



ITWissen

Das große Online-Lexikon
für Informationstechnologie

Glossar

10-Gigabit-Ethernet

- **10-Gigabit-Ethernet 10GbE**
- **10GBase-CX4**
- **10GBase-ER**
- **10GBase-EW**
- **10GBase-KR**
- **10GBase-KX4**
- **10GBase-LR**
- **10GBase-LRM**
- **10GBase-LW**
- **10GBase-LX4**
- **10GBase-SR**
- **10GBase-SW**
- **10GBase-T**
- **10GbE-Schichtenmodell**
- **10GbE-Schnittstelle**
- **Backplane-Ethernet, BPE**
- **IEEE 802.3an**
- **IEEE 802.3ap**
- **IEEE 802.3ae**
- **IEEE 802.3aq**
- **IEEE 802.3av**
- **QSFP, quad small form factor pluggable**
- **SFP+, small form-factor pluggable plus**
- **Transceiver-Modul**
- **XAUI, 10 Gigabit attachment unit interface**
- **XFP, 10 gigabit small form factor pluggable module**
- **XGMII, 10 gigabit media independent interface**
- **Impressum**

10-Gigabit-Ethernet

10-Gigabit-Ethernet 10GbE

Die Standardisierungsaktivitäten für 10-Gigabit-Ethernet (10GbE) werden von verschiedenen IEEE-Arbeitsgruppen betrieben. Die Arbeitsgruppe *802.3ae* sieht 10 GbE als universelle High-Speed-Infrastruktur, die in Rechenzentren, lokalen Netzen, Speichernetzen und in Weitverkehrsnetzen eingesetzt werden kann. Diese Arbeitsgruppe hat diverse Schnittstellen

10GBASE-Varianten	Reichweite	Übertragungsmedien	Wellenlänge
10GBASE-LX4	300 m	Multimodefaser	1.269 nm bis 1.356 nm (4 W.)
10GBASE-SR	65 m	Multimodefaser	850 nm
10GBASE-LR	10 km	Monomodefaser	1.310 nm
10GBASE-ER	40 km	Monomodefaser	1.550 nm
10GBASE-SW	65 m	Multimodefaser	850 nm
10GBASE-LW	10 km	Monomodefaser	1.310 nm
10GBASE-EW	40 km	Monomodefaser	1.550 nm
10GBASE-CX4	15 m	Kupfer-Doppel. Twinax	
10GBASE-T	100 m	Kupfer-Doppel. Cat. 6 und 7	
10GBASE-KX4	1 m	STP-Kabel	
10GBASE-KR	1 m	Backplane-Eth. STP-Kabel Backplane-Eth.	

Physikalische Schnittstellen von 10-Gigabit-Ethernet

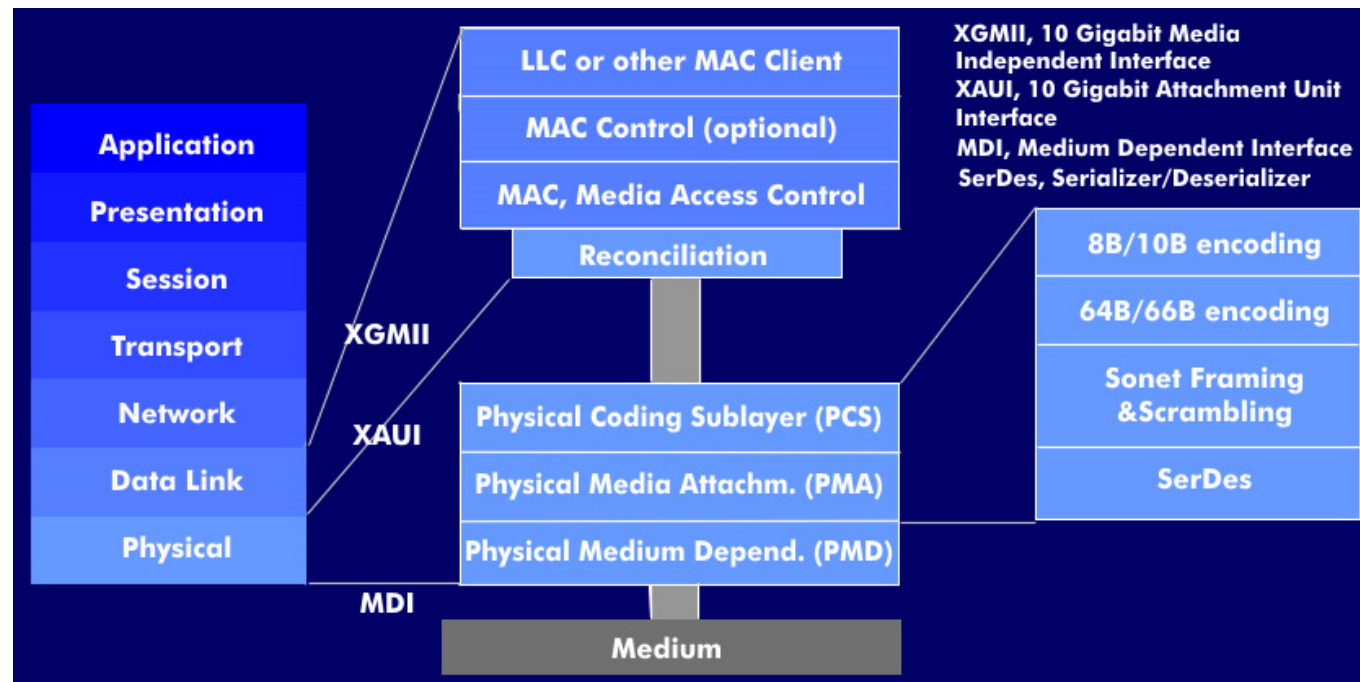
für Multimodefasern, Monomodefasern, STP-Kabel und Twinaxial-Kabel spezifiziert. Beispiele hierfür sind *10GBase-SR*, *10GBase-LR*, *10GBase-ER* und *10GBase-LX4*.

Dagegen bezieht sich der Ansatz der Arbeitsgruppe *802.3ak* auf die 10-Gbit/s-Übertragung über kurze Entfernungen über STP-Kabel, was sich in der Schnittstelle *10GBase-CX4* ausdrückt. Und die Arbeitsgruppe *802.3aq* hat den Fokus auf mittlere Entfernungen bis 300 m gelegt, die mit Multimodefasern überbrückt werden können. Von ihr stammt die Schnittstelle *10GBase-LRM*, was für Long Reach Multimedia steht. Und dann gibt es noch die Backplane-

10-Gigabit-Ethernet

Aktivitäten, die von der Arbeitsgruppe *802.3ap* standardisiert werden, und bei denen Backplane-Leitungen für die HS-Übertragung genutzt werden. Sie hat die 10-Gbit/s-Schnittstellen *10GBase-KR* und *10GBase-KX4* standardisiert.

