

ITWissen

Das große Online-Lexikon
für Informationstechnologie

100-GIGABIT-ETHERNET

KLAUS LIPINSKI (Hrsg.)

Transport

Network

Data Link

Physical

LAN

MAN

LLC or other MAC client

MAC Control (optional)

MAC, Media Access Control

Reconciliation

100GBase-
R

PCS

PFC

PMA

PMD

Media

100GBase-
R

PCS

PFC

PMA

PMD

Media

Inhalt

8B10B-Codierung
40-Gigabit-Ethernet
40GBase-CR4
40GBase-LR4
40GBase-SR4
64B/66B-Codierung
100-Gigabit-Ethernet
100GBase-CR10
100GBase-ER4
100GBase-LR4
100GBase-SR10
802.3ba
CAUI, 100 gigabit attachment
unit interface
CGMII, 100 gigabit media
independent interface

CWDM, coarse wavelength
division multiplex
DWDM, dense wavelength
division multiplexing
HSSG, higher speed
study group
ITU-Grid
Twinaxial-Kabel
XFP, 10 gigabit small form factor
pluggable module
XLAUI, 40 gigabit attachment
unit interface
XLGMII, 40 gigabit media
independent interface

Impressum:

Herausgeber: Klaus Lipinski
100-Gigabit-Ethernet
Copyright 2009
DATACOM-Buchverlag GmbH
84378 Dietersburg
Alle Rechte vorbehalten.

Keine Haftung für die angegebenen
Informationen. Das E-Book ist
urheberrechtlich geschützt und darf nicht
auf fremden Websites ins Internet oder
in Intranets gestellt werden.

Produziert von Media-Schmid
www.media-schmid.de

8B10B-Codierung

8B10B, 8 binary, 10 binary

Bei der 8B10B-Codierung werden 8-Bit-Wörter auf 10-Bit-Wörtern abgebildet. Mit der Konvertierung wird verhindert, dass sich lange Folgen von Nullen oder Einsen bilden, die die Taktgenerierung und Datenregenerierung erschweren.

Da bei einer Umsetzung einer 8-Bit-Folge 256 Bitkombinationen entstehen, bei einer 10-Bit-Folge hingegen 1024 Bitkombinationen, nutzt man für die Abbildung der 8-Bit-Worte nur die Bitkombinationen, die viele Pegelwechsel aufweisen. Und zwar werden nur die Bitkombinationen berücksichtigt, die maximal fünf aufeinander folgende Nullen und fünf aufeinander folgende Einsen enthalten. Dadurch kann aus dem codierten Signal, das hinreichend viele Pegelwechsel aufweist, das für die Synchronisation benötigte Taktsignal abgeleitet werden.

Da bei der Abbildung von 8-Bit-Folgen in 10-Bit-Folgen nur 256 Bitkombinationen für die 8-Bit-Folgen benötigt werden, verbleiben weitere 768 Bitkombinationen. Diese werden für Sonderzeichen und im Fibre Channel für die Verwaltung des Links benutzt.

Die 8B10B-Codierung findet ihre Anwendung z.B. in Fibre-Channel, Gigabit-Ethernet, 10-Gigabit-Ethernet, bei ESCON, in der StarFabric sowie bei den ATM-Übertragungsschnittstellen, und zwar bei der direkten Zellenübertragung.

40-Gigabit-Ethernet

40GbE

Bei den Standardisierungsaktivitäten für *100-Gigabit-Ethernet* (100GbE) hat die Higher Speed Study Group (HSSG) auch die Standardisierung von 40-Gigabit-Ethernet (40GbE) vorangetrieben. Dies unter dem Aspekt, um damit die in optischen Transportnetzen (OTN) benutzte Datenrate von 40 Gbit/s zu unterstützen.

40-Gigabit-Ethernet kann über Glasfasern und auch über *Twinaxial-Kabel* übertragen werden können. Mit Multimodefasern können 100 m überbrückt werden und mit Monomodefasern 10 km. 40-Gigabit-Ethernet ist auch eine HS-Technik für Backplanes und für kurze Entfernungen von bis zu 10 m, die über Twinaxial-Kabel realisiert werden können.

An Schnittstellen wurde die *40GBase-LR4* für Wellenlängenmultiplex mit vier WDM-Pfaden über

40-Gigabit-Ethernet-Schnittstelle	100-Gigabit-Ethernet-Schnittstelle	Medium	Entfernung
40GBase-KR4 4 x 10 Gbit/s		Backplane	1 m
40GBase-CR4 4 x 10 Gbit/s	100GBase-CR10 10 x 10 Gbit/s	C, Copper 4/10 TP-Kabel	10 m
40GBase-SR4 4 x 10 Gbit/s	100GBase-SR10 10 x 10 Gbit/s	S, Short 4/10 Multimode	100 m
40GBase-LR4 4 x 10 Gbit/s	100GBase-LR4 4 x 25/10 x 10 Gbit/s	L, Long 4 Monomode	10 km
	100GBase-ER4 4 x 25 Gbit/s	E, Extra Long 4 Monomode	40 km

