

Netzwerk

Ethernet

Ethernet im TCP/IP-Protokollstapel:

Anwendung	HTTP	IMAP	SMTP	DNS	...
Transport	TCP			UDP	
Internet	IP (IPv4, IPv6)				
Netzzugang	Ethernet				

Ethernet im AppleTalk-Protokollstapel (EtherTalk)

Anwendung		AFP	ADSP			
Management	ZIP	ASP		NBP	RTMP	AEP
Transport	ATP					
Internet	DDP					
Netzzugang	ELAP				AARP	
	Ethernet					

Ethernet [ˈiːθər.nɛt] ist eine Technologie, die Software (Protokolle usw.) und Hardware (Kabel, Verteiler, Netzwerkkarten usw.) für kabelgebundene Datennetze spezifiziert, welche ursprünglich für lokale Datennetze (LANs) gedacht war und daher auch als LAN-Technik bezeichnet wird. Sie ermöglicht den Datenaustausch in Form von Datenpaketen zwischen den in einem lokalen Netz (LAN) angeschlossenen Geräten (Computer, Drucker und dergleichen). Derzeit sind Übertragungsraten von 10 Megabit/s, 100 Megabit/s (Fast Ethernet), 1000 Megabit/s (Gigabit-Ethernet) bis 10 Gigabit/s spezifiziert. In seiner traditionellen Ausprägung erstreckt sich das LAN dabei nur über ein Gebäude; auch Ethernet über Glasfaser hat eine begrenzte Reichweite.

Die Ethernet-Protokolle umfassen Festlegungen für Kabeltypen und Stecker sowie für Übertragungsformen (Signale auf der Bitübertragungsschicht, Paketformate). Im OSI-Modell ist mit Ethernet sowohl die physikalische Schicht (OSI Layer 1) als auch die Data-Link-Schicht (OSI Layer 2) festgelegt. Ethernet entspricht weitestgehend der IEEE-Norm 802.3. Es wurde ab den 1990ern zur meistverwendeten LAN-Technik und hat andere LAN-Standards wie Token Ring verdrängt oder, wie im Falle von ARCNET in Industrie- und Fertigungsnetzen oder FDDI in hoch verfügbaren Netzwerken, zu Nischenprodukten für Spezialgebiete gemacht. Ethernet kann die Basis für Netzwerkprotokolle, z. B. AppleTalk, DECnet, IPX/SPX oder TCP/IP, bilden.

Geschichte

Ethernet wurde ursprünglich am Xerox Palo Alto Research Center (PARC) entwickelt. Eine weitverbreitete Geschichte besagt, dass Ethernet 1973 erfunden wurde, als Robert Metcalfe ein Memo über das Potenzial von Ethernet an seine Vorgesetzten schrieb. Er leitete das Protokoll von dem an der Universität von Hawaii entwickelten funkbasierten ALOHAnet ab. Daher auch der Name *Ethernet* (englisch für „Äther“, der nach historischen Annahmen das Medium zur Ausbreitung von (Funk-)Wellen wäre). Metcalfe selbst sagt, dass Ethernet über mehrere Jahre entwickelt worden sei und sich daher kein Anfangszeitpunkt festmachen ließe.

Ursprünglich war es also ein firmenspezifisches und nicht standardisiertes Produkt. Diese erste Version des Ethernet arbeitete noch mit 3 Mbit/s. 1976 veröffentlichten Metcalfe und sein Assistent David Boggs einen Artikel^[1] mit dem Titel *Ethernet: Distributed Packet-Switching For Local Computer Networks.*"

Robert Metcalfe verließ Xerox 1979, um die Nutzung von Personal Computern und LANs zu fördern, und gründete die Firma 3Com. Er überzeugte DEC, Intel und Xerox, mit ihm zusammenzuarbeiten, um Ethernet zum Standard zu machen. Ihre erste Ethernet-Version 1 wurde ab 1980 vom IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) in der Arbeitsgruppe 802 weiterentwickelt. Ursprünglich war nur ein LAN-Standard für Übertragungsraten zwischen 1 und 20 Mbit/s geplant. Ebenfalls 1980 kam noch eine sogenannte „Token-Access-Methode“ hinzu. Ab 1981 verfolgte das IEEE drei verschiedene Techniken: CSMA/CD (802.3), Token Bus (802.4) und Token Ring (802.5), wovon die letzten beiden bald in einer wahren Flut von Ethernet-Produkten untergingen. 3Com wurde dabei ein großes Unternehmen.

Die Arbeiten am Cheapernet-Standard (10BASE2) wurden im Juni 1983 veröffentlicht. Zur gleichen Zeit begann die Arbeit an den Spezifikationen für Ethernet-on-Broadband (10Broad36) und für das StarLAN (1BASE5). Als 1985 der Ethernet-Standard auch als internationaler Standard ISO/DIS 8802/3 veröffentlicht wurde, wurde er binnen kurzer Zeit von über 100 Herstellerfirmen unterstützt. 1986 begannen einige kleinere Firmen mit der Übertragung von Daten im Ethernet-Format auf Vierdrahtleitungen aus dem Telefonbereich (CAT-3). Danach verstärkte das IEEE seine Aktivitäten in den Gebieten Ethernet-on-Twisted Pair, was 1991 zum Standard für 10BASE-T wurde, sowie Ethernet auf Glasfaserkabeln, was 1992 zu den 10BASE-F-Standards (F für Fibre-Optics) führte. Mitte der 1990er Jahre kam es zu einem Tauziehen um den Nachfolge-Standard; auf der einen Seite standen AT&T und HP, die eine technisch elegantere Lösung nach IEEE 802.12 (100BASE-VG) anstrebten, auf der anderen Seite standen die Hersteller der *Fast Ethernet Alliance*, bestehend aus ca. 35 namhaften Firmen wie Bay Networks, 3Com, Intel, SUN, Novell usw., die 100 Mbit/s nach dem altbewährten IEEE-802.3-Standard propagierten.

Letztendlich wurde 1995 der 100-Mbit/s-Standard für Ethernet auf Bestreben der *Fast Ethernet Alliance* gemäß IEEE 802.3u verabschiedet, etwa gleichzeitig mit dem Standard für ein Wireless-LAN mit der Bezeichnung 802.11. Inzwischen nehmen die Arbeiten am 10-Gbit/s-Ethernet und am *Ethernet in the First Mile* (EFM) statt des rein lokalen Betriebs bereits Universitäts- und Stadtnetze ins Visier.

In der Form des Industrial Ethernet findet der Ethernet-Verkabelungsstandard heutzutage immer mehr auch in industriellen Fertigungsanlagen Anwendung. Die weltweite Vernetzung und die dadurch wachsenden Anforderungen an die Datenübertragung – nicht nur für berufliche, sondern auch für private Zwecke – hat dazu geführt, dass auch in Privatgebäuden und sogar Kreuzfahrtschiffen leistungsfähige Netzwerke installiert werden.

Robert Metcalf wurde für seine Verdienste um die Entwicklung des Ethernets im Jahr 2003 die "*National Medal of Technology*"^[2] verliehen.

Bitübertragungsschicht

Ethernet basiert auf der Idee, dass die Teilnehmer eines LANs Nachrichten durch Hochfrequenz übertragen, allerdings nur innerhalb eines gemeinsamen Leitungsnetzes. Jede Netzwerkschnittstelle hat einen global eindeutigen 48-Bit-Schlüssel, der als MAC-Adresse bezeichnet wird. Das stellt sicher, dass alle Systeme in einem Ethernet unterschiedliche Adressen haben. Ethernet überträgt die Daten auf dem Übertragungsmedium dabei im sogenannten Basisbandverfahren, d. h. in digitalem Zeitmultiplex.

CSMA/CD-Algorithmus

→ *Hauptartikel: Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection*

Ein Algorithmus mit dem Namen „Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection“ (CSMA/CD) regelt den Zugriff der Systeme auf das gemeinsame Medium. Es ist eine Weiterentwicklung des ALOHAnet-Protokolls, das in den 1960er-Jahren auf Hawaii zum Einsatz kam.

In der Praxis funktioniert dieser Algorithmus bildlich wie eine Party, auf der alle Gäste ein gemeinsames Medium (die Luft) benutzen, um miteinander zu sprechen. Bevor sie zu sprechen beginnen, warten sie höflich darauf, dass der andere Gast zu reden aufgehört hat. Wenn zwei Gäste zur gleichen Zeit zu sprechen beginnen, stoppen beide und warten für eine kurze, zufällige Zeitspanne, bevor sie einen neuen Anlauf wagen.

Die Stelle, die Daten senden möchte, lauscht also auf dem Medium (Carrier Sense), ob es bereits belegt ist und sendet erst, wenn die Leitung frei ist. Da zwei Stellen gleichzeitig zu senden anfangen können, kann es trotzdem zu Kollisionen kommen, die dann festgestellt werden (Collision Detection), woraufhin beide Stellen sofort mit dem Senden aufhören und eine zufällige Zeit warten, bis sie einen erneuten Sendeversuch starten.

Damit die Kollision festgestellt und eine Sendewiederholung initiiert werden kann, müssen die Datenframes abhängig von der Leitungslänge eine bestimmte Mindestlänge haben. Diese ergibt sich aus der physikalischen Signalausbreitungsgeschwindigkeit und der Übertragungsrate. Bei einer Übertragungsrate von 10 Mbit/s und einer maximalen Entfernung von 2,5 km zwischen zwei Stationen ist eine Mindestlänge von 64 Byte (14 Byte Header, 46 Byte Nutzdaten, 4 Byte CRC) vorgeschrieben. Kleinere Datenframes müssen entsprechend aufgefüllt werden. Für eine Übertragungsrate mit 100 Mbit/s sind eine maximale Segmentlänge von 100 m sowie vier Repeater erlaubt. Damit können zwei Stationen bis zu einer Distanz von 500 m direkt verbunden werden. Ab 1-Gbit/s-Ethernet (1000 Mbit/s) ist eine minimale Framegröße von 520 Byte vorgeschrieben, um noch eine sinnvolle physische Netzwerkgröße zu erlauben.

Auch wenn die Norm IEEE 802.3 den Namen „CSMA/CD“ im Titel hat, spielt diese Form der Kollisionsauflösung heute nur mehr in geringem Maße eine Rolle. Die meisten Netzwerke werden heute im Vollduplexmodus betrieben, bei dem Switches für die Zugriffsauflösung sorgen und keine Kollisionen mehr entstehen können. Trotzdem blieb das Frame-Format, insbesondere der Frame-Header und die für die Kollisionserkennung vorgeschriebene minimale Frame-Länge, bis hinauf zu 10-Gbit/s-Ethernet, unverändert.

Broadcast und Sicherheit

In den ersten Ethernetimplementierungen wurde die gesamte Kommunikation über einen gemeinsamen Bus, der in Form eines Koaxialkabels realisiert war, abgewickelt. An diesen wurden alle Arbeitsstationen per T-Stück (ein Invasivstecker, auch Vampirklemme, Vampirabzweige oder Vampire Tap genannt) angeschlossen. Jede Information, die von einem Computer gesendet wurde, wurde auch von allen empfangen. Die über Ethernet verbundenen Geräte müssen ständig Informationen ausfiltern, die nicht für sie bestimmt sind.

Diese Tatsache kann genutzt werden, um Broadcast- (deutsch: Rundruf)-Nachrichten an alle angeschlossenen Systeme zu senden. Bei TCP/IP beispielsweise verwendet das ARP-Protokoll einen derartigen Mechanismus für die Auflösung der Schicht-2-Adressen. Diese Tatsache ist auch ein Sicherheitsproblem von Ethernet, da ein Teilnehmer mit bösen Absichten den gesamten Datenverkehr auf der Leitung mitprotokollieren kann. Eine mögliche Abhilfe ist der Einsatz von Kryptographie (Verschlüsselung) auf höheren Protokollebenen. Die Vertraulichkeit der Verkehrsbeziehungen (wer tauscht mit wem in welchem Umfang wann Daten aus?) ist aber so nicht zu schützen.

Der Einsatz von Hubs zur Bildung von Multi-Segment-Ethernet-Netzen ändert hier nichts, weil alle Datenpakete in alle Segmente repliziert werden.

In moderneren Ethernetnetzen wurden zur Aufteilung der Kollisions-Domänen zunächst Bridges, heute Switches eingesetzt. Durch diese wird ein Ethernet in Segmente zerlegt, in denen jeweils nur eine Untermenge an Endgeräten zu finden ist. Werden ausschließlich Switches verwendet, so kann netzweit im Full-Duplex-Modus kommuniziert

werden, das ermöglicht das gleichzeitige Senden und Empfangen für jedes Endgerät. Über Switches werden Datenpakete in der Regel direkt vom Sender zum Empfänger befördert – unbeteiligten Teilnehmern wird das Paket nicht zugestellt. Broadcast- (deutsch: Rundruf-) und Multicast-Nachrichten hingegen werden an alle angeschlossenen Systeme gesendet.