10-Gigabit-Ethernet unterstützt ausschließlich Vollduplex-Verbindungen, halbduplex und CSMA/CD werden nicht unterstützt. Das *10GbE-Schichtenmodell* hat am MAC-Interface eine Datenrate von 10 Gbit/s, als Codierverfahren wurde eine effiziente Blockcodierung gewählt, die nur zwei zusätzliche Bits für einen 64-Bit-Datenblock benötigt. Neben der 64B/66B-Codierung kommt auch die 8B/10B-Codierung zur Anwendung. Bei dem universellen Ansatz



10GbE-Schichtenmodell

10-Gigabit-Ethernet

von 802.3ae ist die Physical Medium Dependent (PMD) so konzipiert, dass 10GbE in lokalen Netzen und in Weitverkehrsnetzen eingesetzt und die gleichen optischen *Transceiver-Module* benutzen kann. Im LAN-Bereich beträgt die Datenrate 10 Gbit/s und in Weitverkehrsnetze für Sonet OC-192c 9,584640 Gbit/s. Mit den bisher verwendeten Monomodefasern (1.310 nm) werden Entfernungen bis zu 10 km überbrückt; für Entfernungen von bis zu 40 km sind Monomodefasern mit einer Lichtquelle von 1.550 nm vorgesehen. 10GbE unterstützt auch Sonet/SDH.

Was die Rechenzentren und Data Center Ethernet betrifft, so gibt es Lösungen für STP-Kabel und mit *Backplane-Ethernet* eine 10-Gbit/s-Technologie auf Rack-Ebene.

<http://www.10gea.org>

10GBase-CX4

10GBase-CX4 ist eine standardisierte, auf Kupferkabel basierende *10-Gigabit-Ethernet*-Variante, gemäß dem Standard IEEE 802.3ak. Bevor die klassische T-Variante standardisiert wurde, hatte man im Jahre 2004 bereits eine kostengünstige Version für kurze Entfernungen von bis zu 15 m verabschiedet. 10GBase-CX4 eignet sich für den Hochgeschwindigkeit-Datentransfer in Racks und für die Verkabelung von nahe nebeneinander stehenden Racks in Rechenzentren oder im Verteilerraum.

Im CX4-Standard werden Entwicklungen aus InfiniBand und 10-Gigabit-Ethernet übernommen. So das 10 Gigabit Attachment Unit Interface (*XAUI*) und das Twinaxial-Kabel, IB4X-Kabel, das auch in Infiniband benutzt wird.

Der 10-Gigabit-Datenstrom wird für die Übertragung auf vier Transmitter- und Receiver-Lanes aufgeteilt. Jede dieser Lanes arbeitet mit einer Datenrate von 3,125 Gbit/s pro Kanal und einer 8B/10B-Codierung. Technisch wird die 10GBase-CX4-Schnittstelle mit einem optischen Transceiver in einem *XFP*- oder *SFP+-Modul* realisiert.

10-Gigabit-Ethernet

10GBase-ER

	10GBASE-X LAN 8B/10B	10GBASE-R LAN 64B/66B	10GBASE-W WAN, SONET
Short 850 nm		10GBASE-SR	10GBASE-SW
Long 1.310 nm	10GBASE-LX4	10GBASE-LR	10GBASE-LW 10GBASE-LW4
Extra Long 1.550 nm		10GBASE-ER	10GBASE-EW

Interface von 10-Gigabit-Ethernet

Basisband, das „E“ steht für „Extrem Long“, was sich auf die überbrückbare Entfernung von 40 km bezieht. 10GBase-ER ist für eine Monomodefaser mit einer Wellenlänge von 1.550 nm spezifiziert und arbeitet mit einem DFB-Laser. Der Buchstabe „R“ besagt, dass die Schnittstelle eine 64B/66B-Codierung benutzt. Die effektive Datenrate beträgt 10 Gbit/s, durch die 64B/66B-Codierung ergibt sich eine resultierende Baudrate von 10,3125 Gbit/s. Als Stecker werden LC- und SC-Stecker in Duplex-Ausführung eingesetzt.

Die 10GBase-ER-Schnittstelle ist von der Nomenklatur her eine *10GBE-Schnittstelle* für lokale Netze, sie eignet sich auch für Weitverkehrsnetze und Stadtnetze. Der Physical Layer korrespondiert mit dem von *10GBase-EW*.

10GBase-EW

Aus der IEEE-Nomenklatur der GbE-Schnittstellen geht hervor, dass es sich bei der 10GBase-EW um eine LwL-Schnittstelle für Monomodefasern handelt, die mit einer Wellenlänge von 1.550 nm (E) arbeitet und in Weitverkehrsnetzen (W) eingesetzt wird. Die über 10GBase-EW

Nach der Schnittstellennomenklatur für 10-GbE-Schnittstellen handelt es sich bei 10GBase-ER um eine Schnittstelle für Monomodefasern. Die Monomodefasern hat eine OS-Klasse OS1.

Aus der IEEE-Nomenklatur 10GBase-ER lässt sich folgendes ablesen: 10G steht für *10-Gigabit-Ethernet*, Base für

10-Gigabit-Ethernet

übertragenen Signale werden mit einer 64B/66B-Codierung codiert, der *10GbE*-Datenstrom wird auf dem Physical Coding Sublayer (PCS) in ein Frameformat von Sonet und der Synchronous Digital Hierarchy (SDH) verpackt. Die Übertragungsrate beträgt 9,584640 Gbit/s und entspricht damit der Datenrate des Optical Carrier OC-192. Die Übertragung erfolgt im dritten optischen Fenster bei 1.550 nm und kann Entfernungen bis 40 km überbrücken.

10GBase-KR

Die Schnittstelle IEEE 10GBase-KR ist eine von *IEEE 802.3ap* spezifizierte Schnittstelle für *Backplane-Ethernet*. Es ist eine 10-Gigabit-Schnittstelle für eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung über das Backplane.

Die Verbindung kann eine Distanz von 1 m überbrücken und arbeitet mit einer Datenrate von 10,3125 GBaud. Die Schnittstelle arbeitet mit Autonegotiation und kann damit die

Device		
Ethernet-Backplane		
Schnittstelle	Datenrate	Adernpaare
1000Base-KX	1 Gbit/s, 1,25 GBaud	ein, 1 m
10GBase-KX4	10 Gbit/s 3,125 GBaud	vier, 1 m
10GBase-KR	10 Gbit/s 10,3125 GBaud	ein, 1 m

Die Backplane-Standards von 1- und 10-Gigabit-Ethernet nach *IEEE 802.3ap*

höchstmögliche Datenrate zwischen den anderen Schnittstellen 1000Base-KX und *10GBase-KX4* ausnutzen. Sie hat eine 64B/66B-Codierung und differenzielle Ausgangspegel zwischen 800 mV und 1,2 V.

Da in der Schnittstelle bekannte Verbindungskomponenten benutzt werden, kann es zu Inter Symbol Interferences (ISI) kommen, die bei höheren Frequenzen ansteigen. Zur Reduzierung der Inter-Symbol-Interferenzen hat die

10-Gigabit-Ethernet

Standardisierungsgruppe IEEE 802.3ap bei 10GBase-KR die Electronic Dispersion Compensation (EDC) und das Feed-Forward Equalization (*FFE*) ebenfalls standardisiert. Beide Funktionen sind im Transceiver (XCVR) implementiert und reduzieren die Inter Symbol Interferences.

Backplane-Ethernet ist besonders interessant für Blade-Server und Backplane-Verbindungen in anderen Systemen.

10GBase-KX4

Die Schnittstelle IEEE 10GBase-KX4 ist eine von *IEEE 802.3ap* spezifizierte Schnittstelle für *Backplane-Ethernet*. Es ist eine 10-Gigabit-Schnittstelle für eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung über das Backplane. Die Verbindung kann eine Distanz von einem Meter überbrücken, sie besteht aus vier Lanes und hat eine Datenrate von 3,125 GBaud. Die 10GBase-KX4-Schnittstelle arbeitet mit Autonegotiation zwischen den Schnittstellen 1000Base-KX und *10GBase-KR*. Sie hat 8B/10B-Codierung und einen differenziellen Ausgangspegel von 800 mV und 1,6 V.