Für 40-Gigabit- und 100-Gigabit-Ethernet spezifizierte Schnittstellen

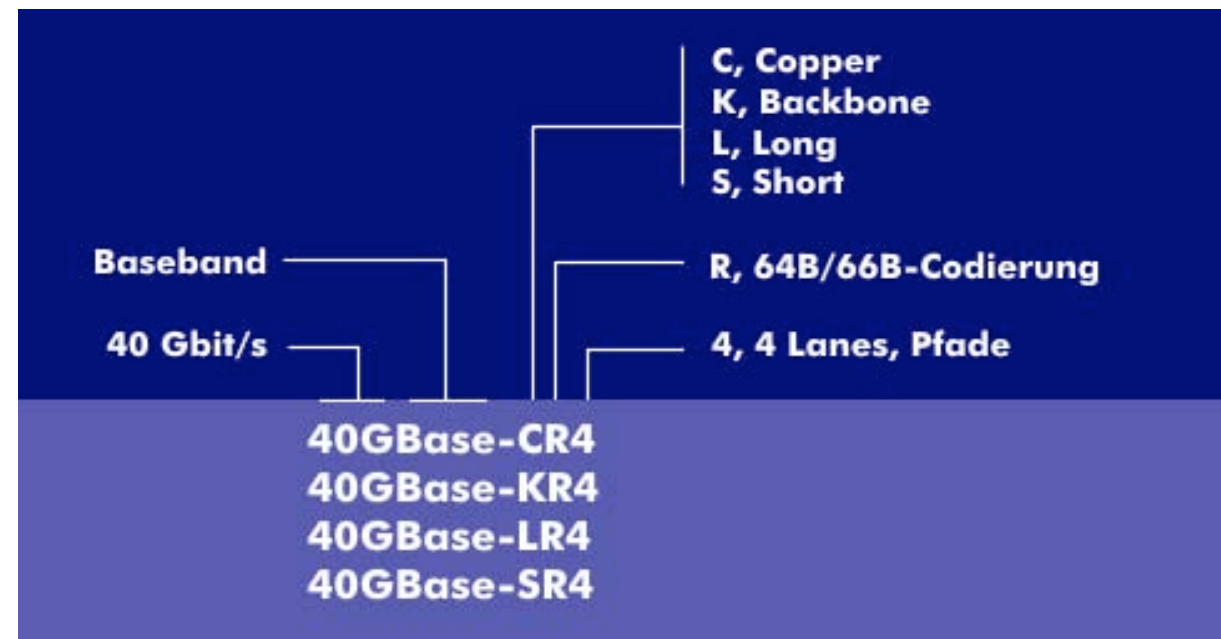
Monomodefaser und Entfernungen bis zu 10 km spezifiziert, die *40GBase-SR4* für vier WDM-Pfaden oder vier Multimodefasern der OM-Klasse 3 für Entfernungen bis 100 m, die *40GBase-CR4* für vier parallele Twinaxial-Kabel und für eine Entfernung von 10 m, und die *10GBase-KR4* für Backplanes und einer Entfernung von 1 m.

40GBase-CR4 *IEEE 802.3 40GBase-CR4*

Im Rahmen der Standardisierung von *100-Gigabit-Ethernet* wurde von der Higher Speed Study Group (HSSG) auch *40-Gigabit-Ethernet* spezifiziert. 40-Gigabit-Ethernet kann über Glasfaser und über Kupferkabel der Kategorie 7 (Cat 7) betrieben werden.

Speziell für den Datentransport über geringe Entfernungen von bis zu 10 m wurde die Schnittstelle *40GBase-CR4* spezifiziert. Der Buchstabe "C" steht dabei für Copper, der Buchstabe "R" für den Schnittstellentyp mit *64B/66B-Codierung* und die Ziffer 4 für vier parallele *Twinaxial-Kabel*. Die Schnittstelle *40GBase-CR4* hat neben den vier Twinaxial-Kabeln noch zwei Koaxialkabel.

40GBase-LR4 *IEEE 802.3 40GBase-LR4*



Unter *40-Gigabit-Ethernet* gibt es mehrere Schnittstellen für Glasfaser, eine davon ist *40GBase-LR4*, mit der Entfernungen von bis zu 10 km überbrückt werden können. Aus der Bezeichnung *40GBase* geht hervor, dass die Schnittstelle eine Datenrate von 40 Gbit/s (40G) unterstützt und in Basisbandtechnik (Base) arbeitet. Aus der Extension *LR4* gehen die spezifischen Charakteristika hervor. Der Buchstabe "L" steht

*Nomenklatur der
40-Gigabit-Schnittstellen*

für Long, das "R" kennzeichnet den Schnittstellentyp mit *64B/66B-Codierung* und die Ziffer 4 sagt aus, dass die Übertragung mittels Wellenlängenmultiplex (WDM) über vier WDM-Pfade einer Monomodefaser geschaltet werden. Bei dieser Übertragung stellt jeder WDM-Pfad eine Datenrate von 25 Gbit/s zur Verfügung.

40GBase-SR4 *IEEE 802.3 40GBase-SR4*

40GBase-SR10 ist eine Schnittstelle für *40-Gigabit-Ethernet*. Es handelt sich um eine Glasfaser-Schnittstelle für Multimodefaser der OM-Klasse 3. Aus der Schnittstellenbezeichnung geht hervor, dass es sich um ein Schnittstelle für kurze Entfernungen (S, Short) handelt.

Das "R" kennzeichnet den Schnittstellentyp mit *64B/66B-Codierung* und die Ziffer 4 sagt aus, dass die Übertragung mit Wellenlängenmultiplex (WDM) über vier WDM-Pfade einer Multimodefaser erfolgt. Als optisches Fenster wird der Wellenlängenbereich bei 850 nm benutzt. Bei dieser Übertragung stellt jeder WDM-Pfad eine Datenrate von 10 Gbit/s zur Verfügung. Die überbrückbare Entfernung liegt bei 100 m.

40GBase-SR10 ist eine Schnittstelle für *40-Gigabit-Ethernet*. Es handelt sich um eine Glasfaser-Schnittstelle für Multimodefaser der OM-Klasse 3. Aus der Schnittstellenbezeichnung geht hervor, dass es sich um ein Schnittstelle für kurze Entfernungen (S, Short) handelt.

Das "R" kennzeichnet den Schnittstellentyp mit *64B/66B-Codierung* und die Ziffer 4 sagt aus, dass die Übertragung mit Wellenlängenmultiplex (WDM) über vier WDM-Pfade einer Multimodefaser erfolgt. Als optisches Fenster wird der Wellenlängenbereich bei 850 nm benutzt. Bei dieser Übertragung stellt jeder WDM-Pfad eine Datenrate von 10 Gbit/s zur Verfügung. Die überbrückbare Entfernung liegt bei 100 m.

64B/66B-Codierung *64B/66B encoding*

Die 64B/66B-Codierung ist ein sehr effizientes Codiervorgang, das in 10-Gigabit-Ethernet, 40-Gigabit-Ethernet und 100-Gigabit-Ethernet eingesetzt wird. Bei diesem Verfahren werden nur zwei zusätzliche Bits für die Übertragung eines 64-Bit-Datenblocks benötigt. Reine Daten (D0 - D7) werden in diesem Verfahren mit »01« codiert, Kontrollbytes (C0 - C7) und ein Gemisch aus Kontroll- und Datenbytes erhalten die Codierung »10«. Unbenutzte Bits werden als »0« übertragen.