Das erschwert das Ausspionieren und Mithören, der Sicherheitsmangel wird durch die Einrichtung einer „geswitchten“ Umgebung allerdings nur verringert und nicht behoben. Zusätzlich zu den Broadcast-Meldungen werden auch die jeweils ersten Pakete nach einer Sendepause – dann, wenn der Switch die Ziel-MAC-Adresse (noch) nicht kennt – an alle angeschlossenen Systeme gesendet. Dieser Zustand kann auch böswillig durch MAC-Flooding herbeigeführt werden. Pakete können auch böswillig durch MAC-Spoofing umgeleitet werden.

Die Sicherheit des Betriebs im Sinne der störungsfreien Verfügbarkeit von Daten und Diensten beruht auf dem Wohlverhalten aller angeschlossenen Systeme. Beabsichtigter oder versehentlicher Missbrauch muss in einer Ethernetumgebung durch Analyse des Datenverkehrs aufgedeckt werden (LAN-Analyse). Switches stellen vielfach statistische Angaben und Meldungen bereit, die Störungen frühzeitig erkennbar werden lassen bzw. Anlass geben zu einer detaillierteren Analyse.

Verbesserungen

Ethernet in seinen frühen Ausprägungen (z. B. 10BASE5, 10BASE2), mit einem von mehreren Geräten gemeinsam als Übertragungsmedium genutzten Kabel (collision domain/shared medium – im Unterschied zu dem späteren geswitchten Ethernet), funktioniert gut, solange das Verkehrsaufkommen relativ zur nominalen Bandbreite niedrig ist. Da die Chance für Kollisionen proportional mit der Anzahl der Sender (englisch „transmitter“) und der zu sendenden Datenmenge ansteigt, tritt oberhalb einer Auslastung von 50 % (und höher) vermehrt ein als *Congestion* (Stau) bekanntes Phänomen auf, wobei Kapazitätsüberlastungen entstehen und somit eine gute Effizienz der Übertragungsleistung innerhalb des Netzwerks verhindert wird. Um dieses Problem zu lösen und die verfügbare Übertragungskapazität zu maximieren, wurde das *Switched Ethernet* entwickelt. Im (pure) switched Ethernet gibt es kein HDX bei Netzwerkkarten so wie allen anderen Komponenten. Daher sind auch keine Hubs mehr zugelassen. Diese müssen dann durch Switches (manchmal auch laienhaft als *Switching Hubs* bezeichnet) ersetzt werden, welche durch ihre FDX-Fähigkeit und die ausschließlichen Punkt-zu-Punkt-Verbindungen sogenannte Collision Domains eliminieren und somit absolut kollisionsfrei arbeiten. Die Verwendung von Switches ermöglicht also eine kollisionsfreie Kommunikation im FDX-Modus, d. h., Daten können gleichzeitig gesendet und empfangen werden, ohne dass es zu Kollisionen kommt. Für Vollduplexbetrieb muss aber die gesamte Infrastruktur – das MDIs aller beteiligten Knoten – dafür ausgelegt sein.

Ethernet flow control

Ethernet flow control (Flusskontrolle) ist ein Mechanismus, welcher die Datenübertragung bei Ethernet temporär stoppt. In CSMA/CD-Netzen konnte auf diese spezielle Signalisierung verzichtet werden, denn hier ist die Signalisierung einer Kollision praktisch gleichbedeutend mit einem Stopp- oder Pausensignal.

Da seit Fast-Ethernet und der Einführung von Switches die Datenübertragung aber praktisch nur noch kollisionsfrei im Vollduplex-Modus stattfindet, und damit auf CSMA/CD-Techniken verzichtet wird, ist eine zusätzliche Flusskontrolle erforderlich, welche es einer Station (beispielsweise bei Überlastung) ermöglicht ein Signal zu geben, dass sie zur Zeit keine weiteren Pakete zugesandt haben möchte. Hierzu wurde die Flow-control-Technik eingeführt. Mit ihr kann eine Station den Gegenstellen signalisieren, eine Sendepause einzulegen und vermeidet so, dass Pakete (zumindest teilweise) verworfen werden könnten. Die Station schickt hierzu einer anderen Station (einer MAC-Adresse) oder an alle Stationen (Broadcast) ein PAUSE-Paket mit einer gewünschten Wartezeit.

Formate der Ethernet-Datenübertragungsblöcke und das Typfeld

Historische Formate

Es gibt vier Typen von Ethernet-Datenblöcken (englisch *ethernet frames*):

- Ethernet-Version I (nicht mehr benutzt, Definition 1980 durch Konsortium DEC, Intel und Xerox)
- Der Ethernet-Version-2- oder Ethernet-II-Datenblock (englisch *ethernet II frame*), der sogenannte DIX-Frame (Definition 1982 durch das Konsortium DEC, Intel und Xerox).

Seit 1983 entsteht der Standard IEEE 802.3. Ethernet ist quasi ein Synonym für diesen Standard. IEEE 802.3 definiert zwei Frame-Formate:

- IEEE 802.3 3.1.a Basic MAC frame
- IEEE 802.3 3.1.b Tagged MAC frame

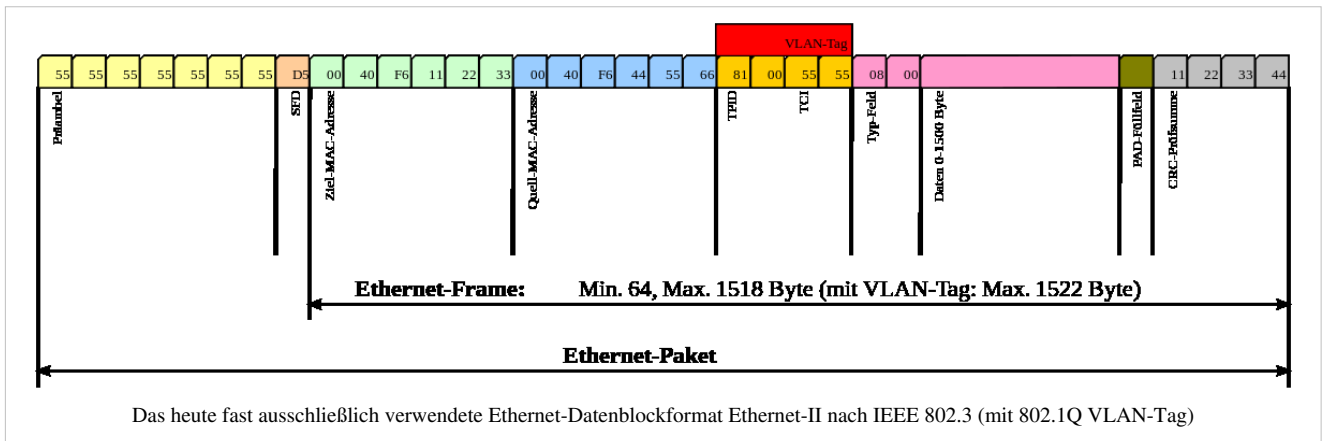
Der ursprüngliche Xerox-Version-1-Ethernet-Datenblock hatte ein 16-bit-Feld, in dem die Länge des Datenblocks hinterlegt war. Da diese Länge für die Übertragung der Frames nicht wichtig ist, wurde es vom späteren Ethernet-II-Standard als Ethertype-Feld verwendet. Das Format von Ethernet I mit dem Längenfeld ist jetzt Teil des Standards 802.3.

Das Ethernet-II-Format verwendet die Bytes 13 und 14 im Rahmen als Ethertype. Auf ein Längenfeld wie im Ethernet-I-Rahmen wird verzichtet. Die Länge eines Frames wird nicht durch einen Zahlenwert, sondern durch die bitgenaue Signalisierung des Übertragungsendes übermittelt. Die Länge des Datenfeldes bleibt wie bei Ethernet I auf 1500 Bytes beschränkt. Auch das Ethernet-II-Format ist jetzt Teil des Standards 802.3, nur die Ethertypen mit Zahlenwerten kleiner als 1500 sind weggefallen, weil jetzt die Zahlenwerte kleinergleich 1500 in diesem Feld als Länge interpretiert werden und gegen die tatsächliche Länge geprüft werden.

IEEE 802.3 definiert das 16-bit-Feld nach den MAC-Adressen als Type/Length-Feld. Mit der Konvention, dass Werte zwischen 0 und 1500 auf das originale Ethernet-Format hindeuteten und höhere Werte den EtherType angeben, wurde die Koexistenz der Standards auf demselben physikalischen Medium ermöglicht. Die zulässigen Werte für Ethertype werden von IEEE administriert. Diese Verwaltung beschränkt sich auf die Vergabe neuer Ethertype-Werte. IEEE nimmt bei der Neuvergabe Rücksicht auf bereits für Ethernet II vergebene Ethertype-Werte, dokumentiert diese aber nicht. So kommt es vor, dass zum Beispiel der Wert 0x0800 für IP-Daten in der IEEE-Dokumentation der Ethertype-Werte fehlt. Ethertype beschreibt das Format bzw. das Protokoll zur Interpretation des Datenblocks. Das LLC-Feld und ein eventuelles SNAP-Feld sind bereits Teil des MAC-Frame-Datenfeldes. Im Tagged-MAC-Frame werden vier Bytes mit dem QTAG-Präfix nach der Quell-MAC-Adresse eingeschoben. Dieses Feld wird durch den Standard 802.1Q definiert und ermöglicht bis zu 4096 virtuelle lokale Netzwerke (VLANs) auf einem physikalischen Medium. Die erlaubte Gesamtlänge des Mac-Frames wird auf 1522 Bytes verlängert, die Länge des Datenfeldes bleibt auf 1500 Bytes beschränkt.

IEEE 802.3 Tagged MAC Frame

Datenframe



Aufbau

Ethernet überträgt die Daten seriell, beginnend jeweils mit dem untersten, niederwertigsten Bit (der „Einerstelle“) eines Bytes. Das bedeutet, dass beispielsweise das Byte 0xD5 als Bitsequenz (links nach rechts) „10101011“ auf die Reise geht. Die Bytes der breiteren Felder werden als BigEndians übertragen, d.h. mit dem Byte mit der höheren Wertigkeit zuerst. Beispielsweise wird die MAC-Adresse im Bild 0x0040F6112233 in dieser Reihenfolge als „00 40 F6 11 22 33“ übertragen. Da das erste Bit eines Frames das Multicast-Bit ist, haben Multicastadressen ein erstes Byte mit einer ungeraden Zahl, z. B. 01-1B-19-00-00-00 für IEEE 1588.

Eine Abweichung betrifft die FCS (Frame Check Sequence, CRC): Da sämtliche übertragenen Bits durch den CRC-Generator vom LSB zum MSB geschoben werden, muss das höchstwertige Bit des höchstwertigen Bytes der CRC an vorderster Stelle übertragen werden. Ein errechneter CRC-Wert von 0x8242C222 wird somit als „41 42 43 44“ an die übertragenen Datenbytes als FCS-Prüfsumme zur Übertragung angehängt.

Im Gegensatz zum Ethernet-Frame befindet sich bei manchen anderen LAN-Typen (beispielsweise Token Ring, FDDI) in einem Frame das höchstwertige Bit eines Bytes an erster Stelle. Das bedeutet, dass beim Bridging zwischen einem Ethernet-LAN und einem anderen LAN-Typ die Reihenfolge der Bits eines jeden Bytes der MAC-Adressen umgekehrt werden muss.

Die Präambel und SFD

Die Präambel besteht aus einer sieben Byte langen, alternierenden Bitfolge „101010...1010“, auf diese folgt der Start Frame Delimiter (SFD) mit der Bitfolge „10101011“. Diese Sequenz diente einst der Bit-Synchronisation der Netzwerkgeräte. Sie war für all jene Geräteverbindungen notwendig, die die Bit-Synchronisation nicht durch die Übertragung einer kontinuierlichen Trägerwelle auch in Ruhezeiten aufrechterhalten konnten, sondern diese mit jedem gesendeten Frame wieder neu aufbauen mussten. Das alternierende Bitmuster erlaubte jedem Empfänger eine korrekte Synchronisation auf die Bit-Abstände. Da bei einer Weiterleitung über Repeater (Hubs) jeweils ein gewisser Teil der Präambel verloren geht, wurde sie in der Spezifikation groß genug gewählt, dass bei maximaler Ausdehnung des Netzwerkes für den Empfänger noch eine minimale Einschwingphase übrig bleibt.

