAC-Frame (Medium Access Control) besteht aus:

- Präambel
- Adressfelder (Sender und Empfänger)
- Längen- (bei IEEE 802.3) / Typenfeld (bei Ethernet)
- LLC-Daten (Protokolle höherer OSI-Layer)
- Frame-Check-Sequence FCS (Cycle Redundancy Check CRC)

Präambel	Ziel-adresse	Sende-adresse	Länge / Typ	Daten, respektive Protokolle höherer Schichten	FCS (CRC)
8 Byte	6 Byte	6 Byte	2 Byte	46 - 1500 Byte	4 Byte
Minimallänge MAC-Frame : 64 Bytes (ohne Präambel)					
Maximallänge MAC-Frame : 1518 Bytes (ohne Präambel)					

MAC-Frame: Präambel

Präambel	Ziel-adresse	Sende-adresse	Länge / Typ	Daten, respektive Protokolle höherer Schichten	FCS (CRC)
----------	--------------	---------------	-------------	------------------------------------------------	-----------

- IEEE 802.3 - Präambel
 - Länge 56 Bits (7 Bytes)
10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010
Erzeugt in Manchester codierter Form bei 10MB/s ein symmetrisches Signal von 5MHz. Ermöglicht den PLS-Modulen die Synchronisation.
 - Start Frame Delimiter SFD (1 Byte)
10101011
Die beiden letzten Bitwerte (11) signalisieren den Start des Frames.
- Ethernet - Präambel
 - Länge 64 Bits (8 Byte)
10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010
10101011 -> in der Praxis KEIN Unterschied zu 802.3!

- **source address, destination address:** Es sind 16- oder 48-Bit-Adressen, aber nur einheitliche Längen innerhalb eines LAN erlaubt. Das erste Bit unterscheidet zwischen Individualadressen und Gruppenadressen, das zweite Bit zwischen lokalen und globalen Adressen.
- **length:** Kennzeichnet die Anzahl der Oktetten (Gruppen aus 8 Bits) im LLC-Datenfeld.

MAC-Frame: Adressfelder

Präampel	Ziel-adresse	Sende-adresse	Länge / Typ	Daten, respektive Protokolle höherer Schichten	FCS (CRC)
----------	--------------	---------------	-------------	------------------------------------------------	-----------

- IEEE 802.3 - Destinationaddress (DA) & Sourceaddress (SA)
 - Länge 48 Bit (6 Byte)
 - Jede Station hat eine ein-eindeutige Adresse (wird von der Firma Xerox an die Hersteller von Kommunikationsgeräten abgegeben).
 - Das zuerst gesendete Bit entscheidet, ob es sich um eine individuelle Stationsadresse oder um eine Gruppenadresse (Multicast, Broadcast) handelt.

48 Bit - Adressformat (bspw. 08'00'2B'0A'01'EF_{hex})

I/G	U/L	46-Bit-Adresse
-----	-----	----------------

I/G=0 - Individualadresse; I/G=1 - Gruppenadresse (bspw. Broadcast: FFFFFFFFhex)
 U/L=0 - Global verwaltete Adresse (Xerox); U/L=1 - Lokal verwaltete Adresse

- Ethernet - Destinationaddress (DA) & Sourceaddress (SA)
 Identisch mit 802.3 jedoch ohne Unterscheidung global/lokal verwaltete Adresse.

MAC-Frame: Länge - / Typfeld

Präampel	Ziel-adresse	Sende-adresse	Länge / Typ	Daten, respektive Protokolle höherer Schichten	FCS (CRC)
----------	--------------	---------------	-------------	------------------------------------------------	-----------

- IEEE 802.3 - Längenfeld
 - Länge 16 Bit (2 Byte)
 - Gibt die LLC-Datenlänge in Bytes an. Dadurch ist vor Rahmenende die Gesamtlänge des Frames bekannt (einfachere Erkennung für CRC).
- Ethernet - Typfeld
 - Hat an Stelle der LLC-Länge eine Typusinformation betreffend Produzent und Art der Mitteilung (Protokoll).
 - Beispiel: Packet Type 60'04 bedeutet: Firma Digital, LAT-Protokoll
- Das Länge-/Typfeld steht den höheren Protokollebenen (Layer) als Informationsfeld zur Verfügung und wird nicht vom Data-Link-Layer interpretiert! Da das Typenfeld bei Ethernet immer >1500 ist (Maximalwert beim IEEE 802.3 Längenfeld), können beide Protokolltypen miteinander koexistieren!