100-Gigabit-Ethernet *100GbE*

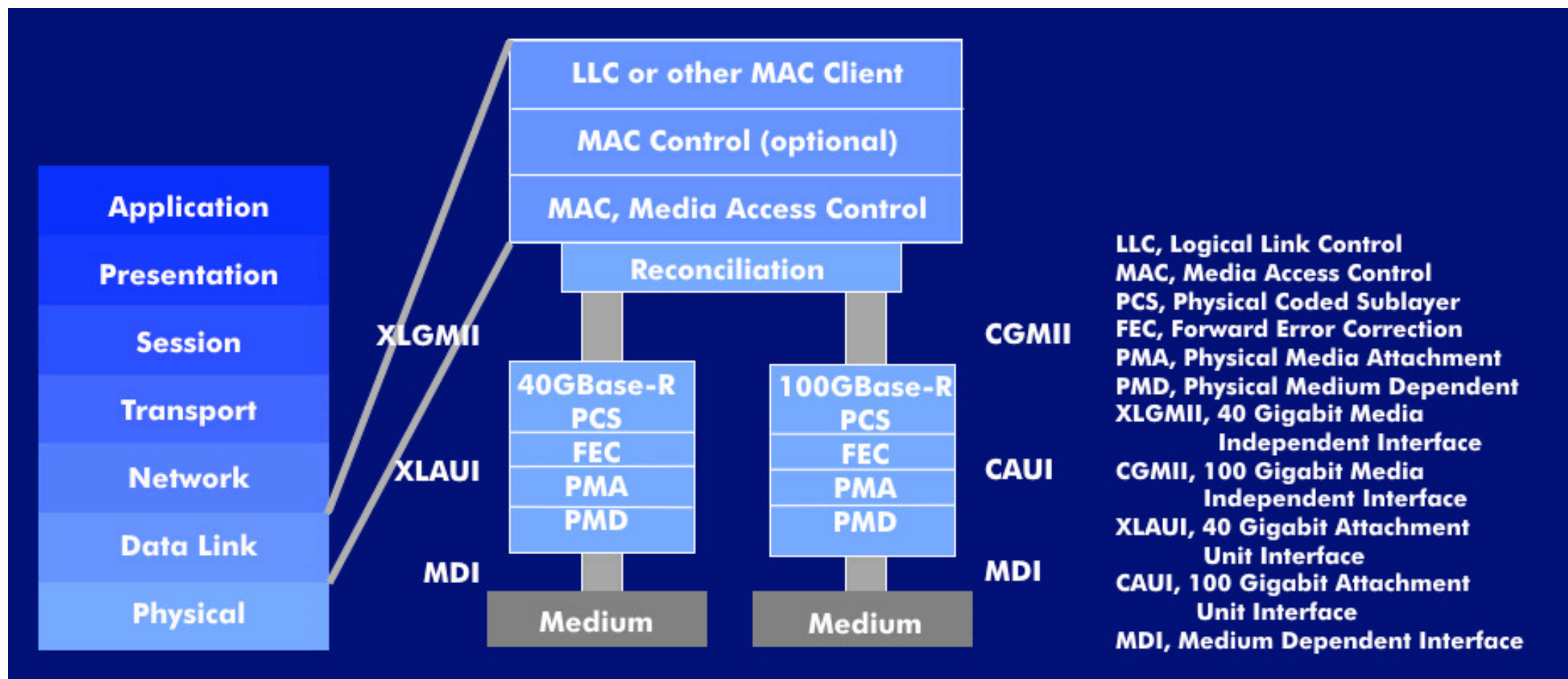
100-Gigabit-Ethernet ist eine Zukunftstechnik für Netzwerk-Betreiber für die Aggregation im Internet-Backbone und für Rechenzentren. Die Higher Speed Study Group (*HSSG*) treibt unter der Projektbezeichnung *802.3ba* diese 100-Gigabit-Technologie voran, wobei neben der Datenrate von 100 Gbit/s auch die in optischen Transportnetzen (OTN) benutzte Datenrate von 40 Gbit/s, als *40-Gigabit-Ethernet* (40GbE), im Standard berücksichtigt wird.

Zum Erreichen höherer Geschwindigkeiten und insbesondere der 100 Gbit/s stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, so die parallele Übertragung von jeweils 25 Gbit/s über vier Lichtwellenleiter oder über verschiedene Wellenlängen. Bei der Realisierung setzt man auf verschiedenste Modulations- und Multiplex-Techniken wie das Räummultiplex (SDM), das Wellenlängenmultiplex (WDM), *CWDM* oder *DWDM*, und das Zeitmultiplex (TDM) und Kombinationen daraus. Als Übertragungsmedien werden neben der Glasfaser auch Kupferkabel, resp. *Twinaxial-Kabel*, eingesetzt.

Bei 100-Gigabit-Ethernet werden bestimmte Ethernet-Strukturen beibehalten. So die die Frame-Formate und die Framelänge mit mindestens 64 Bit und maximal 1.518 Bit. Anders als sonst in Ethernet üblich wird als Codierung nicht die *8B10B-Codierung* benutzt, sondern die *64B/66B-Codierung*, bei der weniger redundante Bits übertragen werden. Diese Codierung, die in der Schnittstellenvarianten mit dem Buchstaben "R" gekennzeichnet ist, wurde bereits in den 10GBase-R-Varianten 10GBase-SR, 10GBase-LR und anderen eingesetzt. Ein weiterer Aspekt aus Ethernet ist der Vollduplex-Betrieb und das Zugangsverfahren. Des Weiteren geht es um verschiedene Algorithmen wie den des Spanning Tree und um Virtual LAN (VLAN), wie es in 802.1q definiert ist. Als Bitfehlerrate sieht 100-Gigabit-Ethernet einen Wert von 1×10^{-12} vor.

Bei der Übertragung über Glasfaser müssen die Fehler behandelt werden, die durch die chromatische Dispersion (CD) und die Polarisationsmoden-Dispersion (PMD) entstehen. Zudem muss der Wirkungsgrad für die Übertragung von 100-Gbit/s-Signale über die vorhandenen DWDM-Systeme verbessert werden.