Da in der Schnittstelle bekannte Verbindungskomponenten benutzt werden, kann die Signalqualität bei der Übertragung im Backplane leiden und Inter Symbol Interferences (ISI) verursachen, die bei höheren Frequenzen ansteigen. Zur Reduzierung der Inter-Symbol-Interferenzen hat die Standardisierungsgruppe IEEE 802.3ap bei 10GBase-KX4 die Electronic Dispersion Compensation (EDC) und ein Feed-Forward Equalization (*FFE*) mit standardisiert. Backplane-Ethernet ist besonders interessant für Blade-Server und Backplane-Verbindungen in anderen Systemen.

10GBase-LR

Die *10GbE*-Schnittstellenunterliegen einer festen Nomenklatur. Nach dieser handelt es sich bei 10GBase-LR um eine Schnittstelle für Lichtwellenleiter.

10-Gigabit-Ethernet

Aus der IEEE-Nomenklatur 10GBase-LR lässt sich folgendes ablesen: 10G steht für 10-Gigabit-Ethernet, Base für Basisband, das „L“ steht für „Extrem Long“ und gilt für eine Monomodefaser mit einer Wellenlänge von 1.550 nm und das „R“ wird für eine 64B/66B-Codierung benutzt. 10GBase-LR arbeitet mit einem DFB- oder FPL-Laser und ist für Entfernungen bis zu 10 km ausgelegt. Diese Entfernung wird häufig um das Doppelte übertroffen, und zwar ohne Datenverlust. Das „L“ steht für eine Wellenlänge von 1.310 nm und das „R“ für eine 64B/66B-Codierung auf dem Physical Coding Sublayer (PCS). 10GBase-LR benutzt für die Übertragung eine Monomodefaser der OS-Klasse OS1. Die resultierende Baudrate beträgt 10,3125 GBaud. Als Stecker werden LC- und SC-Stecker in Duplex-Ausführung eingesetzt. Der Physical Layer von 10GBase-LR korrespondiert mit dem von *10GBase-LW*. Technisch realisiert wird die 10GBase-LR-Schnittstelle mit einem optischen Transceiver in einem *XFP-Modul*. Ihren Einsatz findet sie in Metro- und Campus-Netzen.

10GBase-LRM

10GBase-LRM (Long Reach Multimode) ist eine *10GbE-Schnittstelle*, die von der IEEE-Arbeitsgruppe *802.3aq* spezifiziert wurde. Nach der Schnittstellen-Nomenklatur von *10-Gigabit-Ethernet* ist es eine LAN-Schnittstelle für Multimodefasern mit einer Wellenlänge von 1.310 nm (L) und einer 64B/66B-Codierung (R).

Die 10GBase-LRM wurde speziell für Serverfarmen entwickelt, bei denen vorwiegend Multimodefasern eingesetzt werden. Diese sollen mit der 10GBase-LRM-Schnittstelle für die 10-Gigabit-Ethernet-Technologie nutzbar gemacht werden. Ein wesentlicher Aspekt von 10GBase-LRM liegt darin, dass die bei dieser Schnittstelle benutzten Lichtwellenleiter keine spezielle OM-Klasse voraussetzen.

Um die Reichweite zu verbessern, arbeitet 10GBase-LRM senderseitig mit einer Electronic Dispersion Compensation (EDC), die im Transmitter implementiert ist. Die Reichweite betrug

10-Gigabit-Ethernet

10GBase-LW

	LAN	LAN, WAN	LAN, Device	Device
Short 850 nm	Glasfaser 10GBASE-LX4 62,5 µm MMF: 300 m 50 µm MMF: 300 m 10 µm SMF: 10 km	10GBASE-SR/W 62,5 µm MMF: 26 m 50 µm MMF: 82 m	Kupfer 10GBASE-CX4 Twinax 4-Lanes 15 m	Backplane 10GBASE-KX4 4-Lanes 1 m
Long 1.310 nm	10GBASE-LRM 50/62,5 µm MMF: 300 m 10 µm SMF: 10 km	10GBASE-LR/W 10 µm SMF: 10 km	10GBASE-T Cat 6/7 4-Pairs 55 m bis 100 m	10GBASE-KR serial 1 m
Extra 1.550 nm		10 GBASE-ER/W 10 µm SMF: 40 km		

MMF, multimode fiber L, long wave
SMF, single mode fiber R, blockcoding
M, FDDI grade MMF

Standards von 10-Gigabit-Ethernet

Nach dieser handelt es sich bei 10GBase-LW um eine LwL-Schnittstelle für Monomodefasern, die im zweiten optischen Fenster bei 1.310 nm arbeitet. Die über 10GBase-LW übertragenen Signale werden mit einer 64B/66B-Codierung codiert und auf dem Physical Coding Sublayer (PCS) werden die 10-GbE-Frames in das Frameformat von Sonet und der Synchronous Digital Hierarchy (SDH) verpackt. Die Übertragungsrate beträgt 9,584640 Gbit/s und entspricht damit dem des Optical Carrier, OC-192 bzw. dem Synchronous Transport Module, STM-64. Die überbrückbare Entfernung kann bis zu 10 km betragen.

Die 10GBase-LW-Schnittstelle wurde von *IEEE 802.3ae* spezifiziert und kann auch in Rechenzentren und in Backbones eingesetzt werden.

in der Anfangsphase 300 m und wurde später aus praktischen Überlegungen auf 220 m reduziert.

10GbE-Schnittstellen unterliegen einer festen Nomenklatur.

10-Gigabit-Ethernet

10GBase-LX4

Die 10GBase-LX4 ist eine *10GbE-Schnittstelle*. Nach der Schnittstellen-Nomenklatur von *10-Gigabit-Ethernet* handelt es sich um eine Lichtwellenleiterschnittstelle für lokale Netze (LAN), die vier Lanes in CDWM im Wellenlängenbereich von 1.310 nm multiplext.

Nach der IEEE-Nomenklatur steht der Buchstabe „L“ in der Extension LX für „Long“ und das „X“ für lokale Netze (LAN) und eine 8B/10B-Codierung. Als Lichtwellenleiter kann die 10GBase-LX4 Multimodefasern 50/62,5 µm oder auch Monomodefasern benutzen, die die Lichtsignale von vier VCSEL-Lasern mit einer Baudrate von 3,125 GBaud pro Lane übertragen. Mit Multimodefasern werden Entfernungen bis 300 m erreicht.

Die Reichweite für die Multimodefaser liegt bei 300 m. Die OM-Klassen der Multimodefasern sind OM1 und OM2. Als Lichtquelle werden ein VCSEL-Array oder ein DFB-Laser eingesetzt.

Mit der Monomodefaser können dagegen 10 km überbrückt werden.

Die Schnittstelle 10GBase-LX4 ist insofern interessant für Anwendungen bei denen sowohl Multimode- als auch Monomodefasern eingesetzt werden.

CWDM-Wellenlängenbänder

1269,0 nm bis 1282,4 nm
1293,5 nm bis 1306,9 nm
1318,0 nm bis 1331,4 nm
1342,5 nm bis 1355,9 nm

Die vier CWDM-Wellenlängenbänder von 10GBase-LX4

10GBase-SR

Nach der Nomenklatur der *10GbE-Schnittstellen* handelt es sich bei einer 10GBase-SR um eine Schnittstelle mit Lichtwellenleitern, die mit kurzen Wellenlängen (S) von 850 nm und mit der 64B/66B-Codierung (R) arbeitet.