- **LLC data:** Enthält die Daten, die innerhalb der LLC-Schicht erzeugt und an die MAC-Schicht übergeben wurden.
- **PAD:** Beliebige Füllbits zur Erreichung der minimalen Frame-Länge, die für ein vernünftiges Arbeiten des CSMA/CD-Verfahrens nötig sind. Die maximale Frame-Länge ist implementierungsabhängig, die minimale ebenfalls und ist bei Ethernet 1518, respektive 64 Bytes ohne Präampel.
- **frame check sequence field (FCS):** Mit Hilfe des Generatorpolynoms wird das Cyclic-redundancy-check-Verfahren auf die Bitsequenz angewendet, beginnend mit den Adreßfeldern bis einschließlich des PAD-Feldes. Ungültige MAC-Frames werden nicht an die LLC-Schicht ausgeliefert.

MAC-Frame: LLC-Daten

Präampel	Ziel-adresse	Sende-adresse	Länge / Typ	Daten, respektive Protokolle höherer Schichten	FCS (CRC)
----------	--------------	---------------	-------------	------------------------------------------------	-----------

- IEEE 802.3 und Ethernet - LLC-Daten
 - Länge 46...1500 Bytes (zwingend ein Vielfaches von 8 Bit)
 - Hier sind die Daten der nächsthöheren Layer untergebracht. Ueber die Struktur dieser Daten besitzt der Data-Link-Layer (Verbindungsebene) keine Informationen (völlige Transparenz).
 - Um korrekte CSMA/CD-Operationen (Kollisionserkennung bei langen Leitungen, Laufzeitverzögerungen) zu gewährleisten, muss der MAC-Frame (ohne Präampel und Start Frame Delimiter) eine Mindestlänge von 46 Bytes haben. Wird diese unterschritten, werden Füllzeichen (PAD's) hinzugefügt. Wird also beispielsweise ein Buchstabe (8 Bit, 1 Byte) übertragen, so werden zusätzlich 45 Byte Padding-Infos mit transferiert.
 - Da die Daten für den LLC-Layer transparent sind, ist zwischen IEEE 802.3 und Ethernet kein Unterschied vorhanden.

MAC-Frame: Frame Check Feld

Präampel	Ziel-adresse	Sende-adresse	Länge / Typ	Daten, respektive Protokolle höherer Schichten	FCS (CRC)
----------	--------------	---------------	-------------	------------------------------------------------	-----------

- IEEE 802.3 und Ethernet - Frame Check Sequence
 - Länge 32 Bit (4 Byte)
 - Dieses Feld enthält den über den Frame (Ziel-, Quelladresse, LLC-Länge, LLC-Daten (inkl. ev. PADs) berechneten CRC-Wert (Cycle Redundancy Check). Anhand des 32-Bit-Wertes kann der Frame-Empfänger Übertragungsfehler mit hoher Wahrscheinlichkeit feststellen.
 - Fehler die zu ungültigen Frames führen:
 - LLC-Länge nicht mit tatsächlicher Länge konsistent.
 - Framelänge kürzer als 64 Byte oder länger als 1518 Byte.
 - Länge des MAC-Frames endet nicht auf einer Byte-Grenze (Alignment).
 - Der im FCS-Feld übertragene Wert entspricht nicht dem errechneten CRC.

100 MB/s - Ethernet

Die Entwicklung von 100 Mbit/s schnellen Ethernet-Netzwerken erfolgte fast zeitgleich Ende 1992 mit den Vorschlägen für das 100Base-VG (siehe IEEE 802.12) und das 100Base-X (siehe IEEE 802.3U).

100Base-VG-AnyLAN: Der erste Vorschlag berücksichtigte bereits zukünftige Multimedia-Anwendungen und umfaßte sowohl Ethernet- als auch Token-Ring-Topologien. Dieser Vorschlag wurde unter der Projektgruppe 100Base-VG-AnyLAN (AnyLAN soll die verschiedenen berücksichtigten LANs zum Ausdruck bringen) für die Standardisierung vorbereitet.