802.3ba spezifiziert drei LwL-Schnittstellen: Für Monomodefaser die Schnittstellen *100GBase-ER4* und *100GBase-LR4*, die über vier WDM-Pfade einer Monomodefaser jeweils 25 Gbit/s überträgt. Für Multimodefaser mit OM-Klasse 3 gibt es die *100GBase-SR10*, die über zehn WDM-Pfade oder zehn



Schichtenmodell für 40- und 100-Gigabit-Ethernet, nach IEEE 802.3ba

Multimodefasern jeweils 10 Gbit/s überträgt.

Was die Übertragung über Twinaxial-Kabel betrifft, so gibt es für 40-Gigabit-Ethernet die Schnittstelle *40GBase-CR4*, die mit vier parallelen Kupferleitungen mit jeweils 10 Gbit/s arbeitet, und für 100-Gigabit-Ethernet die *100GBase-CR10*, die mit zehn parallelen Leitungen mit jeweils 10 Gbit/s arbeitet. Beide physikalischen Kupfer-Schnittstellen unterstützen Entfernungen bis 10 m.

Die Bezeichnung 100-Gigabit-Ethernet wird auch für optische Netze benutzt, obwohl diese Technik nichts mit Ethernet und IEEE 802.3 zu tun hat. Nachfolgend wird auf die Interpretation eingegangen, bei der es darum geht, die Datenrate in optischen Netzen zu erhöhen um dem rapide wachsenden Datenstrom im Internet gerecht zu werden und den Providern entsprechende Weitverkehrsstrecken zur Verfügung stellen zu können. Da die Multiplexhierarchie in der ITU-Empfehlung G.709 festgelegt ist, wurden entsprechende Technologien für die Realisierung von 100 Gbit/s entwickelt. Zu diesen Technologien gehört die Polarisationsmoden-Dispersion (PMD), die bei höheren Datenraten der optischen Transporteinheiten (OTU) von 2,5 Gbit/s und 10 Gbit/s eingesetzt werden. Bei 40 Gbit/s wird dieses Modulationsverfahren durch Unsymmetrien der Glasfaser beeinträchtigt, weswegen man bei 40-Gbit/s-Datenraten die unempfindlichere RZ-DQPSK-Modulation einsetzt. In Verbindung mit der DWDM-Technik, die ein Wellenlängenmultiplex auf 160 optischen Kanälen zulässt, können die optischen Weitverkehrsstrecken bis zu Datenraten von 6,4 Tbit/s (Terabit) aufgerüstet werden. Wobei Entfernungen von mehreren hundert Kilometern überbrückt werden können.

100GBase-CR10 IEEE 802.3 100GBase-CR10

Die Higher Speed Study Group (HSSG) hat für *100-Gigabit-Ethernet* mehrere Schnittstellen für Glasfaser und Kupferkabel spezifiziert.

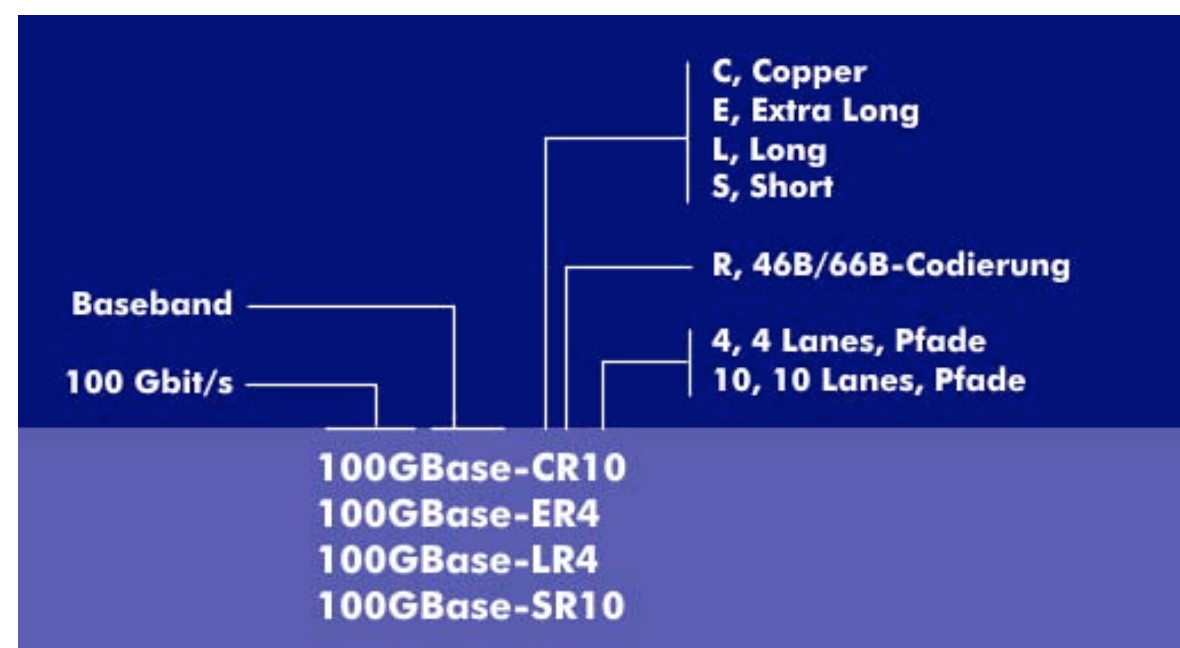
Danach kann 100-Gigabit-Ethernet über die Schnittstelle 100GBase-CR10 über Entfernungen von bis zu 10 m auch über Kupferkabel, resp. *Twinaxial-Kabel*, übertragen werden. Die in der Bezeichnung benutzte Endung CR10 steht für Copper (C), das "R" kennzeichnet den Schnittstellentyp mit *64B/66B-Codierung* und die Ziffer 10 sagt aus, dass zehn parallele Twinaxial-Kabel geschaltet werden. Über jede der zehn Kupferleitungen werden jeweils 10 Gbit/s übertragen. Die einzelnen geschirmten Kabel innerhalb des Twinaxial-Kabels werden als Balanced Shielded Cable bezeichnet.