Die 10GBase-SR-Schnittstelle hat mit 10,3125 GBaud die volle Datenrate von *10-Gigabit-Ethernet*. Als Übertragungsmedium benutzt sie eine Multimodefaser 50/62,5 µm. Wird die 10GBase-SR an vorhandenen Lichtwellenleitern betrieben, dann liegt die überbrückbare Distanz bei etwa 85 m. Mit Multimodefasern der OM-Klasse OM3 erhöht sich die überbrückbare

10-Gigabit-Ethernet



XFP-Modul mit 10GBase-SR-Schnittstelle, Foto: D-Link

Entfernung auf 300 m. Als Lichtquelle kann ein preiswerter VCSEL-Laser benutzt werden. Als Stecker benutzt 10GBase-SR SC- und LC-Stecker in Duplex-Ausführung.

Technisch wird die 10GBase-SR-Schnittstelle mit einem optischen Transceiver in einem *XFP-Modul* realisiert, eingesetzt wird sie in Rechenzentren.

10GBase-SW

Die *10GbE-Schnittstelle* 10GBase-SW benutzt Multimodefasern und arbeitet im ersten optischen Fenster bei 850 nm. Wie die anderen 10GBase-W-Schnittstellen *10GBase-LW* und *10GBase-EW* werden die Frames in Blockcodierung codiert und auf dem Physical Coding Sublayer (PCS) in das Frameformat von Sonet und der Synchronous Digital Hierarchy (SDH) verpackt. Die Übertragungsrates beträgt 9,584640 Gbit/s und entspricht damit der Datenrate des Optical Carrier OC-192. Die überbrückbare Entfernung ist WAN-untypisch und beträgt bei Monomodefasern maximal 300 m.

Eingesetzt werden kann 10GBase-SW in der Gebäudeverkabelung und in Rechenzentren.

10GBase-T

Die Arbeitsgruppe *IEEE 802.3an* hat *10-Gigabit-Ethernet* über TP-Kabel mit RJ45-Steckern standardisiert: 10GBase-T. Für diesen Standard wurden einige Ethernet-typische Kriterien wie die Beibehaltung des Ethernet-Frames und der MAC-Schnittstelle, der Vollduplex-Betrieb, die Übertragung über ein TP-Kabel berücksichtigt.

10GBase-T benutzt ein 4-paariges symmetrisches Kupferkabel mit definierten Übertragungseigenschaften bis zu Frequenzen von 500 MHz. Diese Technik arbeitet über

10-Gigabit-Ethernet



RJ45-Stecker für 10-Gigabit-Ethernet, Foto: Harting

Entfernungen von bis zu 100 m. Als Modulationsverfahren wird die DSQ-Modulation eingesetzt, eine Quadraturamplitudenmodulation (QAM) bei dem zwei gegeneinander versetzte 64-QAM-Signale übertragen werden. Für die Geschwindigkeitsanpassung an andere T-Schnittstellen sorgt die

Autonegotiation.

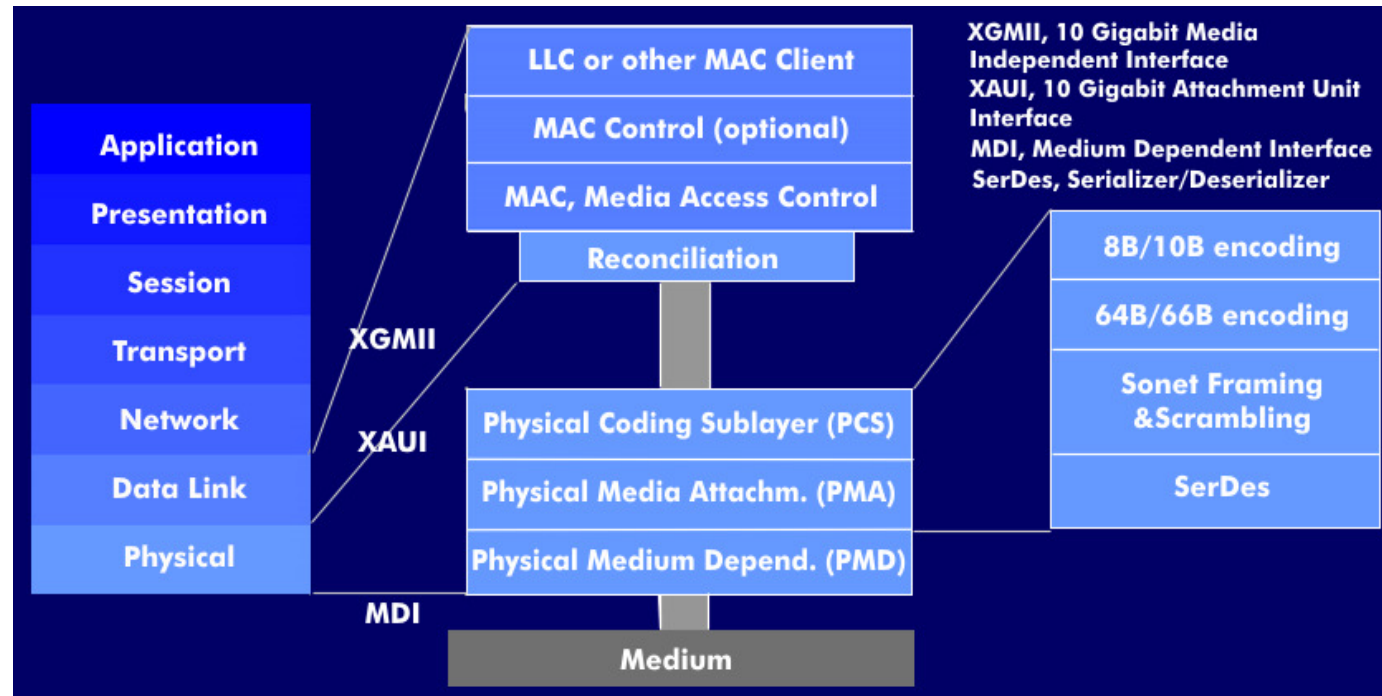
Die Anforderungen für das NEXT und das Dämpfung-Nebensprech-Verhältnis (ACR) werden durch die Link-Klasse „E“ erfüllt, so dass TP-Kabel mit einer auf 500 MHz erweiterten Kategorie 6 (Cat 6a) und Kategorie 7 bei 10GBase-T zum Einsatz kommen. Allerdings beeinträchtigen auch bei diesen Kabeln verschiedene Faktoren wie die Einfügungsdämpfung (IL), die Rückflussdämpfung (RL), das Next oder das Elfext die Übertragung.

10GBase-T hat eine Bitfehlerrate von 10×10^{-12} für alle unterstützten Dienste und Entfernungen.

10GbE-Schichtenmodell

Für das Schichtenmodell von 10GbE wurden im Unterschied zu Gigabit-Ethernet (GbE) einige neue Schichten und Schnittstellen definiert. Der MAC-Sublayer orientiert sich im Wesentlichen an den bekannten Ethernet-Hochgeschwindigkeitsversionen. Der MAC-Layer unterstützt allerdings nur noch Vollduplex-Übertragung. Darüber hinaus gibt es am MAC-Interface zwei Datenraten: Für LANs die Übertragungsgeschwindigkeit von exakt 10 Gbit/s und für WAN-Anwendungen die Übertragungsrate von 9,584640 Gbit/s und ein optionales

10-Gigabit-Ethernet



10GbE-Schichtenmodell

medienunabhängiges Interface (*XGMII*). Unterstützt wird ferner die Link Aggregation nach 802.3ad.