Die Bus-Netzwerkarchitekturen, die auf derartige Einschwingvorgänge angewiesen sind, werden heute kaum mehr verwendet, wodurch sich die Präambel, genauso wie das Zugriffsmuster CSMA/CD, die minimale und maximale Frame-Länge und der minimale Paketabstand (IFG, auch IPG) nur aus Kompatibilitätsgründen in der Spezifikation befinden. Genau genommen sind Präambel und SFD Paketelemente, die auf einer Ebene unterhalb des Frames und damit auch des MACs definiert sein sollten, damit ihre Verwendung vom konkreten physikalischen Medium abhänge. Moderne drahtgebundene Netzwerkarchitekturen sind stern- oder ringförmig und verwenden dauerhaft

eingeschwungene (synchrone) Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zwischen Endteilnehmern und Netzwerkverteilern (Bridges bzw. Switches), die Paketgrenzen in anderer Form signalisieren und daher Präambel und SFD eigentlich unnötig machen. Andererseits ergeben sich durch IFGs und minimale Frame-Längen für Netzwerkverteiler auch gewisse maximale zu verarbeitende Paketraten, was deren Design vereinfacht.

Ziel- und Quell-MAC-Adresse

Die Zieladresse identifiziert die Netzwerkstation, die die Daten empfangen soll. Diese Adresse kann auch eine Multicast- oder Broadcast-Adresse sein. Die Quelladresse identifiziert den Sender. Jede MAC-Adresse der beiden Felder hat eine Länge von sechs Bytes bzw. 48 Bit.

Zwei Bit der MAC-Adresse werden zu ihrer Klassifizierung verwendet. Das erste übertragene Bit und damit Bit 0 des ersten Bytes entscheidet, ob es sich um eine Unicast- (0) oder Broadcast-/Multicast-Adresse (1) handelt. Das zweite übertragene Bit und damit Bit 1 des ersten Bytes entscheidet, ob die restlichen 46 Bit der MAC-Adresse global (0) oder lokal (1) administriert werden. Gekaufte Netzwerkkarten haben eine weltweit eindeutige MAC-Adresse, die global von einem Konsortium und der Herstellerfirma verwaltet wird. Man kann aber jederzeit individuelle MAC-Adressen wählen und den meisten Netzwerkkarten über die Treiberkonfiguration zuweisen, in denen man für das Bit 1 den Wert (1) wählt und eben spezifikationsgemäß die restlichen 46 Bit lokal verwaltet und in der Broadcast Domain eindeutig hält.

MAC-Adressen werden traditionell als Abfolge von sechs zweistelligen Hex-Zahlen dargestellt, die mit Doppelpunkten getrennt sind, z. B. als „08:00:01:EA:DE:21“, was der Übertragungsreihenfolge am Medium entspricht.

VLAN-Tag

Im Tagged-MAC-Frame nach IEEE 802.1q folgen zusätzlich vier Bytes als *VLAN-Tag*. Die ersten beiden Bytes enthalten die Konstante 0x8100 (=802.1qTagType), die einen *Tagged-MAC-Frame* als solchen kenntlich machen. Von der Position her würde hier im *Basic-MAC-Frame* das Feld *EtherType* stehen. Den Wert 0x8100 kann man damit auch als *EtherType* für VLAN-Daten ansehen. In den nächsten beiden Bytes (*TCI* Tag Control Identifier) stehen dann drei Bit für die VLAN-Priority (0 niedrigste, 7 höchste Priorität), ein Bit *Canonical Format Indicator* (CFI) das für die Kompatibilität zwischen Ethernet und token ring sorgt (Dieses 1-bit-Datenfeld zeigt an, ob die MAC-Adresse in einem anerkannten oder nichtanerkannten Format ist. Hat das gesetzte Bit eine 0, dann ist es nicht vorschriftsmäßig, bei einer 1 ist es vorschriftsmäßig. Für Ethernet-Switches wird es immer auf 0 gesetzt. Empfängt ein Ethernet-Port als CFI-Information eine 1, dann verbindet der Ethernet-Switch das Tagging-Frame nicht zu einem nicht-getaggten Port.) und 12 Bit für die *VLAN-ID*. An diesen VLAN-Tag schließt das ursprünglich an der Position des VLAN-Tags stehende Typ-Feld (*EtherType*) des eigentlichen Frames mit einem Wert ungleich 0x8100 (im Bild beispielsweise 0x0800 für ein IPv4-Paket) an.

Der VLAN-Tag wird als Folge von zwei Bytes „81 00“ übertragen. Die 16 Bit des TCI werden in gleicher Weise Big-Endian mit dem höheren Byte voran verschickt.

Das Typ-Feld (EtherType)

Das Typ-Feld gibt Auskunft über das verwendete Protokoll der nächsthöheren Schicht innerhalb der Nutzdaten. Die Werte sind größer als 0x0600 (ansonsten ist das ein *Ethernet-II-frame* mit Längenfeld in dieser Position). Der spezielle Wert 0x8100 zur Kennzeichnung eines *VLAN-Tags* ist im Wertevorrat von *Type* reserviert. Ist ein VLAN-Tag vorhanden, darf das daran anschließende Typ-Feld nicht 0x8100 sein.

Werte im Typfeld (*EtherType*) für einige wichtige Protokolle:

Typfeld	Protokoll
0x0800	IP Internet Protocol, Version 4 (IPv4)
0x0806	Address Resolution Protocol (ARP)
0x0842	Wake on LAN (WoL)
0x8035	Reverse Address Resolution Protocol (RARP)
0x809B	AppleTalk (EtherTalk)
0x80F3	Appletalk Address Resolution Protocol (AARP)
0x8100	VLAN Tag (VLAN)
0x8137	Novell IPX (alt)
0x8138	Novell
0x86DD	IP Internet Protocol, Version 6 (IPv6)
0x8863	PPPoE Discovery
0x8864	PPPoE Session
0x8870	Jumbo Frames
0x8892	Echtzeit-Ethernet PROFINET
0x88A2	ATA over Ethernet Coraid AoE ^[3]
0x88A4	Echtzeit-Ethernet EtherCAT
0x88A8	Provider Bridging
0x88AB	Echtzeit-Ethernet Ethernet POWERLINK
0x88CD	Echtzeit-Ethernet SERCOS III
0x8906	Fibre Channel over Ethernet
0x8914	FCoE Initialization Protocol (FIP)

In Ethernet-802.3-Frames kann zur Kompatibilität mit Ethernet I an Stelle des Typfeldes die Länge des Dateninhalts im *DATA*-Teil angegeben (Längenfeld) sein. Da das Datenfeld in keinem *Ethernet Frame* länger als 1500 Bytes sein darf, können die Werte 1536 (0x600) und darüber als Protokolltypen (*EtherType*) verwendet werden. Die Verwendung der Werte 1501 bis 1535 ist nicht spezifiziert.^[4]

Das Typ-Feld wird als Big-Endian-Byte-Folge interpretiert und mit dem höherwertigen Byte voran verschickt.

Nutzdaten

Pro Datenblock können maximal 1500 Bytes an Nutzdaten übertragen werden. Die Nutzdaten werden von dem unter Type angegebenen Protokoll interpretiert.^[5] So genannte Jumbo Frames, Super Jumbo Frames^[6] und Jumbogramme^[7] erlauben auch größere Datenblöcke, diese Spezialmodi bewegen sich aber offiziell abseits von Ethernet beziehungsweise IEEE 802.3.

Die Datenbytes werden in aufsteigender Byte-Reihenfolge verschickt.

PAD-Feld

Das PAD-Feld wird verwendet, um den Ethernet-Frame auf die erforderliche Minimalgröße von 64 Byte zu bringen. Das ist bei alten Übertragungsverfahren wichtig, um Kollisionen in der sogenannten Collision-Domain sicher zu erkennen. Präambel und SFD (8 Bytes) werden bei der erforderlichen Mindestlänge des Frames nicht mitgezählt, wohl aber ein VLAN-Tag. Ein PAD-Feld wird somit erforderlich, wenn als Nutzdaten weniger als 46 bzw. 42 Bytes (ohne bzw. mit 802.1Q-VLAN-Tag) zu übertragen sind. Das in Type angegebene Protokoll muss dafür sorgen, dass diese als Pad angefügten Bytes (auch „Padding Bytes“ genannt) nicht interpretiert werden, wofür es üblicherweise eine eigene Nutzdaten-Längenangabe bereithält.

FCS (Frame Check Sequence)

Das FCS-Feld stellt eine 32-Bit-CRC-Prüfsumme dar. Die FCS wird über den eigentlichen Frame berechnet, also beginnend mit der Ziel-MAC-Adresse und endend mit dem PAD-Feld. Die Präambel, der SFD und die FCS selbst sind nicht in der FCS enthalten. Wenn ein Paket beim Sender erstellt wird, wird eine CRC-Berechnung über die Bitfolge durchgeführt und die Prüfsumme an den Datenblock angehängt. Der Empfänger führt nach dem Empfang die gleiche Berechnung aus. Stimmt die empfangene nicht mit der selbst berechneten Prüfsumme überein, geht der Empfänger von einer fehlerhaften Übertragung aus, und der Datenblock wird verworfen. Zur Berechnung der CRC-32-Prüfsumme werden die ersten 32 Bits der Mac-Adresse invertiert und das Ergebnis ebenfalls invertiert (Vermeidung des Nullproblems).

In üblichen CRC-Implementierungen als rückgekoppelte Schieberegister werden Datenbits in übertragener Reihenfolge, also vom LSB zum MSB, durch ein Schieberegister geschickt, das aber selbst vom LSB aus beschickt wird. In Schieberichtung steht damit das MSB der CRC zuerst zur Verfügung und gerät auch in Abweichung zu allen anderen Daten zuerst auf die Leitung. Wird nun der Datenstrom beim Empfänger inklusive empfangenem CRC-Wert in das Schieberegister geschrieben, enthält die CRC im fehlerfreien Fall den Wert Null. Ein von Null abweichender Wert deutet auf einen Übertragungsfehler hin.

Durch die Invertierung der ersten 32 Bit und der CRC-Summe ist das Ergebnis nicht mehr Null. Wenn kein Übertragungsfehler aufgetreten ist, dann enthält das Schieberegister immer dieselbe Zahl, auch Magic Number genannt. Beim Ethernet lautet sie 0xC704DD7B.

Umwandlung in einen Datenstrom

Nachdem der Datenstrom als Folge von Bytes bereitgestellt wurde, werden nun abhängig vom physikalischen Medium und der Übertragungsrates ein oder mehrere Bits in einen Leitungscodierkodierte, um einerseits die physikalischen Eigenschaften des Mediums zu berücksichtigen und andererseits dem Empfänger eine Taktrückgewinnung zu ermöglichen. So wird, je nach Code, die erlaubte Frequenz-Bandbreite nach unten (Gleichspannungsfreiheit) und oben limitiert.

In übertragungsfreien Zeiten, also zwischen zwei Frames, kommt es definitionsgemäß zu Ruhepausen („Inter-Frame-Spacing“) mit einer gewissen Mindestlänge. Bei physikalischem Halbduplex-Modus schaltet sich in dieser Zeit der Sender ab, um anderen Stationen auf dem geteilten Medium Zugriff zu ermöglichen. Bei moderneren Medientypen mit physikalischem Vollduplex-Modus wird eine Trägerschwingung aufrechterhalten, die dem Empfänger ein schnelleres Aufsynchronisieren auf den Datenstrom ermöglicht. Außerdem können in der sendefreien

Zeit Out-of-Band-Informationen zwischen den Stationen ausgetauscht werden.

Bei manchen physikalischen Vollduplex-Medientypen wie beispielsweise 10BASE-T deaktivieren sich die Sendestation trotz exklusiven Zugriffs auf das Medium zwischen den Frames. Hier wird die sendefreie Zeit zur Out-of-Band-Signalisierung (Link-Pulse, Fast-Link-Pulse) der Link-Parameter genutzt.

Ethernet-Medientypen

Die verschiedenen Ethernet-Varianten unterscheiden sich in Übertragungsrate, den verwendeten Kabeltypen und der Leitungscodierung. Der Protokollstack arbeitet deshalb bei den meisten der folgenden Typen identisch.

Die folgenden Abschnitte geben einen kurzen Überblick über alle offiziellen Ethernet-Medientypen. Zusätzlich zu diesen offiziellen Standards haben viele Hersteller proprietäre Medientypen entwickelt, häufig, um mit Lichtwellenleitern höhere Reichweiten zu erzielen.

