

Michael Reisner (Hrsg.)

Professional  
Series

**NETWORK**  
DIE TECHNISCHE ZEITUNG FÜR DAS UNTERNEHMEN  
**COMPUTING**

# Ethernet

Das Grundlagenbuch

**Franzis'**

Michael Reisner (Hrsg.)

Professional  
Series

# Ethernet

## Aus dem Inhalt

- Einführung in Datennetze
- IEEE-Standard
- Ethernet vs. IEEE 802.3
- 10 Base 5 Standard (Yellow Cable)
- 10 Base 2 Standard (Cheapernet)
- 10 Base T Standard (Twisted Pair)
- 10 Base Fx Standard (Glasfaser)
- Fast Ethernet  
(100 Base Tx, 100 Base Fx)
- Gigabit-Ethernet
- Gigabit-Ethernet über Glasfaser  
(1000 BaseFX)
- Gigabit-Ethernet über Twinax-Kabel  
(1000 BaseCX)
- 10 Gigabit-Ethernet
- Zusatzmechanismen:  
Link Aggregation, 802.1p und  
802.1Q, Spanning Tree Protokoll
- Migration vom Token Ring auf  
Ethernet
- Ausblick auf 100 GBit/s Ethernet

Das Ethernet gehört inzwischen zu den weltweit am häufigsten installierten lokalen Netzen. Inzwischen hat es auch die Nische der reinen Rechnervernetzung verlassen und ist mit Geschwindigkeiten von 10 MBit/s, 100 MBit/s, 1 GBit/s und 10 GBit/s schneller als alle seine Konkurrenten.

Die Ethernet-Technologie besticht durch ihre einfache Installation, Flexibilität, Vielseitigkeit und ihre benutzerfreundliche Handhabung. Das vielfältige Angebot an Ethernet-Komponenten reduziert nicht nur den Beschaffungspreis, sondern führt durch die offene Systemarchitektur auch zu einer Betriebskostenreduzierung. Die großen Konkurrenten wie beispielsweise Token Ring und FDDI wurden durch die Dominanz des Ethernets inzwischen aus dem Markt gedrängt. Die Netzbetreiber haben erkannt, dass nur ein durchgängiges Übertragungssystem mit vereinheitlichten Komponenten die Komplexität reduziert und zur Vereinfachung der Abläufe und zum reibungslosen Betrieb beiträgt.

Das Ethernet-Praxisbuch vermittelt sowohl die Grundlagen als auch Praxiswissen und veranschaulicht das Thema durch konkrete Beispiele. Dem Profi dient dieses Buch als detailliertes Nachschlagewerk für die Planung und Realisierung der Netzwerke.



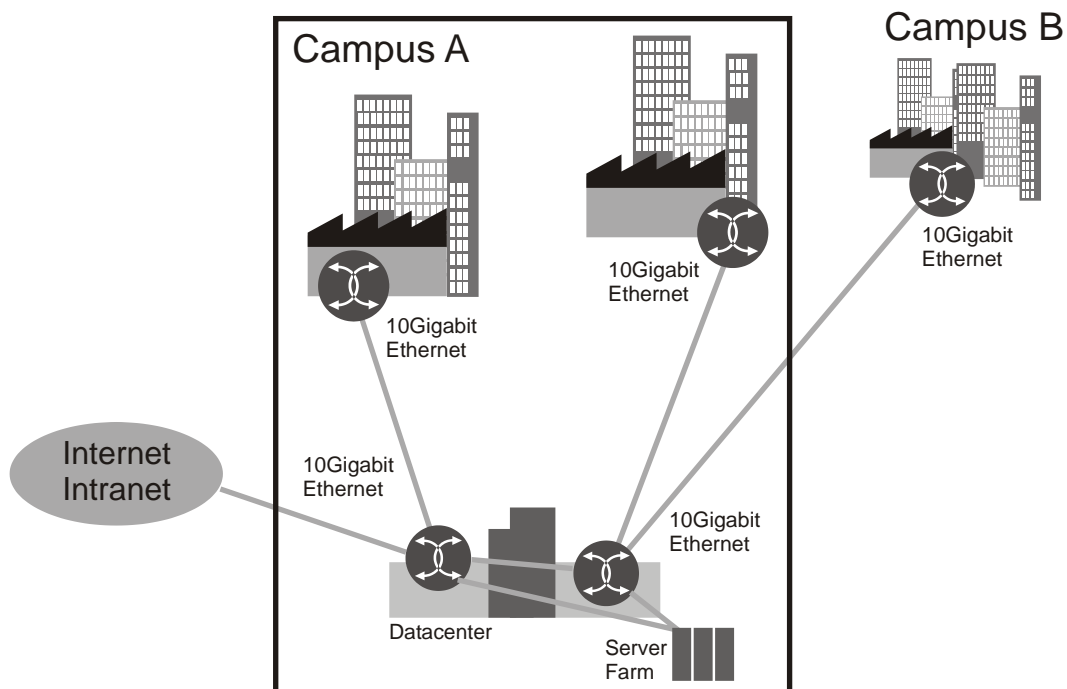
Besuchen Sie unsere Website: [www.franzis.de](http://www.franzis.de)