Auf der MAC-Ebene ist ein Mechanismus definiert, der die unterschiedlichen Datenraten zwischen Lokalen Netzen und Weitverkehrsnetzen angleichen soll. Der Medium Access Control (MAC) ermittelt dabei auf Senderseite die Datenpaketlänge und verlängert die Lücke zwischen den Datenpaketen, den so genannten Interframe Gap (IFG), bis die mittlere Datenrate im WAN von 9,584640 Gbit/s nicht überschritten wird.

Als Schnittstelle zwischen Medium Access Control (MAC) und Physical Coding Sublayer (PCS)

10-Gigabit-Ethernet

oder XGMII Extender Sublayer (XGXS) dient XGMII, das 10 Gigabit Media Independent Interface. Die Daten werden dabei mittels der Double Data Rate-Technik (DDR) mit doppelter Geschwindigkeit übertragen. Die Schicht XGXS ist optional und nur dann notwendig, wenn die maximale Leitungslänge von XGMII überschritten ist. Auf dieser Ebene findet eine 8B/10B-Codierung statt. Als Schnittstelle zwischen zwei XGXS-Einheiten dient das *XAUI*-Interface, 10 Gigabit Attachment Unit Interface.

Für die Codierung der Daten ist die PCS-Schicht zuständig. Als Codierverfahren für WAN-Anwendungen wurde eine effiziente Block-Codierung ausgewählt, die 64B/66B-Codierung, die nur zwei zusätzliche Bits für einen 64-Bit-Datenblock benötigt. Neben dieser neuen Codiertechnik kommt bei LAN-Anwendungen die 8B/10B-Codierung zur Anwendung.

Eine weitere Komponente von 10-Gigabit-Ethernet ist der WAN Interface Sublayer (WIS). Dieser ist nur erforderlich, wenn der Nutzer das System an ein Weitverkehrsnetz anschließen möchte. WIS verpackt die Ethernet-Pakete in STS-192c-Rahmen. Auf der Leitung ergibt sich eine Datenrate von 9,53280 Gbit/s; abzüglich des Overheads entspricht dies einer Datenrate für die Payload von 9,584640 Gbit/s auf dem Physical Coding Sublayer (PCS).

Das SUPUI-Interface ist nur zum Wellenlängenmultiplex in Weitverkehrsnetzen (WAN) erforderlich.

10GbE-Schnittstelle

Die Standardisierungsgremien von *10-Gigabit-Ethernet* (10GbE) haben für die 10GE-Technologie verschiedene Schnittstellen definiert und dafür eine eigene Nomenklatur herausgegeben.

Diese Nomenklatur orientiert sich an der bekannten Ethernet-Nomenklatur 10GBase-xxx und charakterisiert im Appendix (xxx) die Wellenlänge des Lichtwellenleiters, die Codierung und das Wellenlängenmultiplex. So unterscheidet 10GE zwischen einer langen Wellenlänge von

10-Gigabit-Ethernet



Nomenklatur für 10-Gigabit-Ethernet

10GbE im LAN

Nach der vorgegebenen Nomenklatur ist die Bezeichnung für eine 10GbE-LAN-Schnittstelle mit 64B/66B-Codierung und einer Wellenlänge von 850 nm *10GBase-SR*. Die gleiche Schnittstelle mit langwelligerem Licht von 1.310 nm hat die Bezeichnung *10GBase-LR* und die mit extrem langwelligem Licht mit einer Wellenlänge von 1.550 nm ist *10GBase-ER*. Daneben gibt es für den LAN-Bereich noch eine Variante mit 8B/10B-Codierung (X) und einer Wellenlänge von 1.310 nm, die *10GBase-LX4*.

1.310 nm (Buchstabe L), einer extrem langen Wellenlänge (E) mit 1.550 nm und einer kurzen Wellenlänge (S) von 850 nm. Des Weiteren wird unterschieden zwischen einer 8B/10B-Codierung (X) und einer Blockcodierung (R) für LANs sowie einer WAN-Codierung (W). Beim Wellenlängenmultiplex unterscheidet die Nomenklatur zwischen seriell (1) und der Anzahl für das WDM (n).

10-Gigabit-Ethernet

10GBASE-Varianten	Reichweite	Übertragungsmedien	Wellenlänge
10GBASE-LX4	300 m	Multimodefaser	1.269 nm bis 1.356 nm (4 W.)
10GBASE-SR	65 m	Multimodefaser	850 nm
10GBASE-LR	10 km	Monomodefaser	1.310 nm
10GBASE-ER	40 km	Monomodefaser	1.550 nm
10GBASE-SW	65 m	Multimodefaser	850 nm
10GBASE-LW	10 km	Monomodefaser	1.310 nm
10GBASE-EW	40 km	Monomodefaser	1.550 nm
10GBASE-CX4	15 m	Kupfer-Doppel-Twinax	
10GBASE-T	100 m	Kupfer-Doppel-Cat. 6 und 7	
10GBASE-KX4	1 m	STP-Kabel	
10GBASE-KR	1 m	Backplane-Eth. STP-Kabel Backplane-Eth.	

Physikalische Schnittstellen von 10-Gigabit-Ethernet

ihre Daten aus dem 10-Gigabit-Ethernet über SDH und Sonet von Carriern oder über Wellenlängenmultiplex (WDM) übertragen möchten, ohne die Ethernet-Frames zu mappen. Für diese WAN-Anwendungen gibt es je nachdem welches optische Fenster benutzt wird, die Schnittstellen *10GBase-LW*, *10GBase-SW* und *10GBase-EW*. Diese Schnittstellen korrespondieren im Physical Layer mit 10GBase-SR, 10GBase-LR, 10GBase-ER und 10GBase-ZR.

10GbE im WAN

10GE unterstützt neben lokalen Netzen auch Weitverkehrsnetze mit Sonet und SDH. Die Schnittstellen-Nomenklatur kennt für den Weitverkehrsbereich den Buchstaben W. Bei den W-Versionen wird der 10GbE-Datenstrom auf dem Physical Coding Sublayer (PCS) in ein Frameformat von Sonet und der Synchronous Digital Hierarchy (SDH) verpackt. Die Übertragungsrates beträgt 9,584640 Gbit/s und entspricht damit dem des Optical Carrier, OC-192 bzw. dem Synchronous Transport Module, STM-64. Diese Umsetzung wird dann benutzt, wenn Unternehmen

10-Gigabit-Ethernet

Als Übertragungsmedien werden Multimode- und Monomodefasern eingesetzt. Über Multimodefasern können Entfernungen bis zu 300 m überbrückt werden.

Um die entfernungsabhängigen Einschränkungen der 62,5- μm -Multimodefaser zu umgehen, wurden neue hochreine Gradientenfasern entwickelt, deren Bandbreitenlängenprodukt die bekannten Werte von 500 MHz x km um ein Vielfaches überschreiten. Mit den neuen Lichtwellenleitern, New Fiber, können die geforderten 300 m problemlos überbrückt werden. Mit den bisher verwendeten Monomodefasern (1.310 nm) werden Entfernungen bis zu 10 km überbrückt, für Entfernungen von bis zu 40 km gibt es die Standards 10GBase-ER (1.310 nm) und 10GBase-EW (1.550 nm).