Einige frühe Varianten von Ethernet

- *Xerox Ethernet (Alto Aloha System)* – Der Name entstand dadurch, dass das Konzept auf Alto-Computern getestet wurde. Xerox Ethernet ist die ursprüngliche Ethernet-Implementation, die während ihrer Entwicklung zwei Versionen hatte. Das Datenblock-Format der Version 2 wird zurzeit überwiegend benutzt.
- *10Broad36* (IEEE 802.3 Clause 11) – Obsolet. Ein früher Standard, der Ethernet über größere Entfernungen unterstützte. Es benutzte Breitband-Modulationstechniken ähnlich denen von Kabelmodems und arbeitete mit Koaxialkabeln.
- *1BASE5* (IEEE 802.3 Clause 12) – Ein früher Versuch, eine günstige LAN-Lösung zu standardisieren. Arbeitete bei 1 Mbit/s und war ein kommerzieller Fehlschlag.
- *StarLAN 1* – Die erste Ethernet-Implementation über Twisted-Pair-Kabel, entwickelt von AT&T.

10-Mbit/s-Ethernet

Beim 10-Mbit/s-Ethernet kommt eine einfache Manchesterkodierung zum Einsatz, die je Datenbit zwei Leitungsbits überträgt (somit 20 MBaud). Mit dieser Verdopplung der Signalisierungsrate und dabei alternierend übertragenen Datenbits wird die Gleichspannung effektiv unterdrückt und gleichzeitig die Taktrückgewinnung im Empfänger nachgeführt, das Spektrum reicht bis 10 MHz. Die Leitung wird nur belegt, wenn ein Ethernet-Paket tatsächlich gesendet werden muss.

10-Mbit/s-Ethernet mit Koaxialkabel

10BASE2, IEEE 802.3 Clause 10 (früher IEEE 802.3a)

(auch bekannt als *Thin Wire Ethernet*, *Thinnet* oder *Cheapernet*)

– Ein Koaxialkabel (RG58) mit einer Wellenimpedanz von 50 Ohm verbindet die Teilnehmer miteinander, jeder Teilnehmer benutzt ein BNC-T-Stück zur Anbindung seiner Netzwerkkarte.

An den beiden Leitungsenden angebrachte Abschlusswiderstände sorgen für reflexionsfreie Signalübertragung. Ein Segment (das sind alle durch die

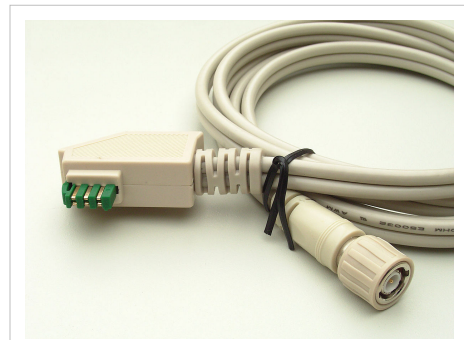
BNC-T-Stücke miteinander verbundenen Koaxialkabelstücke) darf maximal 185 Meter lang sein und maximal 30 Teilnehmer versorgen. Jeweils zwei Teilnehmer am Bus müssen zueinander einen Abstand von mindestens 0,5 Meter einhalten.



T-Stücke und Abschlusswiderstände für
10BASE2

Im

Unterschied zum ebenfalls Koaxialkabel verwendenden 10BASE5 sind die Transceiver in der NIC (Network Interface Card) integriert und müssen unmittelbar (ohne weiteres Koaxialkabel) an das T-Stück angeschlossen werden. Über Repeater können weitere Netzwerksegmente angeschlossen werden, sodass die maximale Ausdehnung des Netzwerks 5 Netzwerksegmente in einer Kette umfasst. Mit strukturierter Verkabelung lässt sich die Anzahl der Segmente weiter steigern. Damit ist eine maximale Gesamtausbreitung von 925 m Durchmesser erreichbar. Es wurden auch Ethernet-Anschlussdosen (EAD) verwendet. Bei 10BASE2 fällt das ganze Netzwerksegment aus, wenn an einer Stelle das Kabel oder eine Steckverbindung, insbesondere der Abschlusswiderstand, defekt ist. Besonders anfällig sind manuell konfektionierte Koaxialkabel, wenn bei ihnen der BNC-Stecker nicht korrekt befestigt wurde.



EAD-Kabel für 10BASE2

10BASE5, IEEE 802.3 Clause 8

(auch *Thicknet* oder *Yellow Cable*) – ein früher IEEE-Standard, der ein 10 mm dickes Koaxialkabel (RG8) mit einer Wellenimpedanz von 50 Ohm verwendet. Zum Anschluss von Geräten muss mittels einer Bohrschablone ein Loch an einer markierten Stelle in das Kabel gebohrt werden, durch das ein Kontakt einer Spezialklemme (*Vampirklammer*) des Transceivers eingeführt und festgeklammert wird. An diesen Transceiver wird mittels der AUI-Schnittstelle über ein Verbindungskabel die Netzwerkkarte des Computers angeschlossen. Dieser Standard bietet 10 Mbit/s Datenrate bei Übertragung im Basisband und unterstützt auf jedem Segment maximal 500 m Kabellänge und 100 Teilnehmer. Die Leitung hat wie 10BASE2 keine Abzweigungen, und an den Enden sitzen 50-Ohm-Abschlusswiderstände. Wie auch bei 10BASE2 kann über Repeater das Netzwerk bis auf eine max. Länge von 2,5 km ausgedehnt werden. Dieser Typ ist eigentlich obsolet, aber aufgrund seiner weiten Verbreitung in den frühen Tagen noch immer in einigen Systemen in Benutzung.



Thick Ethernet Transceiver

10-Mbit/s-Ethernet mit Twisted-Pair-Kabel

- *StarLAN 10* – Die erste Ethernet-Implementation über Twisted-Pair-Kabel mit 10 Mbit/s, ebenfalls von AT&T. Wurde später zu 10BASE-T weiterentwickelt.
- *10BASE-T*, IEEE 802.3 Clause 14 (früher IEEE 802.3i) – läuft über vier Adern (zwei verdrehte Paare) eines CAT-3 oder CAT-5-Kabels (Verkabelung nach TIA-568A/B). Ein Hub oder Switch sitzt in der Mitte und hat für jeden Teilnehmer einen Port. Die Übertragungsrate ist 10 Mbit/s und die maximale Länge eines Segments 100 Meter. Physikalisch sind die Steckverbindungen als 8P8C-Modularstecker und -buchsen ausgeführt, die häufig auch falsch als „RJ-45“- bzw. „RJ45“-Stecker/-Buchsen bezeichnet



8P8C-Modularstecker und -buchse (Buchse ist rechts)

werden. Da normalerweise keine ausgekreuzten Kabel zum Einsatz kommen, sind die Stecker von Computer und Uplink (Hub, Switch) gegengleich belegt. Beim Computer gilt folgende Belegung: Pin1 – Transmit+; Pin2 – Transmit–; Pin3 – Receive+; Pin6 – Receive–.

10-Mbit/s-Ethernet mit Glasfaser-Kabel

- *FOIRL* – Fiber-optic inter-repeater link. Der ursprüngliche Standard für Ethernet über Glasfaserkabel.
- *10BASE-F*, IEEE 802.3j (IEEE 802.3 Clause 15) – Allgemeiner Ausdruck für die neue Familie von 10-Mbit/s-Ethernet-Standards: 10BASE-FL, 10BASE-FB und 10BASE-FP. Der einzig weiter verbreitete davon ist 10BASE-FL.
- *10BASE-FL* (IEEE 802.3 Clause 18) – Eine revidierte Version des FOIRL-Standards.
- *10BASE-FB* (IEEE 802.3 Clause 17) – Gedacht für Backbones, die mehrere Hubs oder Switches verbinden. Ist inzwischen technisch überholt.
- *10BASE-FP* (IEEE 802.3 Clause 16) – Ein passives sternförmiges Netzwerk, das keinen Repeater braucht. Es gibt keine Implementationen.
- *10BASE-SX* – 10/100-Mbit/s-Ethernet über Glasfaser.

100-Mbit/s-Ethernet

Beim Übergang von 10- auf 100-MBit-Ethernet (*Fast Ethernet*) wurde die Signalisierungsebene weiter unterteilt, um auf eine klarere Definition dessen zu kommen, was den *PHY* (die physikalische Schicht, OSI-Schicht 1) vom MAC trennt. Gab es bei 10-MBit-Ethernet *PLS* (Physical Layer Signaling, Manchester-Codierung, identisch für alle 10 MBit/s-Standards) und *PMA* (Physical Medium Attachment, Coaxial-, Twisted-Pair- und optische Anbindungen), sind es bei Fast Ethernet nunmehr *PCS* (Physical Coding Sublayer) mit *PMA* sowie *PMD* (Physical Medium Dependent). PCS, PMA und PMD bilden gemeinsam die physikalische Schicht. Es wurden drei verschiedene PCS-PMA-Kombinationen entworfen, von denen jene für 100BASE-T4 und 100BASE-T2 (IEEE 802.3 Clauses 23 und 32) aber nie wirtschaftliche Bedeutung erlangen konnten.

Durchgesetzt hat sich einzig 100BASE-X (IEEE 802.3 Clause 24) für Twisted-Pair-Kabel und Glasfasern, welches statt der Manchesterkodierung den effizienteren 4B5B-Code einsetzt. Dieser ist zwar nicht gleichspannungsfrei, aber ermöglicht eine Taktrückgewinnung aus dem Signal und die Symbolrate liegt mit 125 Mbaud nur geringfügig über der Datenrate selbst. Da es hier keine physikalischen Busse, sondern nur mehr Punkt-zu-Punkt-Verbindungen gibt, wurde eine kontinuierliche Übertragung favorisiert, die die aufwändigen Einschwingvorgänge des Empfängers auf die Hochfahrphase des Segments beschränkt. Ein Scrambling-Verfahren sorgt für ein (statistisch) gleichmäßiges Frequenzspektrum unabhängig von der Leitungsauslastung. Die verwendeten Leitungscodeworte garantieren eine für die Bitsynchronisation beim Empfänger ausreichende minimale Häufigkeit von Leitungszustandswechseln.

Kupfer

100BASE-T

Allgemeine Bezeichnung für die drei 100-Mbit/s-Ethernetstandards über Twisted-Pair-Kabel: 100BASE-TX, 100BASE-T4 und 100BASE-T2 (Verkabelung nach TIA-568A/B). Die maximale Länge eines Segments beträgt wie bei 10BASE-T 100 Meter. Die Steckverbindungen sind als 8P8C-Modularstecker und -buchsen ausgeführt und werden häufig mit RJ-45 bezeichnet.

100BASE-T4, IEEE 802.3 Clause 23

100 Mbit/s Ethernet über Category-3-Kabel (wie es in 10BASE-T-Installationen benutzt wird). Verwendet alle vier Adernpaare des Kabels. Es ist inzwischen obsolet, da Category-5-Verkabelung heute die Norm darstellt. Es ist darüber hinaus auf Halbduplex-Übertragung beschränkt.

100BASE-T2, IEEE 802.3 Clause 32

Es existieren keine Produkte, die grundsätzliche Technik lebt aber in 1000BASE-T weiter und ist dort sehr erfolgreich. 100BASE-T2 bietet 100 Mbit/s Datenrate über Cat-3-Kabel. Es unterstützt den Vollduplexmodus und benutzt nur zwei Adernpaare. Es ist damit funktionell äquivalent zu 100BASE-TX, unterstützt aber ältere Kabelinstallationen.

100BASE-TX, IEEE 802.3 Clause 25 (früher IEEE 802.3u)

Benutzt wie 10BASE-T je ein verdrehtes Adernpaar pro Richtung, benötigt allerdings mindestens ungeschirmte Cat-5-Kabel.

Die Verwendung herkömmlicher Telefonkabel ist bei eingeschränkter Reichweite möglich^[8]. Entscheidend hierbei ist die richtige Zuordnung der beiden Ethernet-Paare zu einem verdrehten Paar des Telefonkabels. Ist das Telefonkabel als Sternvierer verseilt, bilden die gegenüberliegenden Adern jeweils ein Paar.

Auf dem 100-Mbit/s-Markt ist 100BASE-TX heute die Standard-Ethernet-Implementation. 100BASE-TX verwendet zur Bandbreitenhalbierung auf PMD-Ebene die Kodierung MLT-3. Dabei werden nicht nur zwei Zustände (positive oder negative Differenzspannung) auf dem Adernpaar unterschieden, es kommt ein dritter Zustand (keine Differenzspannung) dazu (ternärer Code). Damit wird der Datenstrom mit einer Symbolrate von 125 MBaud innerhalb einer Bandbreite von 31,25 MHz übertragen.

Während der 4B5B-Code ausreichend viele Signalwechsel für die Bitsynchronisation beim Empfänger garantiert, kann MLT-3 zur benötigten Gleichspannungsfreiheit nichts beitragen. Als „Killer Packets“ bekannte Übertragungsmuster können dabei das Scrambling kompensieren und dem Übertragungsmuster eine signifikante Gleichspannung überlagern (*baseline wander*), die die Abtastung erschwert und zu einem Verbindungsabbruch der Endgeräte führt. Um gegen solche Angriffe immun zu sein, implementieren die PHY-Bausteine der Netzwerkkarten daher eine Gleichspannungskompensation.