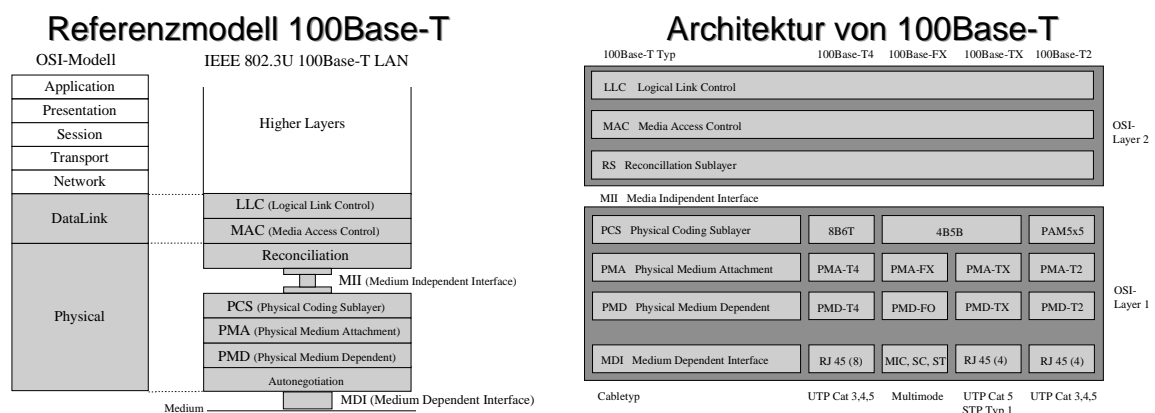
100Base-X - Fast Ethernet: Der zweite Vorschlag 100Base-X zielte auf eine Kombination von CSMA/CD und FDDI ab. Dabei steht das X für eine Box, mit der alle physikalischen Anschlußmöglichkeiten der FDDI-Technologie für die CSMA/CD-Technik verwendet werden können. 100Base-X wurde Bestandteil der 100Base-T - Familie, die oft auch 'Fast Ethernet' genannt wird.

Beiden Arbeitsgruppen gemeinsam ist, dass man grundsätzlich von einer strukturierten Verkabelungs-Topologie ausgeht. Die klassische Busstruktur wird nicht mehr berücksichtigt. Es wird eine sternförmige Verkabelung mit intelligenten Knoten (Hubs, Switches) vorausgesetzt. Diese Basis hat sich jedoch heute weitgehend als Standard etabliert.

100Base-T - Fast Ethernet (IEEE 802.3U)

Der Arbeitskreis führte im Frühjahr 1993 kurz die Bezeichnung IEEE 802.30, wurde aber unmittelbar danach in IEEE 802.3U umbenannt. Alle Technologien, die die MAC-Ebene beibehalten, also am eigentlichen CSMA/CD-Verfahren nichts ändern, werden in dieser Arbeitsgruppe behandelt.

Offiziell laufen alle Vorschläge unter der Bezeichnung **100Base-T**, wobei diese sich wiederum in die Verfahren **100Base-T4** und **100Base-X** strukturieren. Letztere kennt die Varianten **100Base-FX** und **100Base-TX**. Im Herbst '96 definiert wurde die Normung des **100Base-T2**.



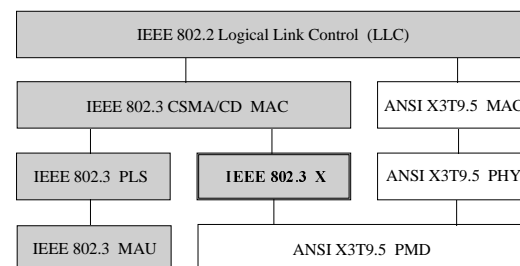
Das Referenzmodell von 100Base-T umfasst, wie im Bild oben dargestellt, die ISO-Ebenen 1 und 2. Neu an diesem Modell ist das Medium Independent Interface (MII), das eine einheitliche Schnittstelle zur physikalischen Ebene darstellt. Ebenfalls neu ist der Autonegotiation-Sublayer, mit dem eine automatische Abstimmung zwischen zwei Geräten über die zu verwendende Prozedur (10MB/s, 100MB/s, halb- oder voll duplex) erfolgen kann (mehr dazu siehe weiter unten).