## 6 10 Gigabit Ethernet

von Martin Heine

Seit der Entwicklung von Multimediaanwendungen, schnellere Rechnerarchitekturen und die Einführung von Voice-Over-IP- und Streaming Media-Anwendungen haben sich die Anforderungen an Datentransfervolumen und Verfügbarkeit in Netzwerken drastisch erhöht. Gleichzeitig wachsen die LANs über die Grenzen der Unternehmen immer weiter hinaus und entwickeln sich zu großflächig verteilten Netzen sodass immer neuere, universellere und schnellere Standards unabdinglich geworden sind. Vor allem Engpässe im Backbone, Campus und MAN, bisherige Domänen des Qualitätskünstlers ATM, könnten nun mit dem 10 Gigabit Ethernet Standard zurückgedrängt werden. Der große Vorteil des 10-Gigabit Ethernets gegenüber anderer Standards dabei ist, dass sich auch solche sehr ausgedehnten Netzwerk Topologien auf einer bewährten IP und Ethernet basierenden Topologie realisieren lassen. Damit kann die Protokollumsetzung auf der Übertragungsschicht entfallen, was eine nicht unerhebliche Vereinfachung im Aufbau von überregionalen Netzen bedeutet.



**Bild 6.1:** Beispiel einer erweiterten LAN-Netzwerkumgebung mit 10 Gigabit Ethernet

Mit der 10 GBit/s schnellen Ethernet-Variante lassen sich zum Beispiel die Inhalte einer 10 Gigabyte großen Festplatte in etwa 10 Sekunden übertragen. Es lassen sich auch gleichzeitig 156250 Telefongespräche mit jeweils 64 Kilobit pro Sekunde führen. Damit kann sich der Siegeszug des günstigen Ethernets auch in diesen Bereichen fortsetzen. Zum ersten Mal arbeiten Daten- und Carriergemeinde Hand in Hand und schnellste Frame-Variante 10-GBit/s-Ethernet wird sowohl im LAN- als auch in SONET-Infrastrukturen unterstützt.

Ausgehend von den Gründungsmitgliedern 3Com, Cisco, Extreme Networks, Intel, Nortel, Sun und World Wide Packets organisieren sich dort mittlerweile etwa 100 Firmen aus allen Bereichen von der Lasertechnik bis zum und arbeiten seit März 1999 im Rahmen der IEEE 802.3 Higher Speed Study Group (HSSG) an den Spezifikationen des 10 Gigabit-Ethernets. Mitte Juli 1999 hat sich die HSSG-Gruppe erstmals über die Grundlagen beraten. Die Highspeed Study Group definierte für das 10 GBit/s Ethernet folgende Eckpunkte:

- Kompatibilität mit dem IEEE Standard 802.3 und den CSMA/CD MAC-Layer Spezifikationen
- Unterstützung des voll-duplex Übertragungsmodus. Die klassische 802.3 halbduplex Übertragung muss nicht unterstützt werden
- Konformität mit der 802.1 Architektur, dem Management und den Interworking-Funktionen
- Rückwärtskompatibilität zu den bisherigen 802.3 Standards. Somit können die weltweit 600 Millionen Ethernet-Komponenten problemlos integriert werden
- Integration von LAN- und WAN-Funktionen. Die Unterstützung von unterschiedliche PHY-Funktionen sorgt für die Erweiterung und Anpassung des bisherigen LAN-Standards auf die Anforderungen der WANs
- Die bisher installierten Glasfaserkabel (gemäß ISO/ IEC 11801) müssen weiterhin unterstützt werden
- Die zehnfache Geschwindigkeitszunahme des Ethernets soll die Kosten des neuen Standards nur um den Faktor 3 gegenüber 1000BaseX Komponenten erhöhen

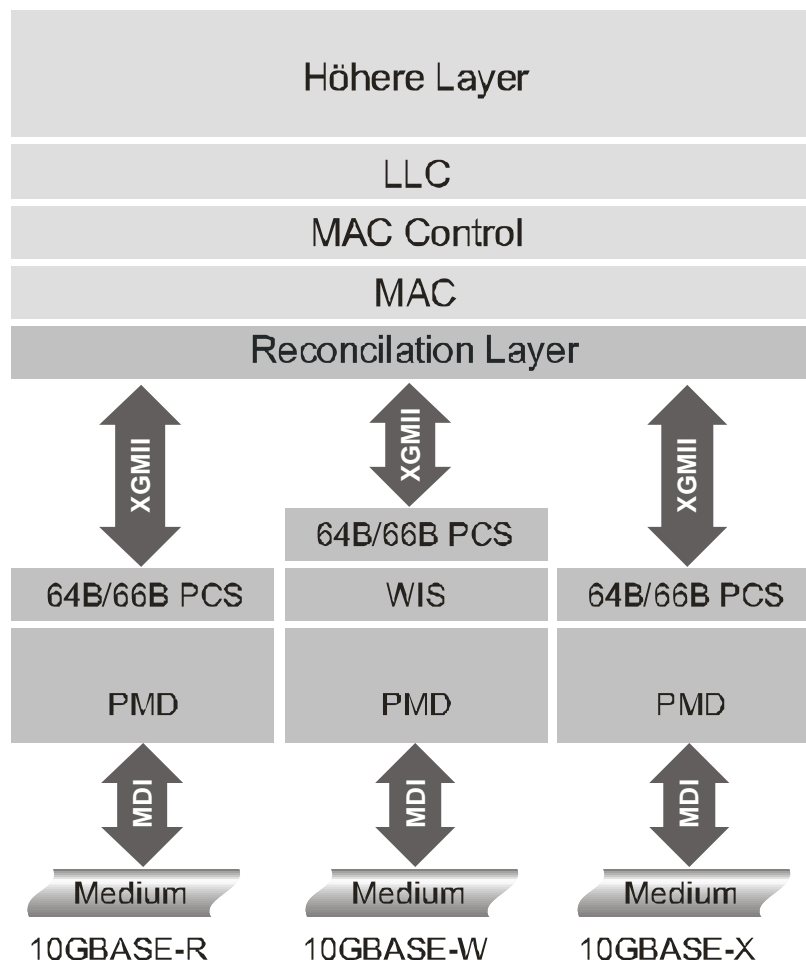
Am Rande einer IEEE-Tagung wurde von den führenden Herstellern im Bereich des Ethernets und des Switchings daraufhin die 10 Gigabit Ethernet Allianz gegründet.