Glasfaser

100BASE-FX, IEEE 802.3 Clause 26

100 Mbit/s Ethernet über Multimode-Glasfaser. Maximale Segmentlänge: 400 Meter, mit Repeatern: 2000 Meter über Multi-Mode-Kabel. Der gescrambelte 4B5B-Datenstrom wird direkt über einen optischen Lichtmodulator gesendet und in gleicher Weise empfangen, hierfür wird ein Faserpaar verwendet. Es wird eine Wellenlänge von 1300 nm verwendet, daher ist es nicht mit 10BASE-FL (10 MBit/s über Glasfaser) kompatibel, welches eine Wellenlänge von 850 nm benutzt).

100BASE-SX

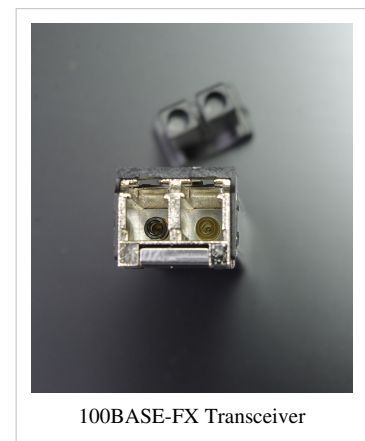
Günstigere Alternative zu 100BASE-FX, da eine Wellenlänge von 850nm verwendet wird; die Bauteile hierfür sind günstiger. Maximale Segmentlänge: 550 Meter über Multi-Mode-Kabel. Durch die verwendete Wellenlänge abwärtskompatibel zu 10BASE-FL. Es wird ein Faserpaar benötigt.

100BASE-BX

Im Gegensatz zu 100BASE-FX, 100BASE-SX und 100BASE-LX10 wird hier über eine einzelne Single-Mode-Glasfaser übertragen. Hierfür wird ein Splitter benötigt, welcher die zu sendenden/empfangenden Daten auf die Wellenlängen 1310 und 1550 nm aufteilt. Dieser Standard erzielt Reichweiten von 10, 20 oder 40 km.

100BASE-LX10, IEEE 802.3-2005 Section 5 Chapter 58

Fast-Ethernet über ein Single-Mode Faserpaar. Wellenlänge: 1300 nm, Segmentlänge: 10 km.



Gigabit-Ethernet

Bei 1000-MBit/s-Ethernet (Gigabit-Ethernet; kurz: GbE oder GigE) kommen im Wesentlichen zwei verschiedene Kodiervarianten zum Einsatz. Bei 1000BASE-X (IEEE 802.3 Clause 36) wird der Datenstrom in 8-Bit breite Einheiten zerlegt und mit dem 8b10b-Code auf eine Symbolrate von 125 Mbaud gebracht. Damit wird ein kontinuierlicher, gleichspannungsfreier Datenstrom erzeugt, der bei 1000BASE-CX über einen Transformator auf einem verdrehten Adernpaar zum Empfänger fließt oder bei 1000BASE-SX/LX/ZX die optische Trägerwelle moduliert. Bei 1000BASE-T hingegen wird der Datenstrom in vier Teilströme unterteilt, die jeweils mit PAM-5 und Trellis-Codierung in ihrer Bandbreite geformt und über die vier Adernpaare gleichzeitig gesendet und empfangen werden.

- *1000BASE-T*, IEEE 802.3 Clause 40 (früher IEEE 802.3ab) – 1 Gbit/s über Kupferkabel ab Cat-5 UTP-Kabel oder besser Cat-5e oder Cat-6 (Verkabelung nach TIA-568A/B). Die maximale Länge eines Segments beträgt wie bei 10BASE-T und 100BASE-TX 100 Meter. Wichtige Merkmale des Verfahrens sind:
 - Verwendung aller vier Doppeladern in beide Richtungen (Echokompensation)
 - Modulationsverfahren PAM-5 (Pulsamplitudenmodulation mit fünf Zuständen) übermittelt zwei Bit pro Schritt und Adernpaar
 - Einsatz einer Trellis-Codierung und Scrambling
 - Schrittgeschwindigkeit 125 Mbaud pro Adernpaar
 - Übertragungsbandbreite 62,5 MHz
 - Vollduplexbetrieb.

Im Grundprinzip ist 1000BASE-T eine „hochskalierte“ Variante des seinerzeit erfolglosen 100BASE-T2, nur dass es doppelt so viele Adernpaare (nämlich alle vier Paare einer typischen Cat-5-Installation) verwendet und die gegenüber Cat-3 größere verfügbare Bandbreite eines Cat-5-Kabels ausnutzt.

- *1000BASE-TX*, *1000BASE-T2/4* (nicht in IEEE 802.3 standardisiert) – Erfolgreiche Versuche verschiedener Interessengruppen, die aufwändigen Modulier/Demodulier- und Echokompensationsschaltungen von 1000BASE-T durch eine höhere Signalisierungsrate auszugleichen. Statt Klasse-D-Verkabelung bei 1000BASE-T benötigen diese Übertragungsverfahren im Gegenzug Installationen nach Klasse E und Klasse F. Das Hauptargument für die Entstehung dieser Übertragungsverfahren, die hohen Kosten für Netzwerkanschlüsse mit 1000BASE-T-Unterstützung, ist längst entkräftet.
- *1000BASE-SX*, *1000BASE-LX*, IEEE 802.3 Clause 38 (früher IEEE 802.3z) – 1 Gbit/s über Glasfaser. Die beiden Standards unterscheiden sich prinzipiell nur in der verwendeten Wellenlänge des optischen Infrarot-Lasers: 1000BASE-SX verwendet kurzwelliges Licht mit 850 nm Wellenlänge, bei 1000BASE-LX strahlen die Laser langwelliges Licht mit 1310 nm Wellenlänge aus. Die Länge eines Glasfaserkabels muss mindestens 2 Meter betragen, die maximale Ausbreitung hängt von der Charakteristik der verwendeten Glasfaser ab. Multimode-Glasfaserkabel können je nach Faserquerschnitt und modaler Dämpfung zwischen 200 und 550 Meter erreichen, während Singlemode-Glasfaserkabel bis 5000 Meter spezifiziert sind. Allerdings lassen sich Singlemode-Glasfaserkabel nur mit 1000BASE-LX verwenden.
- *1000BASE-LX/LH*, manchmal auch *1000BASE-LH* (LH steht für *Long Haul*) – Zum Einsatz kommen hierbei Singlemode-Glasfaserkabel mit einer maximalen Länge von 10 km. Das verwendete Licht hat eine Wellenlänge von 1310 nm. Die restlichen Eigenschaften gleichen denen von 1000BASE-LX.
- *1000BASE-ZX* – Zum Einsatz kommen Singlemode-Glasfaserkabel mit einer maximalen Länge von 70 km. Das verwendete Licht hat eine Wellenlänge von 1550 nm.



1000BASE-SX Transceiver SFP-Ausführung

- *1000BASE-CX*, IEEE 802.3 Clause 39 – Als Übertragungsmedium werden zwei Adernpaare eines Shielded-Twisted-Pair-Kabels (STP) mit einer maximalen Kabellänge von 25 m und einer Impedanz von 150 Ohm eingesetzt. Der Anschluss erfolgt über 8P8C-Modularstecker/-buchsen (häufig falsch als „RJ45“/„RJ-45“ bezeichnet) in einer Sterntopologie.

Im Vergleich zu 1000BASE-T werden bei 1000BASE-CX deutlich höhere Anforderungen an das Kabel gestellt. So ist etwa die verwendete Bandbreite um den Faktor 10 höher (625 MHz gegenüber 62,5 MHz). Die Komponenten sind außerdem zueinander nicht kompatibel.

10-Gbit/s-Ethernet

Der 10-Gbit/s-Ethernet-Standard (kurz: 10GbE) bringt zehn unterschiedliche Übertragungstechniken, acht für Glasfaserkabel und zwei für Kupferkabel mit sich. 10-Gbit/s-Ethernet wird für LAN, MAN und WAN verwendet. Der Standard für die Glasfaserübertragung heißt IEEE 802.3ae, die Standards für Kupfer sind IEEE 802.3ak und IEEE 802.3an.

Glasfaser

Multimode

- *10GBASE-SR* überbrückt kurze Strecken über Multimode-Fasern, dabei wird langwelliges Licht mit einer Wellenlänge von 850 nm verwendet. Die Reichweite ist dabei abhängig vom Kabeltyp, so reichen 62,5 µm „FDDI-grade“ Fasern bis zu 26 m^[9], 62,5-µm/OM1-Fasern bis zu 33 m weit^[9], 50 µm/OM2 bis zu 82 m und 50 µm/OM3 bis zu 300 m.^[10]
- *10GBASE-LRM* (Long Reach Multimode) verwendet eine Wellenlänge von 1310 nm, um über alle klassischen Multimode-Fasern (62,5 µm Fiber „FDDI-grade“, 62,5 µm/OM1, 50 µm/OM2, 50 µm/OM3) eine Distanz von bis zu 220 m zu überbrücken^[9].
- *10GBASE-LX4* nutzt Wellenlängenmultiplexierung, um Reichweiten zwischen 240 und 300 m über die Multimode-Fasern OM1, OM2 und OM3 zu ermöglichen.^[10] Hierbei wird gleichzeitig auf den Wellenlängen 1275, 1300, 1325 und 1350 nm übertragen.

Singlemode

- *10GBASE-LW4* überträgt mit Hilfe von Singlemode-Fasern Licht der Wellenlänge 1310 nm über Distanzen bis zu 10 km.
- *10GBASE-LR* verwendet eine Wellenlänge von 1310 nm, um über Singlemode-Fasern eine Distanz von bis zu 10 km zu überbrücken.
- *10GBASE-ER* benutzt wie 10GBASE-LR Singlemode-Fasern zur Übertragung, jedoch bei einer Wellenlänge von 1550 nm, was die Reichweite auf bis zu 40 km erhöht. Da 10GBASE-ER mit dieser Wellenlänge die seltene Eigenschaft besitzt, kompatibel zu CWDM-Infrastrukturen zu sein, vermeidet er den Austausch der bestehenden Technik durch DWDM-Optik.

OC-192 - STM-64

- Die Standards *10GBASE-SW*, *10GBASE-LW* und *10GBASE-EW* benutzen einen zusätzlichen WAN-Phy, um mit OC-192- (SONET) bzw. STM-64-Equipment (SDH) zusammenarbeiten zu können. Der Physical Layer entspricht dabei 10GBASE-SR bzw. 10GBASE-LR bzw. 10GBASE-ER, benutzen also auch die gleichen Fasertypen und erreichen die gleichen Reichweiten. Zu 10GBASE-LX4 gibt es keine entsprechende Variante mit zusätzlichem WAN-Phy.

Im LAN erreichen bedingt durch die Verfügbarkeit der Produkte die Standards 10GBASE-SR und 10GBASE-LR eine steigende Verbreitung.

Kupfer

10GBASE-CX4 nutzt doppelt-twinaxiale Kupferkabel, die eine maximale Länge von 15 m haben dürfen. Dieser Standard war lange der einzige für Kupferverkabelung mit 10 Gbit/s, verliert allerdings durch den abwärtskompatiblen Standard *10GBASE-T* zunehmend an Bedeutung.

10GBASE-T verwendet wie schon *1000BASE-T* vier Paare aus verdrehten Doppeladern. Die dafür verwendete strukturierte Verkabelung wird im globalen Standard [ISO/IEC 11801] sowie in TIA-568A/B beschrieben. Die zulässige Linklänge ist vom eingesetzten Verkabelungstyp abhängig: Um die angestrebte Linklänge von 100 m zu erreichen, sind die Anforderungen von CAT-6a/7 zu erfüllen. Mit den für *1000BASE-T* eingesetzten CAT-5-Kabeln (Cat-5e) ist nur die halbe Linklänge erreichbar. Der Standard ist in 802.3an beschrieben und wurde Mitte 2006 verabschiedet.

Bei der Übertragung wird der Datenstrom auf die 4 Adernpaare aufgeteilt, so dass auf jedem Adernpaar 2.5 Gbit/s in Senderichtung und 2.5Gbit/s in Empfangsrichtung übertragen werden. Wie bei *1000BASE-T* wird also jedes Adernpaar im Vollduplex-Betrieb genutzt. Zur Codierung werden die Modulationsverfahren 128-DSQ (eine Art doppeltes 64QAM) und schließlich PAM16 verwendet, wodurch die Nyquistfrequenz auf 417 MHz reduziert wird.^[11]

Durch die hohe Signalrate mussten verschiedene Vorkehrungen getroffen werden, um die Übertragungssicherheit zu gewährleisten. Störungen innerhalb des Kabels werden passiv durch einen Kreuzsteg im Kabel vermindert, der für Abstand zwischen den Adernpaaren sorgt. Zusätzlich werden in den aktiven Komponenten digitale Signalprozessoren verwendet, um die Störungen herauszurechnen.