100Base-X - Fast Ethernet

Bei der 100Base-X-Technologie wird für die physikalische Ebene von einer Signalisierung nach FDDI ausgegangen. Der Vorteil in diesem Verfahren liegt darin, daß auf bewährte Normen zurückgegriffen werden kann. Die wichtigste Zielsetzung dient dabei auf der Erhaltung der CSMA/CD-MAC-Schicht.

Bei den Derivaten der 100Base-X-Technologie setzt man bei den Übertragungsmedien auf Kategorie-5-Kabel (100Base-TX) sowie auf Multimode-Glasfaser (100Base-FX).

Einbettung von 100Base-X



100Base-TX - Fast Ethernet

Beim 100Base-TX-Standard werden zur Uebertragung der Daten nur UTP-Kabel der Kategorie 5 (gemäss ISO/IEC 11801) sowie STP-Kabel verwendet. Die Impedanz der beim 100Base-TX verwendeten Kabel beträgt 100 Ohm für Unshielded Twisted Pair (UDP) - Kabel und 150 Ohm für das Shielded Twisted Pair (STP) - Kabel. Der 100Base-TX-Standard schreibt die Nutzung von zwei Aderpaaren für die Uebertragung der Daten fest. Auf diesen Aderpaaren wird die Datenrate von 100MB/s durch die MLT-3-Codierung auf 33.33MHz reduziert. Dadurch ist gewährleistet, dass die amerikanischen FCC-Class B-Regeln und die strengeren europäischen Vorschriften EN 55022B zur elektromagnetischen Abstrahlung bei einer Uebertragungsgeschwindigkeit von 100MB/s eingehalten werden. Die Länge eines Twisted-Pair-Segments beträgt aufgrund der maximalen zulässigen Dämpfung von 13 dB bei 12,5 MHz (nur) 100 Meter. Als Standardverbinder wurde bei 100Base-TX die 8-polige RJ-45-Buchse festgeschrieben. 100Base-TX ist bis auf die Steckerbelegung, die gleich der von 10Base-T ist, an die TP-PMD-Definition von FDDI (X3T9.5) angelehnt! (Siehe oben - 'Einbettung von 100Base-X')

100Base-FX - Fast Ethernet

Die 100Base-FX Spezifikation basiert auf den für FDDI festgeschriebenen Standards (ANSI X3T9.5, resp. ISO 9324-3). 100Base-FX entspricht 100% der FDDI-PMD Norm. 100Base-FX verwendet zur Uebertragung der Daten die Glasfasertechnik (Multimode-, resp. Gradientenfasern vom Typ 50/125um oder 62.5/125um). Die Länge eines Glasfasersegmentes beträgt aufgrund der Laufzeit maximal 412 Meter. Bei Verwendung von 100Base-FX-Bridges oder -Switches können bis 2000 Meter überbrückt werden. Als Standardstecker stehen mehrere Optionen zur Verfügung: Der Duplex-SC-Stecker nach ANSI X3T9.5 oder der Media-Interface-Connector (MIC) sowie der ST-Stecker.

100Base-T4 - Fast Ethernet

Als Standardkabel für 100Base-T4 wird ein 8-adriges (4-paariges) Kabel Unshielded Twisted Pair (UTP) mit einer Impedanz von 100 Ohm, bzw. 120 Ohm (IBM Typ 1) festgeschrieben. 100Base-T4 legt zur Uebertragung die Kabel der Kategorie 3 (gemäss ISO/IEC 11801) (oder besser, bspw. Cat-5) zugrunde. Gegenüber den Kategorie-5-Kabeln weisen die Kat-3-Kabel ein wesentlich schlechteres Uebertragungsverhalten und Uebersprechen auf.

Bei 100Base-T4 werden drei Paare für die Datenübertragung und ein Paar für die Kollisionserkennung verwendet. Durch die 8B6T-Codierung der Daten wird eine Uebertragungsfrequenz von 25 Mhz erreicht, wodurch der Einsatz der oben aufgeführten Cat-3-Kabel gewährleistet werden kann.

Da in Europa oftmals Cat-5-Kabel, aber nur 2 Paare pro Anschluss vorliegen, findet der 100Base-T4-Standard in Europa wenig Verbreitung!