10GbE im Rechenzentrum

Neben den mit Lichtwellenleitern arbeitenden 10GbE-Schnittstellen gibt es auch einige, die auf Kupfertechniken basieren: *10GBase-CX4* und *10GBase-T*. 10GBase-CX4 ist eine Technik die mit Twinax-Kabel arbeitet und die Datenrate von 10 Gbit/s über 4 Lanes erreicht, bei einer Reichweite von 15 m. Typische Anwendungen hierfür sind kaskadierte Switches und Serverfarmen. Die andere Kupfervariante 10GBase-T benutzt STP-Kabel der Kategorie 6/7 und kann für Entfernungen bis zu 100 m eingesetzt werden.

10GbE in der Backplane

Mit den K-Varianten erschließt sich 10-Gigabit-Ethernet auch den Backplane-Bereich. Die für *Backplane-Ethernet* entwickelten *10GBase-KR* und *10GBase-KX4* nutzen die Backplane und verbinden über die Backplane-Leitungen Blade-Server in Rechenzentren.

Der Bandbreitenbedarf für die Ein-/Ausgänge von Servern steigt rapide an und verdoppelt sich etwa alle zwei Jahre. Waren in den neunziger Jahren noch Datenraten von mehreren hundert Megabit pro Sekunde vollkommen ausreichend, so wurden bis zum Jahr 2010 Datenraten von

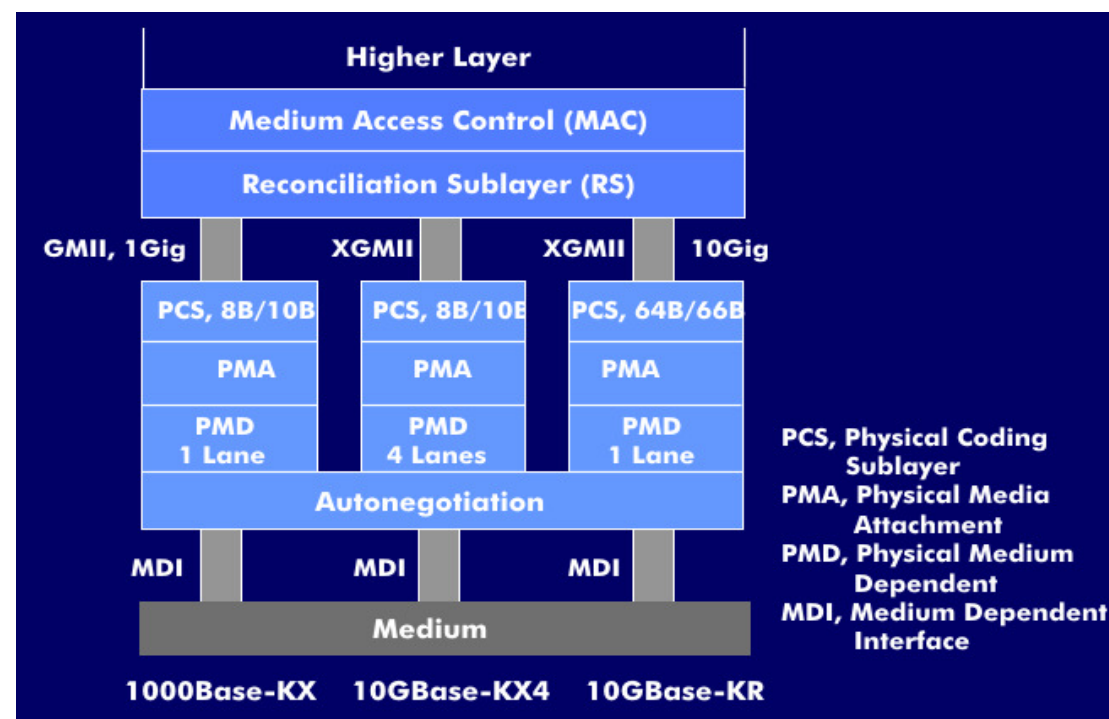
Backplane-Ethernet

BPE, backplane Ethernet

10-Gigabit-Ethernet

10 Gbit/s realisiert und bis 2020 werden bis 100 Gbit/s und darüber prognostiziert. Um diesem rasanten Wachstum gerecht zu werden hat die IEEE-Arbeitsgruppe 802.3ap mit Backplane-Ethernet Verbindungen über die Backplane spezifiziert. Diese Backplane-Verbindungen zeichnen sich durch hohe und höchste Datenraten aus, sie beschränken sich auf die Backplane und damit auf Distanzen von einem Meter.

Die 802.3ap-Lösung stellt eine universelle Alternative zu den proprietären Backplane-Lösungen und bietet Kompatibilität zu Ethernet. Bei den Backplane-Ethernet-Spezifikationen



Schichtenmodell von Backplane-Ethernet

von 802.3ap geht es um die elektrischen Eigenschaften und um die Spezifikationen von Kanal-Modellen. Damit hat der Anwender auch im Rechenzentrum ein durchgängiges Ethernet-Konzept, bis hin zum Backplane der Blade-Server, die er mit Serverblades von verschiedenen Herstellern bestücken kann. Viele Blade-Server benutzen standardisierte

10-Gigabit-Ethernet

Ethernet-Chips für Backplane-Ethernet-Ports, die meisten basierend auf Gigabit-Ethernet und *10-Gigabit-Ethernet*.

Die Arbeitsgruppe IEEE 802.3ap hat drei Schnittstellen für Backplane-Ethernet spezifiziert: 1000Base-KX, *10GBase-KR* und *10GBase-KX4*. Bei diesen Entwicklungen wurden bestimmte Ethernet-Spezifikationen beibehalten. So das Ethernet-Frame-Format für den das Medium Access Control (MAC) sowie die minimale und maximale Framelänge. Außerdem müssen die Spezifikationen vorhandene Schnittstellen unterstützen, sie müssen Entfernungen von einem Meter überbrücken, die automatische Anpassung an die höchstmögliche Datenrate unterstützen, das Autonegotiation, und eine Bitfehlerrate von unter $10^{\text{exp}-12}$ haben.

Das Schichtenmodell von Backplane-Ethernet zeigt die oberen Layer mit dem Reconciliation Sublayer, die Schnittstellen GMII und *XGMII*, sowie die Teilschicht für das Autonegotiation. Neben den von 802.3ap spezifizierten Lösungen gibt es mit 40GBase-KR4 noch eine Lösung auf Basis von 40-Gigabit-Ethernet.

IEEE 802.3ae

Die IEEE-Arbeitsgruppe 802.3ae beschäftigt sich seit 1999 mit der Standardisierung des 10-Gbit/s-Ethernet (*10GbE*) und der Ausarbeitung des *10GbE-Schichtenmodells* und hat folgende Basiselemente für diese HS-Technik festgelegt: Beibehaltung des 802.3- und Ethernet-Frame-Formats und der bestehenden minimalen und maximalen Frame-Länge sowie die Koexistenz mit Power over Ethernet (PoE) nach 802.3af. Die Einhaltung der IEEE 802 Functional Requirements mit Ausnahme der Hamming-Distanz, die Unterstützung von Sternstrukturen mit Punkt-zu-Punkt-Verbindungen (P2P) und lediglich ein Vollduplex-Modus nach IEEE 802.3x. Außerdem wurde die strukturierte Verkabelung nach ISO/IEC 11801 in der neuesten Version einbezogen. Es wurden mehrere physikalische Interfaces definiert: so u.a. über Multimodefaser, Multimodefaser, Twinaxial-Kabel, Twisted Pair und Backplane.