Die Gruppe IEEE 802.3ae erhielt beim Meeting in Albuquerque vom »New Standards Committee« (Nescom) den Status einer »Task Force«. Nescom, das für neue Standards verantwortlich ist, untermauerte auf diese Weise, dass ein Standard für 10-Gigabit-Ethernet erstellt werden soll.

## 6.1 10 Gigabit Ethernet-Standard

Vom Gigabit Ethernet zum 10 Gigabit Ethernet setzt sich die Entwicklung des Ethernets in Punkto Geschwindigkeit und Entfernung konsequent fort. Allerdings arbeitet das 10 Gigabit Ethernet nur im Vollduplex und mit Glasfaser Technologie und benötigt somit keine CSMA/CD Protokolle (Carrier-Sensing Multiple-Access with Collision Detection) wie im langsameren Halb-Duplex Ethernet. In allen anderen Aspekten bleibt das 10 GBit Ethernet jedoch dem typischen Ethernet Modell treu. Der 10 Gigabit Ethernet-Standard umfaßt nur die Schichten 1 und 2a des ISO/OSI-Referenzmodells und baut somit unterhalb des Media Access Control Protokolls (MAC)- auf folgenden Unterschichten auf:

- Reconciliation SubLayer (RS)
- 10 Gigabit Media Independent Interface (XGMII) bzw. XAUI
- Physical Coding Sublayer (PCS)
- Physical Media Dependend (PMD)



**Bild 6.2: 10 Gigabit Ethernet Layer**

Die 802.3ae Spezifikation (IEEE Draft P802.3ae/D3.4, November 16 2001) definiert nun zwei Zugänge zur physikalischen Schicht (PHY): Die LAN PHY und hinzukommend die WAN PHY mit dem WIS (WAN Interface Sublayer) als erweiterte WAN Funktionalität zum LAN PHY.

## 6.2 Reconciliation Layer

Den Zugang zur physikalischen Schicht (PHY) bilden beim 10 Gigabit Ethernet-Standard der Reconciliation Layer und die 10 Gigabit XGMII Schnittstelle, das Medien-unabhängige parallele Interface zwischen dem MAC Layer und der Physik (XGMII Media Independent Interface). Dabei übernimmt der Reconciliation Layer die logische Schnittstelle zwischen der MAC-Schicht und dem 10 Gigabit Media Independent Interface. Die Aufgabe des Reconciliation Layer ist die MAC/Physical Line Signaling Primitive in die XGMII-Signale umzuwandeln.

## 6.3 10 Gigabit Media Independent Interface (XGMII)

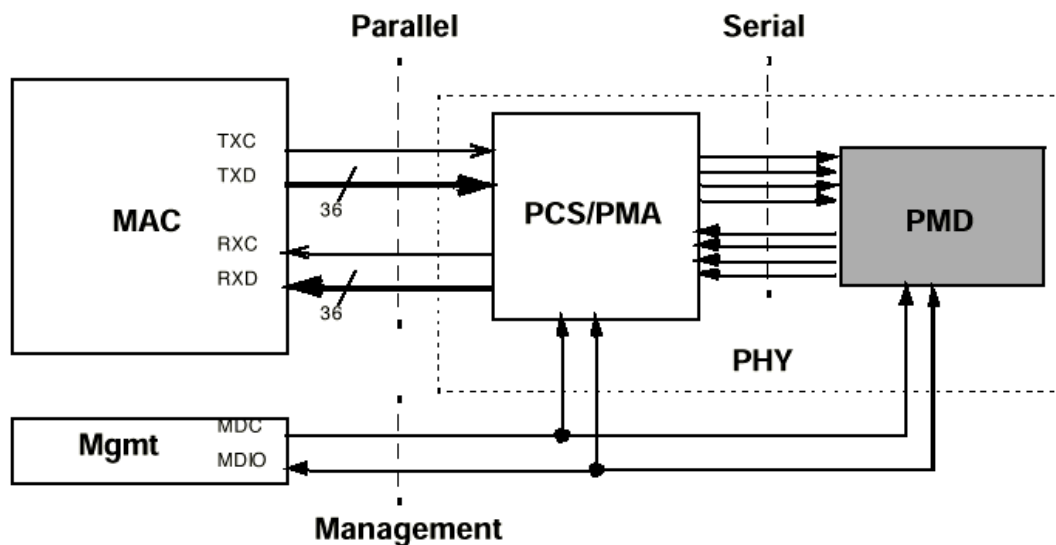
Beim Gigabit Ethernet Standard ist das Media Independent Interface (XGMII) die Schnittstelle zum physikalischem Medium und ist für unterschiedliche physikalische Medien einheitlich ausgeprägt. (Im Gegensatz zum Medium Dependent Interface MDI des Ethernets). Die Funktion des 10 Gigabit XGMII ist die Bereitstellung der notwendigen 74 Signale über ein Interface (jeweils 32 Bit breite Sende- und Empfangskanäle), sowie das Managementinterface zum PHY zur Überwachung, Kontrolle und zur Konfiguration der unteren Schichten. Zur Erweiterung der XGMII-Schnittstelle ist das Chip Interface XAUI implementiert.