100Base-T2 - Fast Ethernet

100Base-T2 ist die jüngste Definition. Hierbei handelt es sich um ein Verfahren, bei dem über zwei Aderpaare und Cat-3-Kabel gefahren werden kann. Dieser Standard wird (zumindest in Europa) kaum grosse Verbreitung finden, da bei uns Cat-5-Kabel weit verbreitet sind! Diese Norm zielt auf den amerikanischen Markt, wo ältere strukturierte Verkabelungen vielerorts nur den Cat-3 Vorschriften genügen. Möglich macht die Norm ein spezielles Uebertragungsverfahren. Die PAM5x5 (5-level Pulse Amplitude Modulation) beruht auf einer dual-duplex-Basisbandübertragung über zwei Kabelpaare (gleichzeitiges Senden und Empfangen in beide Richtungen auf beiden Kabelpaaren). Die gesendeten Symbole werden aus einer 5x5 Symbolmatrix ausgewählt.

Autonegotiation

Durch die Verwendung des RJ45-Steckers durch die verschiedenartigsten Protokolle (von 10Base-T bis 100Base-T halb-/vollduplex) entsteht ein Kompatibilitätsproblem, das durch eine automatische Erkennung der Gegenseite gelöst wird. Mit dem Autonegotiation-Verfahren können Repeater oder Endgeräte feststellen, über welche Funktionalität die Gegenstelle verfügt, so dass ein automatisches Konfigurieren unterschiedlicher Geräte möglich ist.

Das Verfahren erweitert den bei 10Base-T gebräuchlichen Normal Link Pulse (NLP), der zur Leitungsüberwachung alle 16ms gesendet wird, zu einem Fast Link Pulse (FLP), der weitere Informationen über die Möglichkeit des Endgerätes überträgt. FLP und NLP sind insoweit kompatibel, so dass ein Erkennen alter und neuer Geräte möglich ist. Zu beachten ist, dass weder Deman Priority noch FDDI in diese Autonegotiation einbezogen sind!

100Base-VG - AnyLAN Ethernet (IEEE 802.12)

Der Arbeitskreis IEEE 802.12 befaßt sich mit der von Hewlett Packard und AT&T Microelectronics im November 1992 vorgeschlagenen Version eines 100-Mbit/s-Ethernet. Da in dem Vorschlag von Telefonleitungen (voice grade cabling) als Medien ausgegangen wurde, hiess dieser Entwurf IEEE 802.3 100Base-VG. Im Juni 1993 wurde dieser Vorschlag dem IEEE 802.12-Komitee übergeben, um eine Standardisierung zu beantragen. Im September des gleichen Jahres kündigten HP und IBM Pläne an, zusätzlich zu Ethernet auch Token Ring in den Standardisierungsentwurf einzubringen. Es wurden also unterschiedliche LANs in die 100Base-VG-Aktivitäten und -Standardisierungsbemühungen eingebunden, das führte dazu, daß die Arbeitsgruppe in 100Base-VG - AnyLAN umbenannt wurde.

Mit der 100Base-VG-Technologie soll ein natürlicher Übergang vom existierenden 10Base-T-Standard auf eine höhere Geschwindigkeit geschaffen werden.

Wichtige Elemente der 802.3-Technik wurden übernommen. So beispielsweise das Frame-Format, die strukturierte Verkabelung und die Steckerdefinition aus der 10Base-T-Spezifikation. Ziel dieser neuen Technologie sind besonders die neuen Multimedia-Anwendungen.

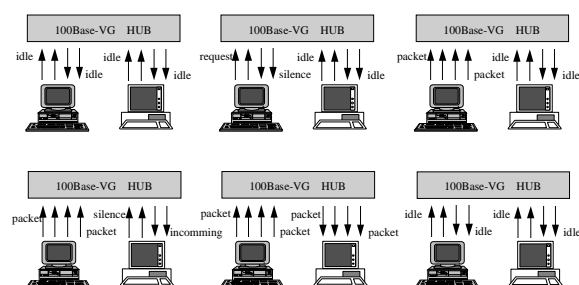
100Base-VG - AnyLAN arbeitet nach dem Demand-Priority-Protokoll (DPP). Die vorgeschlagene Zugangsmethode ist eine Prioritätsbedarf-Steuerung (demand priority) und hat nichts mit CSMA/CD gemein. Da das Priority-Verfahren kein konkurrierender Netzzugriff ist, können (im Gegensatz zum CSMA-Verfahren) Echtzeitanwendungen (Bild, Ton) verwirklicht werden. Bei diesem Verfahren signalisiert jedes Endgerät seinen Sendewunsch mit einer Prioritätskennung (niedrig oder hoch) dem Hub. Der Hub vergibt dann die Senderechte an das nächste Gerät. Die Verteilung der Senderechte erfolgt innerhalb der Prioritätsklassen nach einem Round-Robin-Verfahren. Da die Vergabe der Senderechte beim Hub liegt, kann er bei zeitkritischen Anwendungen wie z. B. bei interaktiven Video / Audio-Anwendungen für eine garantierte Bandbreite sorgen. Damit kann das Medium bis nahe 100% ausgelastet werden.