100GBase-ER4 IEEE 802.3 100GBase-ER4

Unter *100-Gigabit-Ethernet* gibt es mehrere Schnittstellen für Glasfaser, eine davon ist 100GBase-ER4, mit der Entfernungen von bis zu 40 km überbrückt werden können.

In der Extension ER4 bedeutet das "E" Extra Long, das "R" kennzeichnet den Schnittstellentyp mit *64B/66B-Codierung* und die Ziffer 4 sagt aus, dass die Übertragung mittels *DWDM-Technik* über vier DWDM-Pfade oder vier Monomodefasern geschaltet werden. Das Wellenlängenmultiplex erfolgt auf den Wellenlängen 1.295 nm, 1.300 nm, 1.305 nm und 1.310 nm. Das Grid mit 5 nm entspricht dem von *100GBase-LR4*. Bei dieser Übertragung stellt jeder WDM-Pfad eine Datenrate von 25 Gbit/s zur Verfügung.

100GBase-LR4 IEEE 802.3 100GBase-LR4



*Nomenklatur der
100-Gigabit-Schnittstelle*

Unter *100-Gigabit-Ethernet* gibt es mehrere Schnittstellen für Glasfaser, eine davon ist 100GBase-LR4, mit der Entfernungen von bis zu 10 km überbrückt werden können. Aus der Bezeichnung 100GBase geht hervor, dass die Schnittstelle eine Datenrate von 100 Gbit/s (100G) unterstützt und in Basisbandtechnik (Base) arbeitet. Aus der Endungs-Bezeichnung LR4 gehen die spezifischen Charakteristika hervor. Der Buchstabe "L" steht für Long, das

"R" kennzeichnet den Schnittstellentyp mit *64B/66B-Codierung* und die Ziffer 4 sagt aus, dass die Übertragung mittels *DWDM-Technik* über vier *DWDM*-Pfade einer Monomodefaser geschaltet werden. Bei dieser Übertragung stellt jeder DWDM-Pfad eine Datenrate von 25 Gbit/s zur Verfügung. Unter *100-Gigabit-Ethernet* gibt es mehrere Schnittstellen für Glasfaser, eine davon ist 100GBase-LR4, mit der Entfernungen von bis zu 10 km überbrückt werden können.

Aus der Bezeichnung 100GBase geht hervor, dass die Schnittstelle eine Datenrate von 100 Gbit/s (100G) unterstützt und in Basisbandtechnik (Base) arbeitet. Aus der Endungs-Bezeichnung LR4 gehen die

spezifischen Charakteristika hervor. Der Buchstabe "L" steht für Long, das "R" kennzeichnet den Schnittstellentyp mit *64B/66B-Codierung* und die Ziffer 4 sagt aus, dass die Übertragung mittels WDM-Technik über vier *DWDM*-Pfade einer Monomodefaser geschaltet werden. Bei dieser Übertragung stellt jeder DWDM-Pfad eine Datenrate von 25 Gbit/s zur Verfügung.

100GBase-SR10 *IEEE 802.3 100GBase-SR10*

100GBase-SR10 ist eine Schnittstelle für *100-Gigabit-Ethernet*. Es handelt sich um eine Glasfaser-Schnittstelle für Multimodefaser der OM-Klasse 3.

Aus der Schnittstellenbezeichnung geht hervor, dass es sich um ein Schnittstelle für kurze Entfernungen (S, Short) handelt. Das "R" kennzeichnet den Schnittstellentyp mit *64B/66B-Codierung* und die Ziffer 10 sagt aus, dass die Übertragung mit Wellenlängenmultiplex (WDM) über zehn WDM-Pfade einer Multimodefaser erfolgt.

Als optisches Fenster wird der Wellenlängenbereich bei 850 nm benutzt. Bei dieser Übertragung stellt jeder WDM-Pfad eine Datenrate von 10 Gbit/s zur Verfügung. Die überbrückbare Entfernung liegt bei 100 m.

802.3ba *IEEE 802.3ba*

Der kommende Ethernet-Standard für *100-Gigabit-Ethernet* wird von der Higher Speed Study Group (*HSSG*) unter der Projektbezeichnung IEEE 802.3ba geführt. Der für das Jahr 2010 avisierte Standard soll im Gegensatz zu den bisherigen dekadischen Datenraten von 10 Mbit/s, 100 Mbit/s, 1 Gbit/s und 10 Gbit/s zwei verschiedene Datenraten unterstützen: 40 Gbit/s und 100 Gbit/s. Die 40-Gbit/s-Technik wurde aufgenommen um die Übertragungsraten in optischen Netzen zu unterstützen.

Für die 100-Gigabit-Technik gibt es hinreichenden Bedarf von Netzwerk-Betreibern und in Rechenzentren. So könnte die hohe Bandbreite für die Aggregation im Internet-Backbone der nächsten Generation eingesetzt werden sowie in Rechenzentren in Host-Bussen und in der Speicherung.

Als Übertragungsmedien kommen Glasfasern zum Einsatz, wobei mit Multimodefasern bis zu 100 m überbrückt werden sollen und über Monomodefasern Entfernungen zwischen 10 km und 40 km ins Auge gefasst werden. An Schnittstellen wurden die *100GBase-ER4* und die *100GBase-LR4* für vier WDM-Pfade oder vier Monomodefasern und Entfernungen bis zu 40 km resp. 10 km spezifiziert. Für Multimodefasern ist die *100GBase-SR10* für vier WDM-Pfade über Multimodefasern der OM-Klasse 3 vorgesehen, mit der Entfernungen bis 100 m überbrückt werden können.

Neben der Glasfaser soll auch der Einsatz von Kupferkabeln über eine Entfernung von 10 m im Standard 802.3ba verankert werden. Die entsprechende Schnittstelle ist die *100GBase-CR10*, die mit zehn parallel geschalteten *Twinaxial-Kabeln* der Kategorie 7 (Cat 7) arbeitet.