### 6.3.1 Chip Interface XAUI

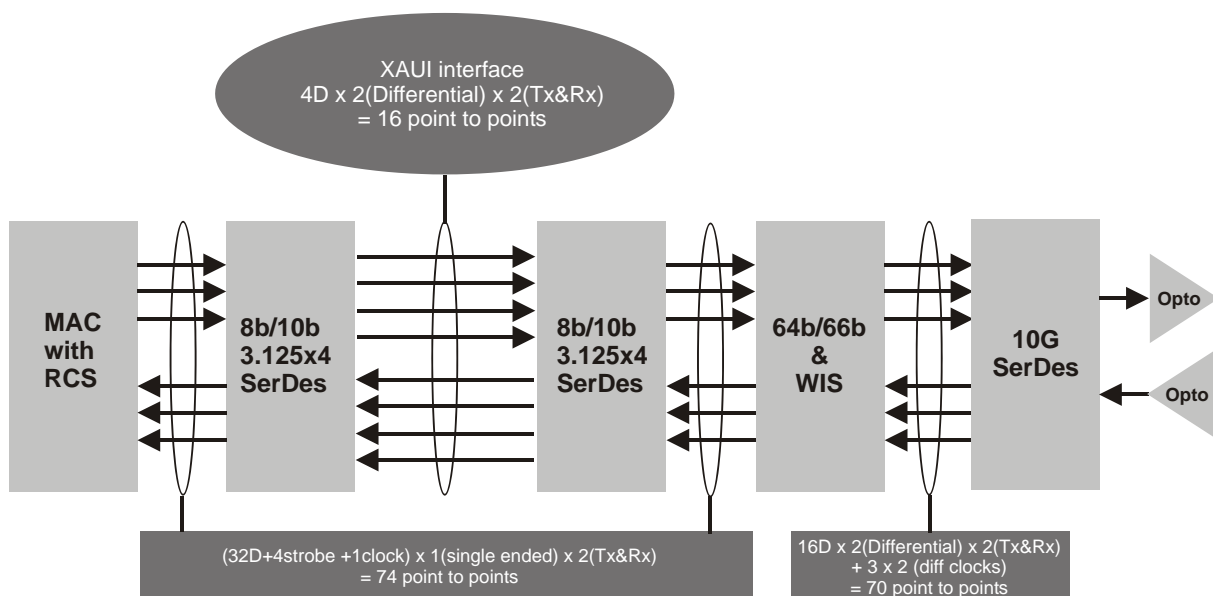
XAUI (Gesprochen Zowie) ist geerbt vom Ethernet Attachment Unit Interface AUI und hat in der Bezeichnung lediglich wieder das X vorne draus, welches die Zahl 10 in römischer Schreibweise für 10 Gigabit repräsentiert. Wie in anderen Ethernet Schnittstellen zur physikalischen Ebene, kann es verwendet werden, um das XGMII in Chip auf Chip Applikationen zu erweitern oder sogar zu ersetzen.

Das XAUI Interface ist ein serielles Interface mit wenigen Pins das einen eigenes Clock Signal hat, und wurde direkt vom Gigabit Ethernet abgeleitet. Die Geschwindigkeit des XAUI ist das 2,5 fache dessen vom AUI des Gigabit Ethernets und erreicht damit unter Verwendung von vier seriellen Leitungen das zehnfache an Geschwindigkeit, was vom 10 Gigabit Ethernet verlangt wird. Es unterstützt die selbe robuste 8B/10B Übertragungskodierung wie die beim AUI des Gigabit Ethernets und erreicht damit eine hohen Grad an Signal Integrität auf den Kupfer Leiterbahnen zwischen den Chips. Zusätzlich wurde bei der XAUI Schnittstelle eine extrem gute elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) wegen des selbst-getakteten Clocks erreicht und die Kompensation gegen Leitungs-Übersprechen bei Multi-Bit Bussen erlaubt eine größere Leiterbahnlänge zwischen den Bausteinen. Auch ist ein Chip Design mit kostengünstiger

kommerzieller CMOS Technik möglich und der damit verbundene geringe Stromverbrauch ebenfalls von Vorteil.