So genanntes Fremdübersprechen (Alien Crosstalk), also das Nebensprechen benachbarter, über längere Strecken eng gebündelter, *ungeschirmter* Kabel, kann auf diese Weise jedoch nicht verhindert werden. Deshalb sind in den Normen Kabel der Kategorie Cat 6_A (Klasse E_A) vorgesehen. Diese sind entweder geschirmt oder unterdrücken anderweitig (z.B. durch dickeren oder speziell geformten Mantel) das Fremdübersprechen ausreichend. Ungeschirmte Cat 6 Kabel (Klasse E) erreichen bei enger Bündelung (und nur dann)^[12] nicht die üblichen 100 m Leitungslänge. Zum anderen ist ein Mindestabstand der Steckverbindungen zueinander einzuhalten.

10GBASE-T ist eingeschränkt auch über Cat 5e Kabel möglich, siehe Tabelle mit Leitungslängen.

Der Vorteil von Kupferverkabelung gegenüber Glasfasersystemen liegt in der schnelleren Konfektionierung und der unterschiedlichen Nutzbarkeit der Verkabelung (viele Anwendungen über ein Kabel). Darüber hinaus ist die Langlebigkeit von Kupfersystemen nach wie vor höher als bei Glasfasersystemen (Ausbrennen und Verschleiß der LEDs/Laser) und die Kosten bei zusätzlich notwendiger (teurer) Elektronik.

„WARP-Technologie“

Eine neue Technologie für 10-Gbit/s-Ethernet, mit der ebenfalls Leitungslängen von 100 m erreicht wurden, hat das Schweizer Unternehmen R&M (Reichle & De-Massari) auf den Markt gebracht. Sie kombiniert die Vorteile aus geschirmter und ungeschirmter Technik. Bei dieser sogenannten „WARP-Technologie“ – das Kürzel steht für „Wave Reduction Patterns“ – sind Kabel und Module mit etwa 1 bis 2 cm langen Metallfoliensegmenten und Metallplatten geschirmt. Anders als bei bisherigen Schirmungen sind die Foliensegmente aber nicht kontaktiert und liegen nicht auf Erdpotenzial. Sie sind durch kleine Zwischenräume voneinander getrennt und hängen elektrisch sozusagen „in der Luft“. Eine Eigenschaft dieser „schwebenden Schirmung“ ist, dass sie praktisch keine Kapazitäten zur Erde aufbaut. Somit beeinträchtigt sie die Bandbreite der Übertragung nicht, bietet aber trotzdem einen maßgeblichen Schutz gegen Nahübersprechen etc.

Die Kombination von solch „unterbrochener“ Schirmung und symmetrischer Signalübertragung führt dazu, dass Störungen, die sich auf beide Adern gemeinsam auswirken (Gleichtaktstörungen), durch die Symmetrie der Signale eliminiert werden; es wird ausschließlich die Differenz zwischen den beiden Adern eines „Twisted Pairs“ (eines verdrehten Adernpaares) ausgewertet. Störungen, die sich nur auf eine der beiden Adern auswirken könnten, werden durch das Verdrehen der Adern und durch die spezielle Schirmung zum Großteil eliminiert.

Converged 10 GbE

Converged 10 GbE ist ein Standard für Netzwerke bei denen 10 GbE und 10 GbFC verschmolzen sind. Zum Converged-Ansatz gehört auch das neue Fibre Channel over Ethernet (FCoE). Das sind FC-Pakete, die in Ethernet gekapselt sind und für die dann ebenfalls die Converged Ethernet-Topologie genutzt werden kann, z. B. sind dann entsprechend aktualisierte Switches (wegen Paketgrößen) transparent für FC- und iSCSI-Storage sowie für das LAN nutzbar.

Kabellängen

Längen für Kupfer-Doppelader

Kabelkategorie	Übertragungs- klasse (nach ISO/EN)	Standard	Linklänge	Übertragungs- frequenz (Nyquistfrequenz)	Kabel genormt bis (nach TIA/EIA 568 und EN 50288)
Cat-3	Klasse C	10 BASE-T	100 m	2 x 10 MHz	16 MHz
Cat-5	-	100 BASE-TX		2 x 31,25 MHz	100 MHz
Cat-5	-	1000 BASE-T		4 x 62,5 MHz	100 MHz
Cat-5e	Klasse D				100 MHz
Cat-5e, ungeschirmt		10G BASE-T	*) 45...? m	4 x 417 MHz	100 MHz
Cat-5e, geschirmt			über 45 m		100 MHz
Cat-6, ungeschirmt	Klasse E		*) 55...100 m		250 MHz
Cat-6, geschirmt			100 m		250 MHz
Cat-6A	Klasse E _A				500 MHz
Cat-7	Klasse F				600 MHz

Die zulässige Gesamtlänge der Übertragungsstrecke beträgt in der Regel 100 m. Darin enthalten sind:

- 90 m Installationskabel
- 10 m Patchkabel (2 × 5 m)
- 2 Steckverbindungen (z.B. Dose und Patchfeld)

Patchkabel hat schlechtere Übertragungseigenschaften. Sind die Patchkabel länger als 10 m, reduziert sich für jeden Meter Überschreitung die zulässige Länge des Installationskabel um jeweils 1,5 m.

Besteht die Strecke nur aus Patchkabeln, ist die zulässige Regellänge ca. 70 m.

Wenn nicht anders angegeben, gelten die Längen für geschirmte und ungeschirmte Kabel gleichermaßen.

Die Werte für 10 Gbit Ethernet entsprechen *IEE 802.3-2008, Tabelle 55-13*.

*) Reduzierte Längen bei 10 Gbit ergeben sich durch Fremdübersprechen zwischen mehreren Kabeln und gelten nur ungeschirmt bei enger Bündelung über viele Meter Länge.

Der Wert für **10 Gbit über Cat 5e** wurde in einem Entwurf vorgeschlagen ^[13] aber nicht in die endgültige IEEE 802.3 Norm übernommen. Allerdings bestätigen zahlreiche Hardwarehersteller die Funktion über 45 m Cat 5e UTP. ^[14]

Geschirmtes CAT 5e ist außerhalb von Europa ungebräuchlich und wurde von dem US-dominierten Gremium nicht getestet. Es ergeben sich dafür erheblich größere Längen, weil der längenbegrenzende Parameter das Fremdübersprechen ist. Geschirmte Kabel sind davon jedoch praktisch nicht betroffen.

Längen für Multimode-Glasfaserkabel

Geschwindigkeit	Verkabelung	Entfernung (max)
10 MBit/s	OM1 - 10BaseForil - LWL-Multimode 62,5/125 µm	1000 m
	OM1 - 10BaseF - LWL-Multimode 62,5/125 µm	2000 m
100 MBit/s	OM1/OM2 LWL-Multimode 62,5/125 µm / 50/125 µm HDX	412 m
	OM1/OM2 LWL-Multimode 62,5 µm, 50 µm FDX	2000 m
1 Gbit/s 1000Base-SX	OM1 LWL-Multimode 62,5/125 µm	220 m
	OM2 LWL-Multimode 50/125 µm	550 m
	OM3 LWL-Multimode 50/125 µm	>550 m
10 Gbit/s 10GBase-SR	OM1 LWL-Multimode 62,5/125 µm	26 m
	OM2 LWL-Multimode 50/125 µm	82 m
	OM3 LWL-Multimode 50/125 µm	300 m
10 Gbit/s 10GBase-LRM	OM1/2/3 LWL-Multimode 62,5/125 µm / 50/125 µm	220 m

Metro-Ethernet

Metro Ethernet Netze (MEN) sind ethernetbasierte Metropolitan Area Network (MAN) Netze, die auf Carriergrade-Ethernet basieren. Nachdem mit der Einführung ausgefeilter Glasfasertechniken die Längenbeschränkungen für Ethernet-Netze praktisch aufgehoben sind, gewinnt Ethernet auch bei Weitverkehrsnetzen wie den MAN an Bedeutung. MENs basieren vor allem auf Kundenseite auf kostengünstiger bekannter Technik und garantieren eine vergleichsweise hohe Effizienz bei geringer Komplexität.

Power over Ethernet

Siehe auch Power over Ethernet.

Ebenfalls zur Familie der Ethernet-Standards gehört IEEE 802.3af (IEEE 802.3 Clause 33). Das Verfahren beschreibt, wie sich Ethernet-fähige Geräte über das Twisted-Pair-Kabel mit Energie versorgen lassen. Dabei werden entweder die ungenutzten Adern der Leitung verwendet, oder es wird zusätzlich zum Datensignal ein Gleichstromanteil über die vier verwendeten Adern übertragen. Entsprechend ausgelegte Geräte werden mit 48 V und bis zu 15,4 Watt versorgt. Bis zu 30 W bei 54 V erreicht der Ende 2009 ratifizierte Standard PoE+. Eine Logik stellt sicher, dass nur PoE-fähige Geräte mit Energie versorgt werden.

Verwandte Standards

Folgende Netzwerkstandards gehören nicht zum IEEE-802.3-Ethernet-Standard, unterstützen aber das Ethernet-Datenblockformat und können mit Ethernet zusammenarbeiten:

- Wireless LAN (IEEE 802.11), in manchen Ländern auch Wi-Fi – Eine Technik zur drahtlosen Vernetzung per Funktechnik auf kurzen Strecken (Distanzen sind von den örtlichen Gegebenheiten abhängig und vergleichbar mit LAN), anfänglich mit Übertragungsraten ab 1 Mbit/s, aktuell (2010) mit bis zu 600 Mbit/s^[15].
- VG-AnyLan (IEEE 802.12) oder *100BASE-VG* – Ein früher Konkurrent zu 100-Mbit/s-Ethernet und 100-Mbit/s-TokenRing. Ein Verfahren das Multimedia-Erweiterungen besitzt und beispielsweise wie FDDI garantierte Bandbreiten kennt, es basiert auf einem Demand Priority genannten Zugriffsverfahren (Demand Priority Access Methode^[16], kollisionsfrei, alle Zugriffe werden priorisiert vom Hub/Repeater zentral gesteuert), womit die Nachteile von CSMA eliminiert werden. *100BASE-VG* läuft auch über Kategorie-3-Kabel, benutzt dabei aber vier Adernpaare. Federführend bei der Entwicklung waren Hewlett-Packard und AT&T beteiligt,

- kommerziell war VG-AnyLan ein Fehlschlag.
- TIA 100Base-SX – Von der Telecommunications Industry Association geförderter Standard. 100BASE-SX ist eine alternative Implementation von 100-Mbit/s-Ethernet über Glasfaser und ist inkompatibel mit dem offiziellen 100BASE-FX-Standard. Eine hervorstechende Eigenschaft ist die mögliche Interoperabilität mit 10BASE-FL, da es Autonegotiation zwischen 10 oder 100 Mbit/s beherrscht. Die offiziellen Standards können das aufgrund unterschiedlicher Wellenlängen der verwendeten LEDs nicht. Zielgruppe sind Organisationen mit einer bereits installierten 10-Mbit/s-Glasfaser-Basis.
 - TIA 1000Base-TX stammt ebenfalls von der Telecommunications Industry Association. War ein kommerzieller Fehlschlag, und es existieren keine Produkte. 1000BASE-TX benutzt ein einfacheres Protokoll als der offizielle 1000BASE-T-Standard, benötigt aber Cat-6-Kabel (Gegner behaupten, dieser primär von der Kabelindustrie geförderter Standard sei gar nicht zur Produktentwicklung gedacht gewesen, sondern ausschließlich dafür, um eine erste Anwendung für diese bis dahin mit keinerlei Vorteilen gegenüber Cat-5 ausgestattete Kabelklasse vorweisen zu können).
 - InfiniBand ist ein bereits seit 1999 spezifiziertes schnelles Hochleistungs-Verfahren zur Überbrückung kurzer Strecken (über Kupferkabel bis zu 15 Meter). Es nutzt einen bidirektionalen seriellen Bus zur kostengünstigen und latenzarmen Datenübertragung (unter 2 Mikrosekunden) und schafft pro Kanal theoretische Datenübertragungsraten von bis zu 2,5 GBit/s in beide Richtungen und in der neueren DDR-Variante 5 GBit/s. Bei InfiniBand können mehrere Kanäle transparent gebündelt werden, wobei dann ein gemeinsames Kabel verwendet wird. Üblich sind vier Kanäle (4x) also 10 bzw. 20 GBit/s. Haupteinsatzgebiet sind Supercomputer (HPC-Cluster) wie sie auch in der TOP500-Liste zu finden sind.