CAUI, 100 gigabit attachment unit interface

Das CAUI (100 Gigabit Attachment Unit Interface) ist eine Schnittstelle zwischen in der Medium Access Control (MAC) und dem Physical Layer (PHY) von *100-Gigabit-Ethernet*. Mit der CAUI kann die eingeschränkte physikalische Ausdehnung der "100 Gigabit Medium Independent Interface", *CGMII*, auf 60 cm verlängert werden. Die CAUI arbeitet je nach Schnittstelle mit vier oder zehn parallelen Lanes und *64B/66B-Codierung*. Bei *100GBase-ER4* und *100GBase-LR4* sind es vier, bei *100GBase-SR10* sind es zehn Lanes.

CGMII, 100 gigabit media independent interface

CGMII ist das medienunabhängige Interface von *100-Gigabit-Ethernet* (100GbE), adäquat zu *XLGMII* für *40-Gigabit-Ethernet* und zu *XGMII* für *10-Gigabit-Ethernet*.

Bei CGMII handelt sich um die Schnittstelle zwischen dem MAC-Layer und dem Physical Coding Sublayer (PCS) von *100-Gigabit-Ethernet*. *XLGMII* verbindet Ports untereinander und mit anderen elektronischen Baugruppe im Vollduplex. Über *XLGMII* werden Receive-, Transmit- und Kontrollsignale übertragen. *XGMII* kann nur geringe Entfernungen im Zentimeterbereich überbrücken und wird daher vorwiegend auf Boardebene für Intra-Chip-Verbindungen eingesetzt. Eine Verlängerung erfolgt über das *CAUI*. Die Spezifikationen von CGMII und *XLGMII* können identisch sein, sie können aber auch unterschiedliche Datenbreiten und Taktfrequenzen aufweisen.

CWDM, coarse wavelength division multiplex

Coarse Wavelength Division Multiplex (CWDM) ist ein Wellenlängenmultiplex für Stadtnetze und Anschlussnetze. Die Übertragung erfolgt in 18 Kanälen mit Wellenlängen zwischen 1.270 nm und 1.610 nm

Wellenlängenbänder	Mittenwellenlänge (nm)
O-Band	1271
	1291
	1311
	1331
	1351
E-Band	1371
	1391
	1411
	1431
	1451
S-Band	1471
	1491
	1511
C-Band	1531
	1551
	1571
L-Band	1591
	1611

mit einem Kanalaraster von 20 nm. Die Kanalbreite selbst beträgt 13 nm, die verbleibenden 7 nm sind als Sicherheitsabstand zum nächsten Kanal und als Toleranz für die Laserdioden.

Die Übertragungsrate liegt bei 2,5 Gbit/s pro Kanal, so dass mit einem Vierkanal-Multiplexer maximale Übertragungsraten von 10 Gbit/s, beispielsweise für 10GbE, möglich sind.

Bei CWDM, das in der ITU-Empfehlung G.694.2 beschrieben ist, werden VCSEL-Laser als schmalbandige Emissionsquellen eingesetzt. Der Signal-Rauschabstand zwischen den einzelnen Kanälen ist mit mindestens 25 dB angegeben.

Der Einsatz von CWDM mit Gradientenfasern sieht den Wellenlängenbereich im unteren optischen Fenster vor. Dabei beträgt der Kanalabstand 25 nm, die vier Wellenlängen liegen ab 780 nm aufwärts. CWDM-Strecken können als Punkt-zu-Punkt-Verbindungen über Entfernungen bis 50 km realisiert werden. Der Übergang von der CWDM-Technik zur *DWDM-Technik* kann mittels Hybrid-CWDM/DWDM erfolgen.

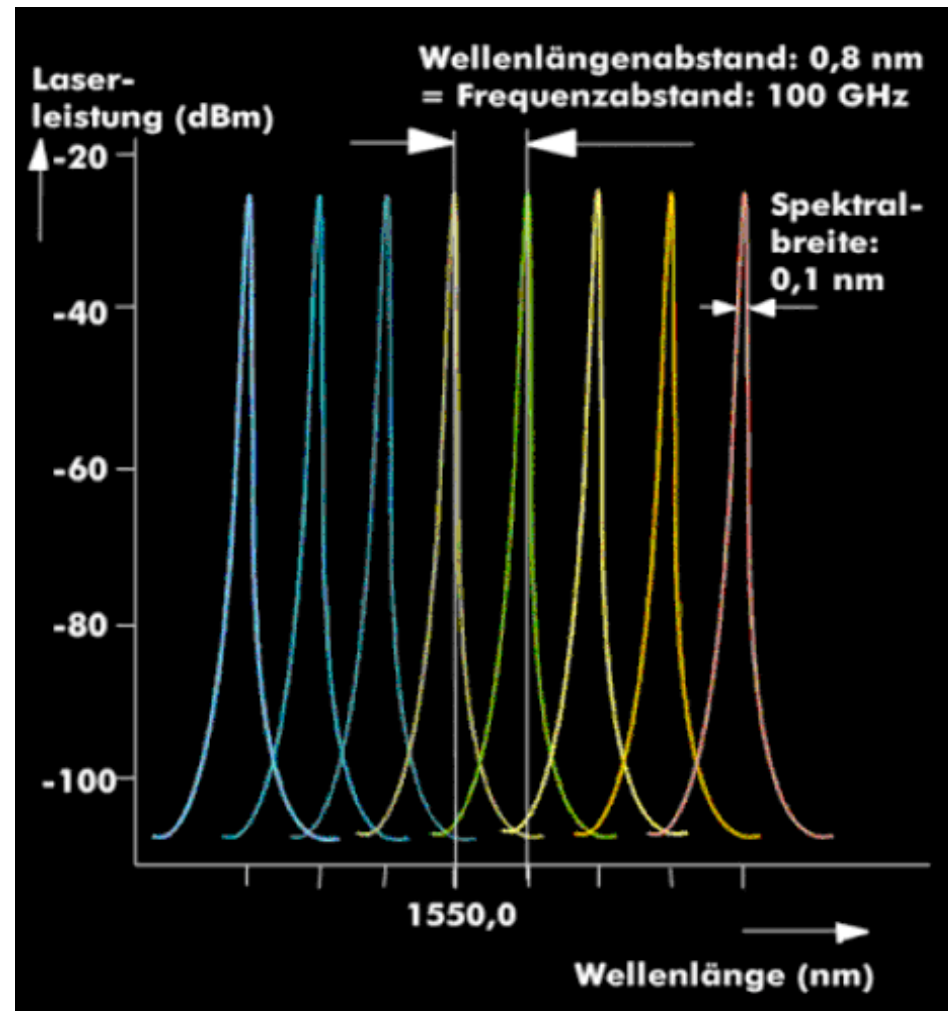
Wellenlängenraster von CWDM nach der ITU-Empfehlung G.694.2

DWDM, dense wavelength division multiplexing

DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) ist ein optisches Wellenlängenmultiplex mit der enormen Leistungsfähigkeit von mehreren Tbit/s, das im ITU-Standard G.604.1 standardisiert ist.