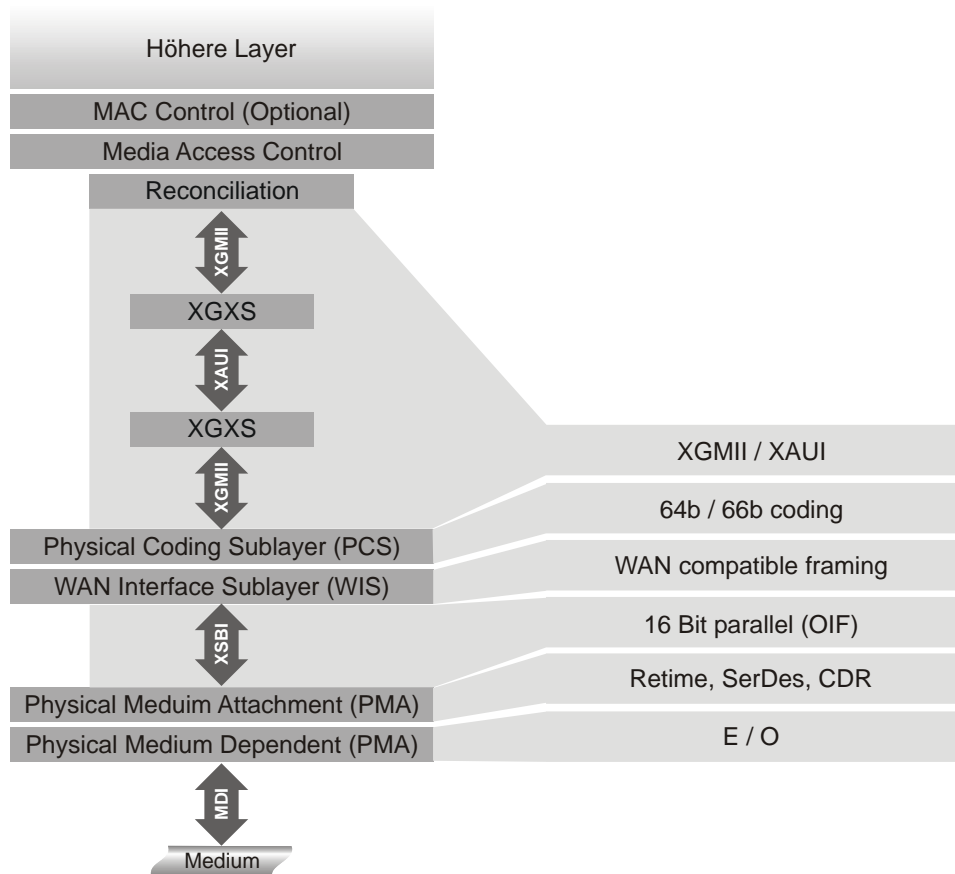
**Bild 6.3: XAUI-Interface als Übergang zwischen der MAC- und PCS-Schicht**



**Bild 6.4: XAUI als Schnittstelle zwischen der System-Elektronik und den optischen Tranceivern**

Eine Vielzahl von Chip Herstellern liefern Single-Chip-, Kundenspezifische ASIC- (Application-Specific Integrated Circuits), und sogar FPGA-Lösungen (Field-Programmable Gate Arrays) mit integrierter XAUI Schnittstelle. Damit passt sich die 10Gigabit Ethernet XAUI Technologie perfekt an andere Industriestandards an wie z.B. InfiniBand<sup>(TM)</sup>, 10 Gigabit Fibre Channel sowie universellen Kupfer und optischen Backplane Verbindungen. Damit steht der Entwicklung dieser Komponenten auf dem freien Markt und damit verbundenen geringen Preisen nichts mehr im Wege.

Die obige Abbildung verdeutlicht nochmals die Verwendung von XAUI als Schnittstelle zwischen der System-Elektronik und der optischen Transceiver. Die alternative 36+36 Bit breite Tx und Rx PCB Verbindung die immer mit Leiternahn-Übersprech Problemen behaftet ist kann damit ersetzt werden.



**Bild 6.5: Schnittstellen des 10 Gigabit Ethernet**

## 6.4 PHY-Layer

Prinzipiell werden zwei unterschiedliche PHY-Typen von der IEEE 802.3ae-Spezifikation definiert: die LAN PHY und die WAN PHY. Die 10 Gigabit LAN PHY unterstützt alle bisherigen Gigabit Ethernet-Applikationen. Langfristig wird erwartet, daß die LAN PHY in die neuen Wave Division Multiplexing Switches integriert wird und somit auch in die WAN-Welt hineinwächst. Zur Kompatibilität mit den existierenden WAN-Netzen wurde eine spezielle 10 Gigabit Ethernet WAN PHY entwickelt. Auf Basis dieses Standards lassen sich im WAN die vorhandenen SONET/SDH (Synchronous Optical Network/Synchronous Digital Hierarchy) Komponenten nutzen.