10-Gigabit-Ethernet

Unter der IEEE-Arbeitsgruppe 802.3ae wurden mehrere Schnittstellen-Standards für unterschiedliche Medien verabschiedet. 802.3ae unterscheidet für Multimodefasern und Monomodefasern zwischen Short Reach (*SR*), Long Reach (*LR*) und Extended Reach (*ER*), mit denen Entfernungen zwischen 100 m und 40 km überbrückt werden können. Die kupferbasierten Übertragungsmedien STP-Kabeln, Twinaxial-Kabeln und Backplane-Leitungen eignen sich für kurze Distanzen von 1 Meter bis zu 100 m.

Da sich auch die Arbeitsgruppe 802.3ak mit 10-Gigabit-Ethernet über STP-Kabel befasste, und mit *10GBase-CX4* eine kupferbasierte *10GbE-Schnittstelle* für kurze Entfernungen spezifiziert hatte, wurden 2005 die Arbeitsgruppen 802.3ae und 802.3ak zusammengelegt.

IEEE 802.3an

Die Arbeitsgruppe 802.3an beschäftigt sich mit *10-Gigabit-Ethernet* (10GbE) über Kupferkabel, *10GBase-T*. Die Übertragung erfolgt dabei über vierpaarige symmetrische Leiter mit definierten Eigenschaften bis 500 MHz. Als Codierung hat 802.3an eine *THP*-Codierung (Tomlinson Harashima Precoding) mit Pulsamplitudenmodulation mit 16 Pegeln (PAM-16) spezifiziert. Weitere Vorschläge betreffen die PAM-Modulation mit 12, 10 oder 8 diskreten Pegeln.

Da eine Verkabelung nach Kategorie 6 nicht den Anforderungen in Bezug auf die Bandbreite genügt, werden die Spezifikationen für diese Kategorie von 250 MHz auf 500 MHz erhöht. Die entsprechend erweiterte Kategorie führt die Bezeichnung Cat 6A. Datenkabel der Kategorie 7 haben mit der hohen Bandbreite keine Probleme, da ihre Spezifikationen bis 600 MHz reichen. Allerdings werden auch hier die Spezifikationen auf 1 GHz erhöht. Bei den Datensteckern hat man mit dem GG45-Stecker und dem ARJ45-Stecker zwei hochfrequente Stecker, die kompatibel sind zum RJ45-Stecker.

Festgelegt hat die Arbeitsgruppe die überbrückbare Entfernung, die 100 m beträgt.

10-Gigabit-Ethernet

IEEE 802.3ap

Die Arbeitsgruppe 802.3ap, die 2004 ihre Arbeit aufgenommen hat, arbeitet an den Spezifikationen für die Verwendung von 10-Gigabit-Ethernet als *Backplane-Ethernet*. Es handelt sich dabei um Ethernet für kurze Distanzen von einem Meter, das in Backplanes von Blade-Servern eingesetzt werden kann. Backplane-Ethernet kann die proprietären Backplane-Lösungen ablösen und bietet einen Ansatz, mit dem Blades von verschiedenen Herstellern in einem Rack kombiniert werden können.

Die von der Arbeitsgruppe 802.3ap erarbeiteten Spezifikationen sind im Medienzugangsverfahren (MAC) und im Frame-Format kompatibel zu Ethernet, so dass die Anpassung auf der Bitübertragungsschicht erfolgt. Die minimale und maximale Frame-Länge des 802.3-Frames bleibt erhalten und das Medium Independent Interface (MDI) wird unterstützt. Backplane-Ethernet wird mit Datenraten von 1 Gbit/s und 10 Gbit/s direkt über die Backplane geführt werden und unterstützt mit Autonegotiation die automatische Geschwindigkeitsanpassung an andere Schnittstellen.

Bei der von 802.3ap spezifizierten Verbindung handelt es sich um eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung mit zwei Steckern. Es gibt insgesamt drei Ausführungen mit den Schnittstellen 1000Base-KX, 10GBase-KX4 und 10GBase-KR. 1000Base-KX ist ein serieller Port mit einer Datenrate von 1 Gbit/s und einer Signalisierungsrate von 1,25 GBaud. 10GBase-KX4 basiert auf vier Lanes mit einer Baudrate von jeweils 3,125 GBaud und erreicht eine Datenrate von 10 Gbit/s, und 10GBase-KR ist ein serieller Port mit 10 Gbit/s Datenrate. Diese Verbindung arbeitet mit einem Adernpaar und mit 10,315 GBaud.

IEEE 802.3aq

Die Arbeitsgruppe IEEE 802.3aq beschäftigt sich mit der Übertragung von *10-Gigabit-Ethernet* über Multimodefasern. Für diese Anwendung wurde die Schnittstelle 10GBase-LRM definiert, die mit der existierenden Signalisierung mit 64B/66B-Codierung arbeitet. Als Multimodefasern

10-Gigabit-Ethernet

können 50- μm - und 62,5- μm -Faser mit den bekannten Bandbreitenlängenprodukten eingesetzt werden, mit denen dann Entfernungen von 220 m mit klassischen Gradientenfasern und 300 m mit besserer Faserqualität überbrückt werden können.

IEEE 802.3av

Die Arbeitsgruppe IEEE 802.3av bereitet einen Standard für ein passives optisches Netz (PON) mit einer Datenrate von 10 Gbit/s vor. Der Standard wird eine symmetrische und eine asymmetrische Variante beinhalten. Die symmetrische Übertragung soll sowohl im Upstream als auch im Downstream Datenraten von 10 Gbit/s unterstützen. Die asymmetrische Variante soll 1,25 Gbit/s und später 2,5 Gbit/s im Upstream haben und 10 Gbit/s im Downstream. Beide Varianten werden für dieselben Verlustklassen der Glasfasern spezifiziert, die bereits für GPON und EPON benutzt werden. Das hat den Vorteil dass diese Einrichtungen später auch mit den neuen PON-Systemen verwendet werden können.

Als Wellenlängenbereiche sind die optischen Fenster bei 1.575 nm bis 1.580 nm für den Downstream vorgesehen und das optische Fenster zwischen 1.260 nm bis 1.280 nm für den Upstream.

QSFP, quad small form factor pluggable

Das QSFP-Modul (Quad Small Form Factor Pluggable) ist ein *Transceiver-Modul* für 40-Gigabit-Ethernet und soll vier SFP-Module ersetzen. Das kompakte QSFP-Modul mit Abmessungen von 8,5 mm x 18,3 mm x 52,4 mm, kann für 40-Gigabit-Ethernet, Fibre-Channel und Infiniband eingesetzt werden.

In den diversen Schnittstellenausführungen erfolgt die Datenübertragung über jeweils vier Lanes in beiden Richtungen für das Senden und Empfangen mit einer Datenrate von jeweils 10,3125 GBaud. Bei der optischen Transceivern wie dem 40GBase-LR4 und 40GBase-SR4 werden Ribbon Fiber mit vier parallelen Lichtwellenleitern benutzt. Bei der Schnittstelle

10-Gigabit-Ethernet

48 I/O-Ports mit SFP+-Modulen



44 I/O-Ports mit QSFP-Modulen



Front-Panels mit SFP+- und QSFP-Modulen

40GBase-CR4, einer kupferbasierten 40-Gbit/s-Schnittstelle, erfolgt die Übertragung über Twinaxial-Kabel, alternativ über ein Active Optical Cable (AOC) mit vier Lanes.