Bei der DWDM-Technik wird der Wellenlängenbereich zwischen 1.260 nm und 1.675 nm für die Übertragung im Weitverkehrsbereich benutzt, der in drei Wellenlängenbänder, dem S-Band, C-Band und L-Band unterteilt ist. Als Grundwellenlänge wird die Wellenlänge des optischen Fensters bei 1.550 nm verwendet, auf die bis zu 160 unterschiedliche Wellenlängen symmetrisch aufmoduliert werden. Diese werden dann über eine Glasfaser übertragen und empfangsseitig durch optische Filter wieder voneinander getrennt.

Die Kanalabstände betragen 0,8 nm. Der 0,8-nm-Abstand entspricht einem 100-GHz-Spacing zwischen zwei Kanälen und wird als *ITU-Grid* bezeichnet. Weitere standardisierte Kanalabstände betragen 50 GHz, 25 GHz



Wellenlängenraster
bei DWDM

und 12,5 GHz, was Wellenlängenabständen von 0,4 nm, 0,2 nm oder 0,1 nm entspricht. Marktgängig sind derzeit Systeme mit 16 bis 64 Kanälen. Für die Reichweite hat die ITU Entfernungen optische SDH-Schnittstellen von 80 km, 120 km und 160 km spezifiziert, bekannt als Long Haul, Very Long Haul (VLH) und Ultra Long Haul (ULH).

Die Voraussetzungen für die DWDM-Technik wurden durch die moderne Halbleitertechnologie geschaffen, die DFB-Laser mit einer geringen spektralen Bandbreite zur Verfügung stellt, damit mehrere Übertragungskanäle in einem optischen Fenster realisiert werden können. Darüber hinaus ermöglicht die moderne Kopplertechnik deutlich geringere Kanalabstände, weil sie steile Filterkurven und hohe Sperrdämpfungen aufweist. Auch bei den Faserverstärkern (OFA und EDFA) wurden wesentliche entwicklungstechnische Fortschritte erzielt.

In der praktischen Anwendung kann die DWDM-Technik unidirektional oder bidirektional arbeiten, also nur in einer Richtung oder auch in beiden

Richtungen. Es können bis zu vierzig OC-48 mit 2,488 Gbit/s gleichzeitig über eine Glasfaser übertragen, was einer Übertragungsgeschwindigkeit von 100 Gbit/s entspricht. Dabei kann die DWDM-Technik unidirektional oder bidirektional arbeiten, also nur in einer Richtung oder auch in beiden Richtungen. Im Rahmen der 10-Gigabit-Ethernet-Technologie rücken Übertragungswerte von 1 Tbit/s in den Bereich des Möglichen, wenn man davon ausgeht, dass man 80 Kanäle mit jeweils 10 Gbit/s überträgt.

HSSG, higher speed study group

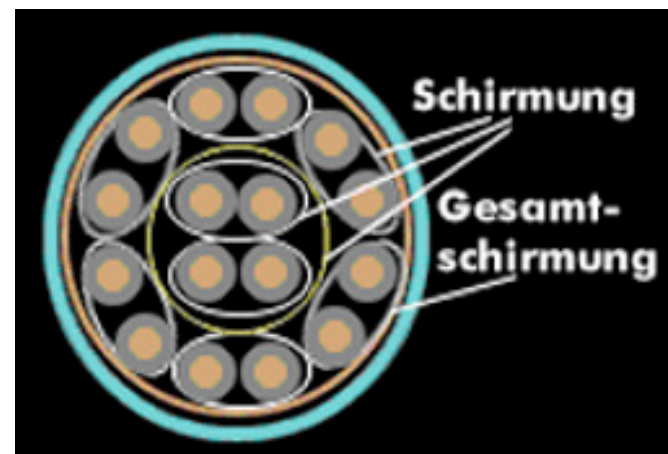
Die Higher Speed Study Group (HSSG) ist eine Arbeitsgruppe von IEEE 802.3. In ihr konzentrieren sich die Hochgeschwindigkeitsaktivitäten von Ethernet: 10-Gigabit-Ethernet und *100-Gigabit-Ethernet*. Da die Standardisierung von 10-Gigabit-Ethernet durch IEEE 802.3ae abgeschlossen ist, trifft die HSSG-Gruppe die Vorbereitungen für die nächste Frequenzdekade mit *40-Gigabit-Ethernet* (40GbE) und 100-Gigabit-Ethernet (100GbE). Diese Aktivitäten werden unter der Projektbezeichnung *802.3ba* durchgeführt. Der Bedarf für entsprechende Datenraten liegt bei den Rechenzentren und dem Campusbereich. In den Rechenzentren wird die 100-Gigabit-Technologie im Kernbereich und im Aggregationsbereich Einzug halten. Wohingegen die Zugangstechnik der Rechenzentren mit 10-Gigabit-Ethernet auskommen wird. Die technischen Arbeiten der HSSG-Gruppe sind durch bestimmte Vorgaben gekennzeichnet. Dazu gehören der Duplex-Betrieb, die Beibehaltung des Ethernet-Frames in Bezug auf die minimale und maximale Frame-

Länge, eine angemessene Unterstützung von optischen Transportnetzen (OTN) mit der MAC-Datenrate von 40 Gbit/s und 100 Gbit/s sowie die vorgegebenen Entfernungen für Multimodefasern, Monomodefasern und Kupferkabel.