Der 10-Gigabit-Ethernet PHY-Layer ist in vier Teilschichten unterteilt:

- PCS (Physical Coding Sublayer)
- PMD (Physical Medium Dependent)
- PMA (Physical Medium Attachment)
- WIS (WAN Interface Sublayer)

Der Physical Coding Sublayer (PCS) ist die Kodierung des zu übertragenden Bitstroms verantwortlich. Die Anbindung an das jeweilige Übertragungsmedium wird mit dem Physical Medium Attachment (PMA) und dem Physical Medium Dependent (PMD) realisiert. Für die Weitverkehrs-Varianten des Standards zur Anpassung an die Datenraten von SONET/ SDH-Systemen dient der WAN Interface Sublayer (WIS).

## 6.5 Physical Coding Sublayer (PCS)

Die oberste Subschicht des PHY-Layers und die direkte Schnittstelle zum Media Independent Interface (XMII) via der XAUI-Schnittstelle wird vom Physical Coding Sublayer (PCS) gebildet. Die übermittelten Daten vom XMII-Interface an den Physical Coding Sublayer (PCS) werden bei der Übergabe auf das Medium nach dem bereits bei der Gigabit-Technik eingesetzten 8B/10B Verfahren oder nach dem neuen 64B/66B-Verfahren codiert. Bei 10GBase-LX4 kommt die 8B/10B-Kodierung zum Einsatz, die je Byte 10 Bits überträgt. Bei vier parallelen Datenströmen mit einer Nutzdatenrate von je 2,5 GBit/s beträgt die Bruttodatenrate entsprechend 3,125 GBit/s auf jedem Kanal oder insgesamt 12,5 GBit/s. Für die seriellen Übertragungsvarianten erschien ein derartig hoher Overhead als nicht praktikabel. Deshalb kommt dort eine 64B/66B-Kodierung zum Zug, die 64 Informationsbits mit 66 zu übertragenden Bits kodiert. Die benötigte Bandbreite liegt also nur rund drei Prozent über der Nutzdatenrate.

## 6.6 8B/10B-Code

Beim Wave Division Multiplex-Verfahren des 10 Gigabit Ethernets (10GBaseLX4) wird der bereits aus der Gigabit-Ethernet-Variante bekannte Run-length limited-Kode verwendet. Dabei werden die acht Datenbits auf 10 Übertragungsbits auf gespreizt (4 x 3,125 GBit/s). Im Standard werden die daraus resultierenden 10 Bits als eine Kodegruppe bezeichnet. Dieser Code hat eine Effizienz von 80 Prozent. Der 8B10B Kode weist praktisch keinen Baseline-Wandler auf.

In elektrische Werte umgesetzt, bedeutet dies, daß der Code keinen Gleichspannungsanteil (DC-balanced) erzeugt. Dies wird durch folgenden Trick erreicht: Für jede acht Bit Kombination wurden zwei 10 Bit-Kodegruppen definiert. Die beiden Kodegruppen sind so definiert, daß sie sich ergänzen. Werden zwei gleiche Kodegruppen hintereinander übertragen, so enthalten die beiden Symbole immer eine genau gleiche Anzahl von Nullen und Einsen. Ein zusätzlicher Mechanismus sorgt dafür, daß die beiden einem Oktett zugeordneten Kodegruppen

immer abwechselnd übertragen werden. Dazu wird ein Running Disparity Flag (RD) verwendet, daß abhängig von der zuletzt gesendeten Kodegruppe gesetzt oder zurückgesetzt wird. Abhängig von dem Status des RD Flags wird entweder die eine oder die andere korrespondierende Kodegruppe übertragen. Der Status des RD Flags wird immer dann gewechselt, wenn eine unsymmetrische Kodegruppe übertragen wird. Eine unsymmetrischen Kodegruppe besteht aus einer ungleichen Anzahl von Null- und Eins-Bits.

## 6.6.1 64B/66B-Code

Alle seriellen Adaptionen des 10 Gigabit Ethernet (10GBaseSR, 10GBaseSW, 10GBaseLR und 10GBaseER) verwenden die 64B/66B- Signalkodierung. Dabei wird bei der LAN PHY die vier Output-Signale mit dem zugehörigen 8B/10B Datencode über einen 64B/66B Codec geleitet. Anschließend werden die Signale über einen Serializer/Deserializer (SerDes) mit 10.3125 GBit/s auf das Netz übertragen.

Die WAN PHY arbeitet ähnlich wie die LAN Phy. Nach dem 64B/66B Codec wurde jedoch eine SONET Framing-Komponente und ein Scrambler-System eingefügt. Dadurch ergibt sich eine Datenrate von 9,95328 GBit/s.