SFP+, *small form-factor pluggable plus*

Das SFP+-Modul ist ein *Transceiver-Modul* für *10-Gigabit-Ethernet*. Es entspricht funktional dem *XFP-Modul*, hat allerdings wesentlich geringere Abmessungen von 1,3 cm x 5,7 cm x 0,9 cm, was sich in einer höheren Portdichte auswirkt. Das SFP+-Modul ist hot-swappable und kann während des Betriebs ausgetauscht werden. Je nach implementierter *10GbE-Schnittstelle* unterstützt das SFP+-Modul Anwendungen mit Short Reach (SR) über Multimodefasern, Long Reach (LR) über Monomodefasern und Long Reach Multimodefasern (LRM).

Im Gegensatz zu anderen Transceiver-Modulen hat das SFP+-Modul keine Clock an Data Recovery (CDR), das in ASICs auf der Host-Platine implementiert ist.

Bei der Schnittstelle *10GBase-LRM* ist das Modul mit der Electronic Dispersion Compensation (EDC) ausgestattet.

10-Gigabit-Ethernet

Eingesetzt wird das SFP+Modul in 10-Gigabit-Ethernet (10GbE) in Speichernetzen sowie in Sonet und im SDH-Netz.

Transceiver-Modul

Transceiver-Module sind kleine, kompakte Module, die in Gigabit-Ethernet, in 10GbE, 40GbE und 100GbE als Medienschnittstelle zwischen der Bitübertragungsschicht mit dem Übertragungsmedium und der Sicherungsschicht agieren. Die Transceiver-Module werden in die Switches und Router gesteckt und mit dem Netzwerk verbunden. Je nach Schnittstelle werden sie für kurze Entfernungen mit TP-Kabeln oder Twinaxial-Kabeln betrieben, für den Bereich bis zu 100 m mit Multimodefasern und Active Optical Cable (AOC) und für Entfernungen von vielen Kilometern im Raummultiplex mit Ribbon Fiber oder mit Monomodefasern in CWDM oder mit DWDM.

Um eine möglichst hohe Portdichte zu erreichen, sind Transceiver-Module äußerst kompakt aufgebaut. Neben den klassischen Transceiver-Funktionen, dem Senden, Empfangen und Codieren, unterstützen die Transceiver-Module die Kollisionserkennung und das



SFP+-Modul, Foto: Blade

Autonegotiation, mit dem die Schnittstellen untereinander die höchstmögliche Datenrate aushandeln. Außerdem sind die Module hot-swappable, das bedeutet, dass sie während des laufenden Betriebs ausgetauscht werden können und kompensieren mittels Electronic Dispersion Compensation (EDC) Dispersionsfehler. Die Größe und Form der Transceiver-Module ist unterschiedlich. Für Gigabit-Ethernet

10-Gigabit-Ethernet

gibt es das GBIC-Modul und das SFP-Modul. Für 10-Gigabit-Ethernet sind es Transceiver-Module mit den Formfaktoren nach Xenpak, Xpak (Transponder-Modul) und X2, sowie das *XFP-Modul* und das wesentlich kleinere *SFP+-Modul*. In 40-Gigabit-Ethernet benutzt man X40, *QSFP*, eine Vierer-Kombination und in 100-Gigabit-Ethernet sind es QSFP, CXP und das *CFP-Modul*. Wegen ihrer Kompaktheit können auf einem I/O-Panel mit einer Höheneinheit (HE) 48 Ports mit SFP+-Modulen untergebracht werden, oder 44 Ports von QSFP-Modulen, 4 Ports mit CFP-Modulen oder 32 Ports mit CXP-Modulen.

XAUI, 10 Gigabit
attachment unit interface

Das XAUI (10 Gigabit Attachment Unit Interface) ist eine Schnittstelle zwischen der Medium Access Control (MAC) und dem Physical Layer (PHY) von *10-Gigabit-Ethernet*. Mit der XAUI kann die eingeschränkte physikalische Ausdehnung des *XGMII* (10 Gigabit Medium Independent Interface) auf ca. 50 cm erhöht werden.

XAUI ist eine Multi-Lane-Lösung, die vorwiegend in Backplane-Systemen eingesetzt wird. Die effektive Datenrate von 10 Gbit/s wird über vier Lanes mit einer Baudrate von 3,125 GBaud abgewickelt.

In 40-Gigabit-Ethernet heißt diese Schnittstelle XLAUI (40 Gigabit Attachment Unit Interface) und in 100-Gigabit-Ethernet CAUI (40 Gigabit Attachment Unit Interface).

Die XAUI-Schnittstelle wird auch in Serial RapidIO (SRIO) genutzt.

XFP, 10 gigabit small
*form factor pluggable
module*

XFP-Module sind kleine, steckbare 10-Gigabit-Transceiver, die in Switches und Routern von *10-Gigabit-Ethernet* eingesetzt werden. Es sind hot-swappable *Transceiver-Module*, die während des normalen Betriebs ausgetauscht werden können, Übertragungsraten von 10 Gbit/s haben und typischerweise bei Wellenlängen von 850 nm, 1.310 nm und 1.550 nm arbeiten. Eingesetzt werden sie in 10-Gigabit-Ethernet (10GbE), 40-Gigabit-Ethernet (40GbE), 100-

10-Gigabit-Ethernet



XFP-Modul mit 10GBase-SR-Schnittstelle für Multimodefasern, Foto: D-Link

Gigabit-Ethernet (100GbE), Fibre Channel (FC) sowie in Sonet und im SDH-Netz.

XFP-Module haben Diagnose-Einrichtungen. Ihre Spezifikationen für das elektrische Interface, XFI, sind Teil der XFP MSA, des Multisource Agreement. Als Weiterentwicklung des XFP-Moduls gibt es das kleinere SFP+-Modul, das wesentlich geringere Abmessungen hat und damit eine

höhere Portdichte ermöglicht.

Bei Gigabit-Ethernet heißt das entsprechende Schnittstellenmodul SFP-Modul (Small Form Factor Pluggable) und bei 100-Gigabit-Ethernet CFP-Modul (100 Gigabit Small Form Factor Pluggable).

XGMII, 10 gigabit media independent interface

XGMII (10 Gigabit Media Independent Interface) ist das Interface zwischen dem MAC-Layer und dem Physical Layer bei 10-Gigabit-Ethernet. XGMII verbindet Port untereinander und mit anderen elektronischen Baugruppe im Vollduplex. Das über XGMII übertragene Signal besteht aus 32 Receive- und Transmit-Signalen sowie aus zwei Kontrollsignalen. Mit XGMII, das vorwiegend auf Boardebene eingesetzt wird, kann eine maximale physikalische Länge von nur 7 cm überbrückt werden. Eine Verlängerung erfolgt über das XAUI.

Herausgeber

Klaus Lipinski
Datacom-Buchverlag GmbH
84378 Dietersburg

ISBN: 978-3-89238-212-6

10-Gigabit-Ethernet

E-Book, Copyright 2011

Trotz sorgfältiger Recherche wird für die angegebenen Informationen keine Haftung übernommen.



Dieses Werk ist unter einem Creative Commons Namensnennung - Keine kommerzielle Nutzung - Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenzvertrag lizenziert.

Erlaubt ist die nichtkommerzielle Verbreitung und Vervielfältigung ohne das Werk zu verändern und unter Nennung des Herausgebers. Sie dürfen dieses E-Book auf Ihrer Website einbinden, wenn ein Backlink auf www.itwissen.info gesetzt ist.

Layout & Gestaltung: Sebastian Schreiber
Titel: © Anterovium – Fotolia.com

Produktion: www.media-schmid.de
Weitere Informationen unter www.itwissen.info