<http://www.ieee802.org/3/hssg/>

ITU-Grid Die ITU-T hat in den Empfehlungen G.692 und G.694 mit dem ITU-Grid die Wellenlängen- und Kanalabstände für Wellenlängenmultiplex (WDM), CWDM-Systeme und DWDM-Technik definiert. Je nach Wellenlängenmultiplex-Verfahren unterscheiden sich die Wellenlängenabstände und die damit in Zusammenhang stehenden Sicherheitsabstände zwischen zwei Wellenlängen. Im ITU-T-Standard G.694 geht es um *DWDM* und *CWDM*. In G.694.1 wird das ITU-Grid für DWDM spezifiziert. Danach ist bei DWDM zwischen zwei Wellenlängen ein Sicherheitsabstand von 0,8 nm. Es gibt allerdings Entwicklungen, die mit dem halben oder sogar mit einem Viertel des Wellenlängenabstandes, also mit 0,4 nm oder sogar mit 0,2 nm arbeiten. Der 0,8-nm-Abstand entspricht einem 100-GHz-Spacing. In ITU-T G.694.2 aus dem Jahr 2002 wird CWDM mit einem Wellenlängenabstand von 20 nm standardisiert. Die Wellenlängenbereiche sind in insgesamt fünf Wellenlängenbänder eingeteilt, in denen insgesamt 18 Wellenlänge für die optische Übertragung zur Verfügung stehen. Dies sind das O-Band mit fünf Wellenlängen zwischen 1.271 nm und 1.351 nm, das E-Band mit Wellenlängen zwischen 1.371 nm und 1.451 nm, das S-Band mit drei Wellenlängen, das C-Band mit zwei und das L-Band wiederum mit drei Wellenlängen. Der gesamte Wellenlängenbereich reicht bis 1.611 nm.

Twinaxial-Kabel *twinaxial cable*



8-paariges IB4X-Kabel

In HS-Netzen wie Gigabit-Ethernet (GbE), 10-Gigabit-Ethernet, 40-Gigabit-Ethernet, 100-Gigabit-Ethernet, InfiniBand und Fibre Channel wird die Bezeichnung Twinax-Kabel für eine Kabelkonstruktion verwendet, bei der mehrere symmetrische Adernpaare einzeln geschirmt und mit einer Gesamtschirmung versehen sind. Bei den einzeln geschirmten Kabeln handelt es sich um sogenannte Balanced Shielded Cable. Im Falle von 10GbE, 40GbE und 100GbE um das IB4X-Kabel für die 10GbE-Schnittstelle CX4, ein 8-paariges Twinax-Kabel.

Das Twinaxial-Kabel hat eine Leitungsimpedanz von 150 Ohm, bei einer Übertragungsfrequenz von 625 MHz darf die Dämpfung

maximal 8,8 dB betragen und die maximale Abweichung zwischen den Transmit-Signalen 150 ps. Die Umlaufverzögerung darf 253 ns, das bei 1 GHz 253 Bitzeiten entspricht, nicht überschreiten.

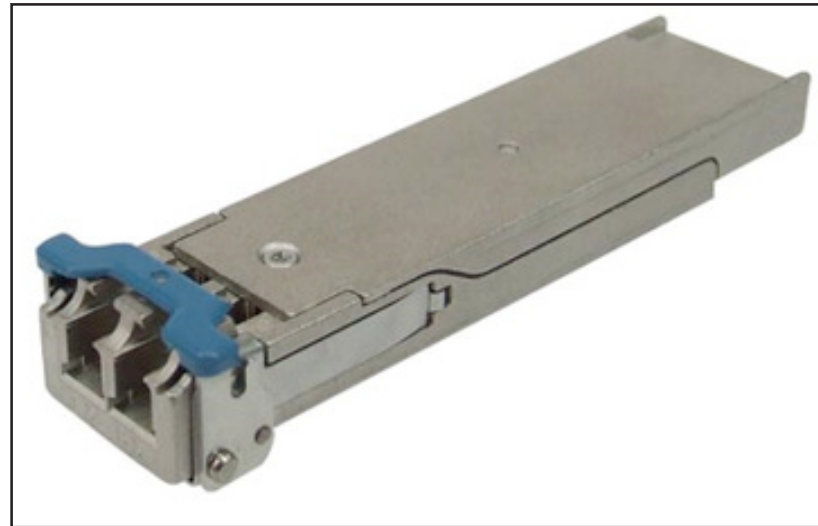
XFP, 10 gigabit small form factor *pluggable module*

XFP-Module sind kleine, einsteckbare 10-Gigabit-Transceiver. Es sind hot-swappable optische Transceiver, 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-Gigabit-Ethernet (100GbE), Fibre Channel (FC) sowie in Sonet und im SDH-Netz.

XFP-Modul,

Foto: telephonesonline.com

XLAUI, 40 gigabit attachment unit interface



XFP-Module haben Diagnose-Einrichtungen. Ihre Spezifikationen für das elektrische Interface, XFI, sind Teil der XFP MSA, des Multisource Agreement.

Das XLAUI (40 Gigabit Attachment Unit Interface) ist eine Schnittstelle zwischen in der Medium Access Control (MAC) und dem Physical Layer (PHY) von 40-Gigabit-Ethernet. Mit der XLAUI kann die eingeschränkte physikalische Ausdehnung der "40 Gigabit Medium Independent Interface", *XLGMII*, auf 60 cm verlängert werden. Die XLAUI arbeitet mit vier parallelen Lanes und *64B/66B-Codierung*.

XLGMII, 40 gigabit media independent interface

XLGMII ist das medienunabhängige Interface von 40-Gigabit-Ethernet, adäquat zu *CGMII* für 100-Gigabit-Ethernet und zu *XGMII* für 10-Gigabit-Ethernet.

Bei XLGMII handelt sich um die Schnittstelle zwischen dem MAC-Layer und dem Physical Coding Sublayer (PCS) von 40-Gigabit-Ethernet. XLGMII verbindet Ports untereinander und mit anderen elektronischen Baugruppe im Vollduplex. Über XLGMII werden Receive-, Transmit- und Kontrollsignale übertragen. XGMII kann nur geringe Entfernungen im Zentimeterbereich überbrücken und wird daher vorwiegend auf Boardebene für Intra-Chip-Verbindungen eingesetzt. Eine Verlängerung erfolgt über das *XLAUI*. Die Spezifikationen von XLGMII und *CMGII* können identisch sein, sie können aber auch unterschiedliche Datenbreiten und Taktfrequenzen aufweisen.