Die 64B/66B- Signalkodierung basiert auf der besonders effizienten Block-Kodierung. Es werden nur zwei zusätzliche Bits für einen 64 Bit Datenblock benötigt. Reine Daten (D0-D7) werden in diesem Verfahren mit "01" kodiert, Kontrollbytes (C0-C7, 7 Bit) und ein Gemisch aus Kontroll- und Datenbytes erhalten die Kodierung "10". Unbenutzte Bits werden als "0" übertragen.

| Kodierung                        | Beschreibung  | Vorteile   | Nachteile  |
|----------------------------------|---|--|--|
| 8B/10B                           | Für die Übertragung von vier parallelen Signalen (WDM) über Glasfaser wird das 8B/10B-Kodierungsschema für das XAUI Interface verwendet.  | Die 8B/10B Kodierung wurde bereits beim Gigabit Ethernet eingesetzt.   | 25% Overhead   |
| 64B/66B                          | Für die serielle Übertragung über Glasfaser und die WAN PHY wird das 64B/66B-Kodierungsschema verwendet.  | Geringerer Kodierungs-Overhead (3%) im Vergleich zum 8B/10B Code. Dieser Code wird sowohl für LAN- als auch für WAN- Applikationen verwendet..   | 64B/66B gehört zu den relativ neuen Kodierungsmechanismen und der Ethernet-Markt verfügt noch über wenig praktische Erfahrung. |
| SONET/SDH Framing und Scrambling | Als Frame-Struktur wird für die 10 Gigabit Ethernet WAN PHY ein SONET/SDH Format verwendet. Die 64B/66B kodierten Ethernet-Pakete werden als reine Payload im SONET/SDH-Datenstrom übermittelt. | Das SONET/SDH Framing ermöglicht die Übermittlung von 10 Gigabit Ethernet über bestehende SONET/SDH-Transportstrukturen. Aus Kompatibilitätsgründen reduziert das SONET/SDH Framing die Übertragungsrate vom Übertragungsmedium vorgegebene Datenrate. Das Scrambling der Daten sorgt für die Gewinnung des Clocks beim Empfänger und reduziert gleichzeitig elektromagnetische Interferenzen. | Durch das SONET/SDH Framing und die Overhead-Bytes reduziert sich der Datendurchsatz um 4%.                                    |

Tab. 6.1 Zusammenfassung Physical Coding Sublayer

## 6.7 Physical Media Dependend (PMD)

Gemäß dem ISO Referenz Modell bildet der Physical Media Dependend (PMD) die unterste Schicht der physikalischen Ebene. Aus dieser Subschicht werden die Daten in elektrische oder optische Signale umgesetzt. Zur Übertragung via Glasfaser verwendet 10-Gigabit-Ethernet die drei gängigen "optischen Fenster":

- 850 Nanometer (Abkürzung "S")
- 1310 Nanometer (Abkürzung "L")
- 1550 Nanometer. (Abkürzung "E")

Bei 850 nm ist die Übertragung am Kosten günstigsten. Hierbei kann ein kostengünstiger Laser des VCSEL-Typs (Vertical Cavity Surface-Emitting Laser) das Lichtsignal in eine preiswerte Multimode-Fiber einspeisen. Der VCSEL-Laser bietet den Vorteil, sich ohne zusätzliche Kühlung betreiben zu lassen. Allerdings erreicht er mit etwa 0,35 mW nur eine mäßige Leistung. Leider können deshalb nur Entfernungen bis 300 m überbrückt werden da im Zusammenspiel mit der relativ großen Dämpfung auf der Faser (rund 3,5 dB/km) sehr schnell die Signalintensität abnimmt.

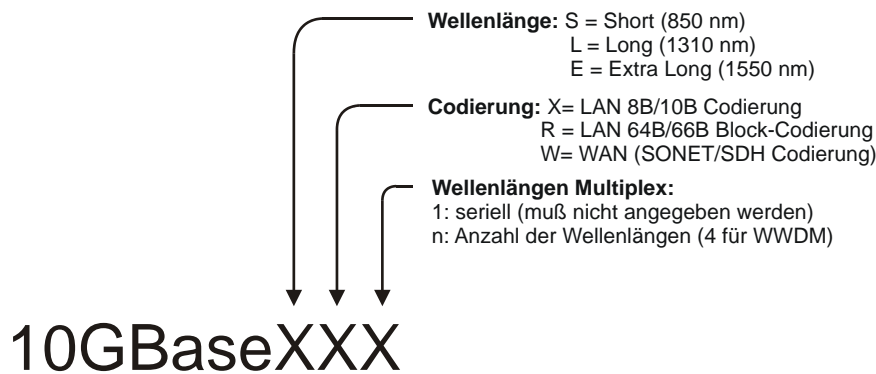
Bei einer Wellenlänge von 1310 nm kann die Übertragung sowohl via Multimode- (MMF) als auch über Single-Mode-Fiber (SMF) erfolgen. In der MMF-Variante kommt ein Fabry-Perot-Laser zum Einsatz, die SMF-Spielart operiert mittels eines Distributed-Feedback-Lasers. Beide Typen erzielen Leistungen im Bereich von rund 6 mW. Übertragungsdistanzen bis 15 km lassen sich somit in Kombination mit der geringeren SMF-Dämpfung von 0,5 dB/km erreichen.

Ähnliche Lasertypen mit Leistungen bis etwa 10 mW arbeiten in der 1550-nm-Variante. Sie kommen auch in SONET/ SDH-Systemen zur Anwendung. Dafür gilt es jedoch, eine größere Dispersion in Kauf zu nehmen oder alternativ spezielle und damit teure Medien (Dispersion Shifted Fiber - DSF) einzusetzen. Entfernungen von 50 km und mehr werden hier überbrückt.