Literatur

- Charles E. Spurgeon: *Ethernet. The Definitive Guide*. O'Reilly, Sebastopol, CA 2000, ISBN 1-56592-660-9.
- Alexis Ferrero: *The evolving Ethernet*. ISBN 0-201-87726-0.
- Frank R. Walther: *Networkers Guide*. Pearson / Markt+Technik, 2000/2003, ISBN 3-8272-6502-9.
- Jörg Rech: *Ethernet. Technologien und Protokolle für die Computervernetzung*. ISBN 3-88229-186-9.
- Michael Reisner: *Ethernet. Das Grundlagenbuch*. ISBN 3-7723-6670-8.

Weblinks

- Moderne LANs: IEEE 802.3ab 1000 BASE-T ^[17]
- Ethernet-Paketformate ^[18]
- Lokale Netze (LAN) auf der Basis von Ethernet und TCP/IP ^[19]
- Grundlagen Computernetze ^[20] - Prof. Jürgen Plate, FH München
- Charles Spurgeon's Ethernet Web Site ^[21] (englisch)
- Projektseite der IEEE 802.3 Working Group ^[22] (englisch)
- Ethernet-Standards als PDF auf der IEEE-Download-Seite ^[23] (englisch)
- 10-Gigabit-Ethernet führt iSCSI und Fibre Channel zusammen ^[24]
- Metro-Ethernet/Carrier-Ethernet NET 11/2008 S.30 ^[25] - W. Schulte DHBW Stuttgart

Einzelnachweise

- [1] Die erste Grafik über die Funktion des Ethernet (http://www.tcp-ip-info.de/tcp_ip_und_internet/ethernet.htm)
- [2] <http://www.uspto.gov/about/nmti/recipients/2003.jsp> Liste der Preisträger der "National Medal of Technology" im Jahr 2003
- [3] Coraid AoE Protokoll Spezifikation (<http://support.coraid.com/documents/AoEr11.txt>)
- [4] IEEE Std 802.3-2005, 3.2.6
- [5] Vertiefungsmodul Embeddet Contrl WS 2005/06 (<https://prof.hti.bfh.ch/uploads/media/Powerlink.pdf>)
- [6] Super Jumbo Frames in der englischsprachigen Wikipedia
- [7] Jumbogramme in der englischsprachigen Wikipedia
- [8] *Eignung von Telefonkabeln als Ethernet-Netzwerkkabel* (<http://bedienungsanleitung.elektronotdienst-nuernberg.de/impedanz.html>), abgerufen 15. April 2012
- [9] http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/modules/ps5455/prod_white_paper0900aecd806b8bcb.html Enabling 10GB Deployment in the Enterprise
- [10] John George, BICSI (en): *10 Gigabit Ethernet over Multimode Fiber* ([http://www.bicsi.org/archive/2005 Spring Conference_ Las Vegas_NV_Aug.22-24/bicsi.org/Events/Conferences/Spring/2005/GeorgePRES.pdf](http://www.bicsi.org/archive/2005%20Spring%20Conference_LasVegas_NV_Aug.22-24/bicsi.org/Events/Conferences/Spring/2005/GeorgePRES.pdf))
- [11] Dätwyler White Paper: *10 Gigabit Ethernet über geschirmte Kupferkabel-Systeme* (http://www.daetwyler-cables.com/cms/userfiles/download/wp__10gbase-t__20-01-20091.pdf) (Januar 2009), abgerufen 15. April 2012
- [12] BICSI FAQ: *Can Category 6 Run 10G in Distances* (<http://www.bicsi.org/double.aspx?!=3382>), abgerufen 15. April 2012
- [13] 10GBASE-T Objective Proposal: *July 2003 10GBASE-T Study Group Objectives* (http://www.ieee802.org/3/10GBT/public/sep03/diminico_1_0903.pdf), abgerufen 15. April 2012
- [14] SMC: *TigerCard 10G User Guide* (http://smc-australia.com.au/smc-australia/_download/SMC10GPCIe-10BT/SMC10GPCIe-10BT_um.pdf), abgerufen 15. April 2012
- [15] *Standards and Industry Groups - Standards & Initiatives* (http://www.intel.com/standards/case/case_802_11.htm). *Helping Define 802.11n and other Wireless LAN Standards* (Anfang 2010). Abgerufen am 27. Dezember 2010.
- [16] *DPAM (demand priority access method)* (<http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Demand-Priority-Verfahren-DPAM-demand-priority-access-method.html>). *IT-Wissen - IT-Lexikon für Internet, Telekommunikation, Software und Elektronik*, Demand-Priority-Verfahren (2009). Abgerufen am 27. Dezember 2010.
- [17] <http://www.searchnetworking.de/themenbereiche/grundlagen/basiswissen/articles/191377/>
- [18] <http://www.koehler-ks.de/Ethernet.html>
- [19] <http://www.heineshof.de/lan/lan.html>
- [20] <http://www.netzmafia.de/skripten/netze/>
- [21] <http://www.ethermanage.com/ethernet/ethernet.html>
- [22] <http://www.ieee802.org/3/>
- [23] <http://standards.ieee.org/getieee802/index.html>
- [24] <http://www.searchstorage.de/themenbereiche/rz-techniken/konsolidierung-tco/articles/244941/>
- [25] http://www.lehre.dhbw-stuttgart.de/~schulte/doc/NET11_Schulte.pdf

Quelle(n) und Bearbeiter des/der Artikel(s)

Ethernet Quelle: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=104754704> **Bearbeiter:** ALE!, Achim Raschka, Acida, Ahellwig, Aidepwiki, Aka, Akw, Aleks-ger, Alnilam, Alraunenstern, AndreAdrian, Andreas Weber, Andy king50, Andys, Angor, Appaloosa, Arnomane, Arnulf zu Linden, Arx, BLueFiSH.as, Backsideficker, Ben-Zin, Benpsycho, Biezl, Blauerflummi, Bluepoke, Brodkey65, Cactus26, Casus, Catrin, Cburnett, Cepheiden, Cfaerber, Chaddy, Chefkoch.Mobile, Chris be, ChristianHujer, Claudia1220, Cljk, Cologinux, Comandertwo, Complex, Conrad78, Crux, DARKHalb, DaB., Daniel 1992, DanielSHaischt, Das emm, Dennis, Der.Traumer, DerAnalyst, DerGraueWolf, DerHexer, Diba, Diego10, Dondaniello, Dundak, Dvaer, E3c2d6ec0ca59f4588b8bb5cb621cfa6, ESFP, Echoray, Eddia, Eke, Ellesar, Ephraim33, Ezrimerchant, FATHomssen, FRWBonn, Fairway, Fasy, FelixReimann, Fg68at, Fgb, Fink, Fit, Flominator, Flups, Fomafix, Fragment, Frankie 67, Friedemann Lindenthal, Fun-total, GandalfTheWhite, Garnitsoefach, Gerhardvalentin, Geroll, Ghaly, Giftmischer, Gnu1742, Guandalug, Guidod, Guillermo, HH1946, HaeB, Haeber, Hank van Helvete, He3nry, Head, HenrikW, Herbertweidner, Heubergen, Heurik, Hieke, Hinrich, Hofres, Hoo man, Horst Gräbner, Howwi, Hozro, Hubertl, Hubi, ICE21, IT Kaktus, Igelball, Inkowik, Isa Blake, Iste Praetor, Ixitixel, J.Ammon, JD, JFKCom, JRG, Jackalope, Jamoney, Jan Giesen, Janvi, Jens Meißner, Jeremiah21, Jhartmann, Jjeka, Jodo, Johannesbauer, John Doe, Joomart, Jowi24, KaiMartin, Kako, Kalumet, Karl-Henner, Katharina, Kerbel, Kgfleischmann, Kh555, Klaus Klausner, Klaus100, Km29, Knoerz, Kohl, Krawi, Krib, Kurt Jansson, Kvedulv, LKD, Laubbaum, Learny, Leider, Leit, Luska, Lyzzy, MacFreq, Magnummandel, Magnus, Manuae, MarSraM, MarcoBorn, Markus Overath, MarkusHagenlocher, Martin Bahmann, Martin1978, MartinGB, Mary schulz, Master 1948, Matchmiller, Mathias Schindler, Mattes, Matthias Bock, Matthäus Wander, Matze12, Mayer-Stier, Media lib, Meister-Lampe, Merlissimo, Michael.chlistalla, Michbeie, Minks, MisterTS, Mitten, Mjk, Muck31, Murtasa, Mwka, Nachtigall, Naddy, Ne discere cessa!, NeaNita, Nerezza, Niehaus, Nikkis, Nmoas, Noun, Oerho, Oestivred, OsGr, Ot, Ozuma, PDD, Panky9, Paolope, PaterMcFly, PeeCee, Pendulin, Pentachlorphenol, PerfektesChaos, Perrak, Peter200, Pflasterreter, Philpendula, Phrood, Pierre gronau, Pierre.beier, Pit, Pittimann, Pkn, Poc, Pollarlys, Polluks, Pon, Proggy, QEDquid, Querverplänkler, Quickfix, Quirin, RJensch, Rainald62, Rama, Randolph33, Raven, Rdb, Regi51, Rivi, RobertDietz, RobertLechner, Romantiker, RonMeier, Ronny Michel, RonnyK80, Ruler3, STBR, Sadduk, Sammler05, Schirag, Schweikhardt, Scooter, Seb1982, Seewolf, Shakademus, Shorty1000, Sinn, SirPir, Small Axe, Smial, Snert, Sparti, Staro1, Stefan Kühn, Stefan506, Stern, Stw, Stylor, Suirenn, Syncro, T.a.k., THans, TV, Tali, Tambora, Taratonga, Targunitoth, Telephono, ThE cRaCkEr, ThomasSkora, Thomy pc, ThorJH, Tim.landscheidt, TinoStrauss, Tolentino, Tomte, Trotamundos, Trustable, Tsor, Tsui, Tuergeist, TuxJoe, Twarnecke, Ty von Sevelingen, Tönjes, Ucc, Udm, Umweltschützen, Uncle Pain, Unsterblicher, Uwe Herrmann, Uweschwoebel, VanGore, Viktor, Von-Putzi, WAH, Warp, WikiNick, Wikwatch, Wolfgang1018, YMS, YourEyesOnly, Zac67, Zahnradzacken, Zeithase, Zeno Gantner, Zinnmann, Zottie, ZweiBein, 722 anonyme Bearbeitungen

Quelle(n), Lizenz(en) und Autor(en) des Bildes

Datei:Ethernetpaket.svg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ethernetpaket.svg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Benutzer:Bluepoke

Datei:BNC-Technik.jpg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:BNC-Technik.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* 32bitmaschine, Adamantios, Barcex, Ixitixel, Romantiker, Tothwolf

Datei:EAD cable.jpg *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:EAD_cable.jpg *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User Smial on de.wikipedia

Datei:ThicknetTransceiver.jpg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:ThicknetTransceiver.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* User:Ali@gwc.org.uk

Datei:RJ-45-Stecker-und-Buechse.jpg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:RJ-45-Stecker-und-Buechse.jpg> *Lizenz:* Unrestricted Use with attribution *Bearbeiter:* Original uploader was Hieke at de.wikipedia

Datei:100BASE-FX Multimode LC SFP Transceiver IMG7815 wp.jpg *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:100BASE-FX_Multimode_LC_SFP_Transceiver_IMG7815_wp.jpg *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Smial

Datei:100BASE-SX Transceivers-SFP.jpg *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:100BASE-SX_Transceivers-SFP.jpg *Lizenz:* Copyrighted free use *Bearbeiter:* Thomy pc (Transferred by Heubergen/Originally uploaded by Thomy pc)

Lizenz

Wichtiger Hinweis zu den Lizenzen

Die nachfolgenden Lizenzen beziehen sich auf den Artikeltext. Im Artikel gezeigte Bilder und Grafiken können unter einer anderen Lizenz stehen sowie von Autoren erstellt worden sein, die nicht in der Autorenliste erscheinen. Durch eine noch vorhandene technische Einschränkung werden die Lizenzinformationen für Bilder und Grafiken daher nicht angezeigt. An der Behebung dieser Einschränkung wird gearbeitet. Das PDF ist daher nur für den privaten Gebrauch bestimmt. Eine Weiterverbreitung kann eine Urheberrechtsverletzung bedeuten.

Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported - Deed

Diese „Commons Deed“ ist lediglich eine vereinfachte Zusammenfassung des rechtsverbindlichen Lizenzvertrages (http://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Lizenzbestimmungen_Commons_Attribution-ShareAlike_3.0_Unported) in allgemeinverständlicher Sprache. Sie dürfen:

- das Werk bzw. den Inhalt **vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen**
- Abwandlungen und Bearbeitungen** des Werkes bzw. Inhaltes anfertigen

Zu den folgenden Bedingungen:

- Namensnennung** — Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen.
- Weitergabe unter gleichen Bedingungen** — Wenn Sie das lizenzierte Werk bzw. den lizenzierten Inhalt bearbeiten, abwandeln oder in anderer Weise erkennbar als Grundlage für eigenes Schaffen verwenden, dürfen Sie die daraufhin neu entstandenen Werke bzw. Inhalte nur unter Verwendung von Lizenzbedingungen weitergeben, die mit denen dieses Lizenzvertrages identisch, vergleichbar oder kompatibel sind.

Wobei gilt:

- Verzichtserklärung** — Jede der vorgenannten Bedingungen kann aufgehoben werden, sofern Sie die ausdrückliche Einwilligung des Rechteinhabers dazu erhalten.
- Sonstige Rechte** — Die Lizenz hat keinerlei Einfluss auf die folgenden Rechte:
 - Die gesetzlichen Schranken des Urheberrechts und sonstigen Befugnisse zur privaten Nutzung;
 - Das Urheberpersönlichkeitsrecht des Rechteinhabers;
 - Rechte anderer Personen, entweder am Lizenzgegenstand selber oder bezüglich seiner Verwendung, zum Beispiel Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen.

- Hinweis** — Im Falle einer Verbreitung müssen Sie anderen alle Lizenzbedingungen mitteilen, die für dieses Werk gelten. Am einfachsten ist es, an entsprechender Stelle einen Link auf <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.de> einzubinden.

Haftungsbeschränkung

Die „Commons Deed“ ist kein Lizenzvertrag. Sie ist lediglich ein Referenztext, der den zugrundeliegenden Lizenzvertrag übersichtlich und in allgemeinverständlicher Sprache, aber auch stark vereinfacht wiedergibt. Die Deed selbst entfaltet keine juristische Wirkung und erscheint im eigentlichen Lizenzvertrag nicht.

GNU Free Documentation License

Version 1.2, November 2002

Copyright (C) 2000,2001,2002 Free Software Foundation, Inc.

51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA

Everyone is permitted to copy and distribute verbatim copies

of this license document, but changing it is not allowed.

0. PREAMBLE

The purpose of this License is to make a manual, textbook, or other functional and useful document "free" in the sense of freedom: to assure everyone the effective freedom to copy and redistribute it, with or without modifying it, either commercially or noncommercially. Secondly, this License preserves for the author and publisher a way to get credit for their work, while not being considered responsible for modifications made by others.

This License is a kind of "copyleft", which means that derivative works of the document must themselves be free in the same sense. It implements the GNU General Public License, which is a copyleft license designed for free software.

We have designed this License in order to use it for manuals for free software, because free software needs free documentation: a free program should come with manuals providing the same freedoms that the software does. But this License is not limited to software manuals; it can be used for any textual work, regardless of subject matter or whether it is published as a printed book. We recommend this License principally for works whose purpose is instruction or reference.

1. APPLICABILITY AND DEFINITIONS

This License applies to any manual or other work, in any medium, that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. Such a notice grants a world-wide, royalty-free license, unlimited in duration, to use that work under the conditions stated herein. The "Document", below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as "you". You accept the license if you copy, modify or distribute the work in a way requiring permission under copyright law.

A "Modified Version" of the Document means any work containing the Document or a portion of it, either copied verbatim, or with modifications and/or translated into another language.

A "Secondary Section" is a named appendix or a front-matter section of the Document that deals exclusively with the relationship of the publishers or authors of the Document to the Document's overall subject (or to related matters) and contains nothing that could fall directly within that overall subject. (Thus, if the Document is in part a textbook of mathematics, a Secondary Section may not explain any mathematics.) The relationship could be a matter of historical connection with the subject or with related matters, or of legal, commercial, philosophical, ethical or political position regarding them.

The "Invariant Sections" are certain Secondary Sections whose titles are designated, as being those of Invariant Sections, in the notice that says that the Document is released under this License. If a section does not fit the above definition of Secondary then it is not allowed to be designated as Invariant. The Document may contain zero Invariant Sections. If the Document does not identify any Invariant Sections then there are none.

The "Cover Texts" are certain short passages of text that are listed, as Front-Cover Texts or Back-Cover Texts, in the notice that says that the Document is released under this License. A Front-Cover Text may be at most 5 words, and a Back-Cover Text may be at most 25 words.

A "Transparent" copy of the Document means a machine-readable copy, represented in a format whose specification is available to the general public, that is suitable for revising the document straightforwardly with generic text editors or (for images composed of pixels) generic paint programs or (for drawings) some widely available drawing editor, and that is suitable for input to text formatters or for automatic translation to a variety of formats suitable for input to text formatters. A copy made in an otherwise Transparent file format whose markup, or absence of markup, has been arranged to thwart or discourage subsequent modification by readers is not Transparent. An image format is not Transparent if used for any substantial amount of text. A copy that is not "Transparent" is called "Opaque". Examples of suitable formats for Transparent copies include plain ASCII without markup, Textinfo input format, LaTeX input format, SGML or XML using a publicly available DTD, and standard-conforming simple HTML, PostScript or PDF designed for human modification. Examples of transparent image formats include PNG, XCF and JPG. Opaque formats include proprietary formats that can be read and edited only by proprietary word processors, SGML or XML for which the DTD and/or processing tools are not generally available, and the machine-generated HTML, PostScript or PDF produced by some word processors for output purposes only.

The "Title Page" means, for a printed book, the title page itself, plus such following pages as are needed to hold, legibly, the material this License requires to appear in the title page. For works in formats which do not have any title page as such, "Title Page" means the text near the most prominent appearance of the work's title, preceding the beginning of the body of the text.

A section "Entitled XYZ" means a section of the Document whose title either is precisely XYZ or contains XYZ in parentheses following text that translates XYZ in another language. (Here XYZ stands for a specific section name mentioned below, such as "Acknowledgements", "Dedications", "Endorsements", or "History"). To "Preserve the Title" of such a section when you modify the Document means that it remains a section "Entitled XYZ" according to this definition.

The Document may include Warranty Disclaimers next to the notice which states that this License applies to the Document. These Warranty Disclaimers are considered to be included by reference in this License, but only as regards disclaiming warranties; any other implication that these Warranty Disclaimers may have is void and has no effect on the meaning of this License.

2. VERBATIM COPYING

You may copy and distribute the Document in any medium, either commercially or noncommercially, provided that this License, the copyright notices, and the license notice saying this License applies to the Document are reproduced in all copies, and that you add no other conditions whatsoever to those of this License. You may not use technical measures to obstruct or control the reading or further copying of the copies you make or distribute. However, you may accept compensation in exchange for copies. If you distribute a large enough number of copies you must also follow the conditions in section 3.

You may also lend copies, under the same conditions stated above, and you may publicly display copies.

3. COPYING IN QUANTITY

If you publish printed copies (or copies in media that commonly have printed covers) of the Document, numbering more than 100, and the Document's license notice requires Cover Texts, you must enclose the copies in covers that carry, clearly and legibly, all these Cover Texts: Front-Cover Texts on the front cover, and Back-Cover Texts on the back cover. Both covers must also clearly and legibly identify you as the publisher of these copies. The front cover must present the full title with all words of the title equally prominent and visible. You may add other material on the covers in addition. Copying with changes limited to the covers, as long as they preserve the title of the Document and satisfy these conditions, can be treated as verbatim copying in other respects.

If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest on adjacent pages.

If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a computer-network location from which the general network-using public has access to download using public-standard network protocols a complete Transparent copy of the Document, free of added material. If you use the latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.

If it is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

4. MODIFICATIONS

You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

- **A.** Use in the Title Page (and on the covers, if any) a title distinct from that of the Document, and from those of previous versions (which should, if there were any, be listed in the History section of the Document). You may use the same title as a previous version if the original publisher of that version gives permission.
- **B.** List on the Title Page, as authors, one or more persons or entities responsible for authorship of the modifications in the Modified Version, together with at least five of the principal authors of the Document (all of its principal authors, if it has fewer than five), unless they release you from this requirement.
- **C.** State on the Title page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher.
- **D.** Preserve all the copyright notices of the Document.
- **E.** Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices.
- **F.** Include, immediately after the copyright notices, a license notice giving the public permission to use the Modified Version under the terms of this License, in the form shown in the Addendum below.
- **G.** Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document's license notice.
- **H.** Include an unaltered copy of this License.
- **I.** Preserve the section entitled "History". Preserve its Title, and add to it an item stating at least the title, year, new authors, and publisher of the Modified Version as given on the Title Page. If there is no section entitled "History" in the Document, create one stating the title, year, authors, and publisher of the Document as given on its Title Page, then add an item describing the Modified Version as stated in the previous sentence.
- **J.** Preserve the network location, if any, given in the Document for public access to a Transparent copy of the Document, and likewise the network locations given in the Document for previous versions it was based on. These may be placed in the "History" section. You may omit a network location for a work that was published at least four years before the Document itself, or if the original publisher of the version it refers to gives permission.
- **K.** For any section entitled "Acknowledgements" or "Dedications", Preserve the Title of the section, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein.
- **L.** Preserve all the Invariant Sections of the Document, unaltered in their text and in their titles. Section numbers or the equivalent are not considered part of the section titles.
- **M.** Delete any section entitled "Endorsements". Such a section may not be included in the Modified Version.
- **N.** Do not retitle any existing section to be entitled "Endorsements" or to conflict in title with any Invariant Section.
- **O.** Preserve any Warranty Disclaimers.

If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version's license notice. These titles must be distinct from any other section titles.

You may add a section entitled "Endorsements", provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties—for example, statements of peer review or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.

You may add a passage of up to five words to a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words to a Back-Cover Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added by (or through arrangements made by) any one entity. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another; but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.

The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

5. COMBINING DOCUMENTS

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice, and that you preserve all their Warranty Disclaimers.

The combined work need not contain one copy of this License, and multiple identical Invariant Sections may be replaced with a single copy. If there are multiple Invariant Sections with the same name but different contents, make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number. Make the same adjustment to the section titles in the list of Invariant Sections in the license notice of the combined work.

In the combination, you must combine any sections entitled "History" in the various original documents, forming one section entitled "History"; likewise combine any sections entitled "Acknowledgements", and any sections entitled "Dedications". You must delete all sections entitled "Endorsements".

6. COLLECTIONS OF DOCUMENTS

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects.

You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

7. AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, is called an "aggregate" if the copyright resulting from the compilation is not used to limit the legal rights of the compilation's users beyond what the individual works permit. When the Document is included in an aggregate, this License does not apply to the other works in the aggregate which are not themselves derivative works of the Document.

If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one half of the entire aggregate, the Document's Cover Texts may be placed on covers that bracket the Document within the aggregate, or the electronic equivalent of covers if the Document is in electronic form. Otherwise they must appear on printed covers that bracket the whole aggregate.

8. TRANSLATION

Translation is considered a kind of modification, so you may distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License, and all the license notices in the Document, and any Warranty Disclaimers, provided that you also include the original English version of this License and the original versions of those notices and disclaimers. In case of a disagreement between the translation and the original version of this License or a notice or disclaimer, the original version will prevail.

If a section in the Document is entitled "Acknowledgements", "Dedications", or "History", the requirement (section 4) to Preserve its Title (section 1) will typically require changing the actual title.

9. TERMINATION

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided for under this License. Any other attempt to copy, modify, sublicense or distribute the Document is void, and will automatically terminate your rights under this License. However, parties who have received copies, or rights, from you under this License will not have their licenses terminated so long as such parties remain in full compliance.

10. FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns. See <http://www.gnu.org/copyleft/>.

Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License "or any later version" applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation.

ADDENDUM: How to use this License for your documents

To use this License in a document you have written, include a copy of the License in the document and put the following copyright and license notices just after the title page:

Copyright (c) YEAR YOUR NAME.
 Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document
 under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.2
 or any later version published by the Free Software Foundation;
 with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts.

A copy of the license is included in the section entitled

"GNU Free Documentation License".

If you have Invariant Sections, Front-Cover Texts and Back-Cover Texts, replace the "with...Texts." line with this:

with the Invariant Sections being LIST THEIR TITLES, with the

Front-Cover Texts being LIST, and with the Back-Cover Texts being LIST.

If you have Invariant Sections without Cover Texts, or some other combination of the three, merge those two alternatives to suit the situation.

If your document contains nontrivial examples of program code, we recommend releasing these examples in parallel under your choice of free software license, such as the GNU General Public License, to permit their use in free software.