100 Base-VG Poll-Protokoll-Ablauf:

Eine Station mit Sendewunsch signalisiert diesen an den Repeater. In einem Round-Robin-Verfahren werden die Endgeräte vom Repeater gepollt und erhalten ihre Sendeerlaubnis, sobald der Repeater dazu in der Lage ist. Die Datenübertragung beginnt dann auf allen vier Paaren. Danach analysiert der Repeater den eingehenden Datenstrom und benachrichtigt den Empfänger vom anstehenden Datenpaket. Dieser signalisiert, sobald er in der Lage ist, seine Empfangsbereitschaft, die den Repeater wiederum auf allen vier Paaren mit der Uebertragung beginnen lässt.

Das Verfahren benutzt vier Leitungspaare (8 Adern) zur unidirektionalen Übertragung. Das bedeutet, daß eine Station entweder nur senden oder nur empfangen kann (halb duplex), aber nie beides gleichzeitig. Bei dem Demand-priority-Verfahren wird die gesamte Übertragungsbandbreite unter den aktiven Stationen aufgeteilt. Wie effizient die Bandbreitenzuteilung ist, hängt stark vom MAC-Protokoll und von der momentanen Auslastung des Übertragungsmediums ab. Dieser Ansatz gestattet unter Verwendung geeigneter Codierungsverfahren (ein spezielles 5B/6B-Verfahren, wodurch die maximale Frequenz gesenkt werden kann) die Verwendung der zehnfachen Übertragungsgeschwindigkeit gegenüber dem klassischen Ethernet.

Poll-Verfahren bei 100Base-VG



Durch dieses Verfahren wird die Nutzung von einfachen ungeschirmten Leitungen (UTP) im 100-Mbit/s-Bereich möglich.

Als Kabel genügt ein Voice-grade-Kabel nach EIA/TIA Category 3. Dabei sollen die Störstrahlbestimmungen der Klasse B des FCC und sogar die strengeren europäischen Vorschriften eingehalten werden. Die maximale Entfernung zwischen Endgerät und Hub beträgt 100 m. Mit den anderen 802.3-Systemen (inklusive Fast Ethernet) hat 100Base-VG nur noch das Paketformat und die LLC (logical link control, IEEE 802.2) gemein.

Der 100Base-VG - AnyLAN-Standard sollte als Alternative zu ATM, FDDI und 100Base-T (Fast Ethernet) positioniert werden. Wegen der Unterstützung von Ethernet- und Token-Ring-Topologien wurden dem 100Base-VG-AnyLAN von IBM und insbesondere von Hewlett-Packard große Vorteile bei unternehmensweiten Netzen eingeräumt. Alle anderen grossen Kommunikationsfirmen setzen jedoch auf Fast Ethernet, dies vor allem wegen der Kompatibilität zum klassischen Ethernet. Mittlerweile ist VG-AnyLAN praktisch vom Markt verschwunden!

Auf Ethernet basierende höherschichtige Protokolle

Wie schon erwähnt, deckt IEEE 802.3 / Ethernet nur die OSI-Layer 1&2 ab. Soll eine vollständige Kommunikation aufgebaut werden, müssen zusätzliche (höherschichtige) Protokolle herangezogen werden. Diese können so im Ethernet-Datenfeld verpackt werden, dass verschiedene Protokolle (bspw. DECnet, TCP/IP, XNS) miteinander auf demselben Ethernet-Netzwerk koexistieren können!

Protokollabhängige Frame-Formate

- Wie schon erwähnt, ist der Inhalt des Datenfeldes für den MAC-Layer transparent. Im Datenfeld sind die Pakete der höherschichtigen Protokolle untergebracht.