Die Spezifikationen des PMD-Layers hängen von dem jeweiligen verwendeten Substandard (10GBaseSR, , 10GBaseSW, 10GBaseLX4, 10GBaseLR, 10GBaseLW, 10GBaseER oder 10GBaseEW) ab.

| Standard Klasse | Übertragungsfenster |         | Codierung | Typ       |
|-----------------|---------------------|---------|-----------|-----------|
| 10GBaseSR       | 10GBase-R           | 850 nm  | 64B/66B   | seriell   |
| 10GBaseSW       | 10GBase-W           | 850 nm  | 64B/66B   | SONET/SDH |
| 10GBaseLX4      | 10GBase-X           | 1310 nm | 8B/10B    | WWDM      |
| 10GBaseLR       | 10GBase-R           | 1310 nm | 64B/66B   | seriell   |
| 10GBaseLW       | 10GBase-W           | 1310 nm | 64B/66B   | SONET/SDH |
| 10GBaseLR       | 10GBase-R           | 1550 nm | 64B/66B   | seriell   |
| 10GBaseEW       | 10GBase-W           | 1550 nm | 64B/66B   | SONET/SDH |

**Tab. 6.2: Vergleich zwischen den 10 GBit/s PMDs**



**Bild 6.6: Codierung der 10 Gigabit Ethernet-Bezeichnungen**

Der 10 Gigabit Ethernet-Standard verändert den Kennschlüssel zur Zuordnung des jeweiligen physikalischen Mediums. Dieser Schlüssel setzt sich aus fünf Komponenten zusammen: der Übertragungsrate (in GBit/s), der Übertragungsart (Basisband), der Wellenlänge, der Codierung und des Wellenlängen-Multiplexes.

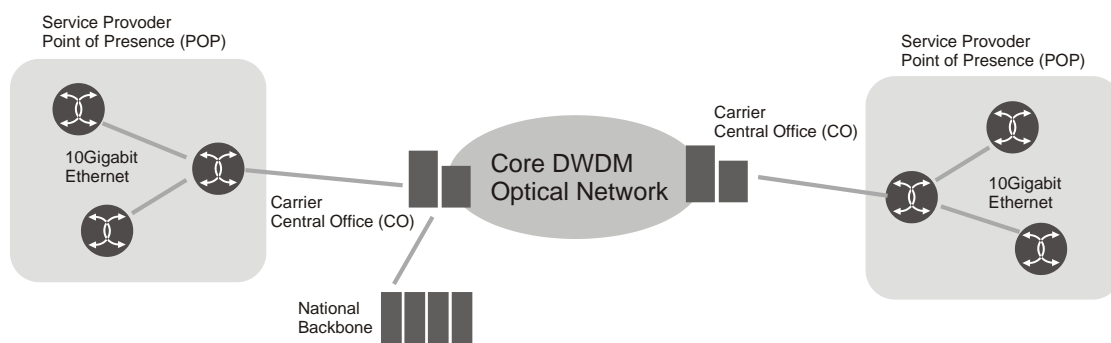
## 8.8 WIS - WAN Interface Sublayer

Der WIS-Sublayer übernimmt die Formatierung (Framing) der Daten und die Bereitstellung der Management-Informationen für die SONET/ SDH-Systeme und wird nur in den WAN-PHYs implementiert. Er arbeitet als SONET/SDH-Framer, besorgt also im Wesentlichen das Umpacken der Datenpakete zwischen dem SONET- (16-Bit-Worte) und dem 10GE-Format (66-Bit-Worte). Der Betrieb von LAN- und WAN-PHY geschieht über identische PMD-Layer. Es werden somit gleichen Entfernungen erreicht. Die Unterscheidung bezieht sich also nicht auf die Übertragungsdistanz, sondern signalisiert lediglich, ob bestehende WAN-Infrastruktur genutzt wird oder nicht. Dies liegt daran, dass sowohl die LAN als auch die WAN PHY sämtliche von der IEEE 802.3ae definierten PMD Sublayer unterstützen müssen. Tatsächlich wurde im Zuge der Standardisierung aber heftig diskutiert, ob die Unterscheidung nach WAN- und LAN-PHY Auswirkungen auf erreichbare Distanzen (short-haul / long-haul) haben müsse. Letzten Endes entschied man sich aber gegen eine Anpassung der Entfernungen. Die von der 802.3ae Arbeitsgruppe definierte SONET-PHY arbeitet mit den Datenraten gemäß OC-192c/SDH VC-4-64c. Mit Hilfe dieses SONET-ähnlichen Interfaces lassen sich 10 Gigabit Ethernet Switches und Router direkt an SONET-Komponenten anschließen und die SONET-Netzinfrastruktur auf der Schicht 1 zum Transport der Daten nutzen. Um eine preiswerte WAN PHY Implementationen zu gewährleisten, verzichtete die 802.3ae Arbeitsgruppe auf eine volle Konformität mit sämtlichen SONET-Funktionen (Jitter, Stratum Clock usw.), nur die minimalen SONET-Dienste (Framing) und die Unterstützung der SONET/SDH-Datenrate von 9.58 GBit/s wurden implementiert.

| Bezeichnung                  | 10 Gigabit Ethernet LAN PHY |                               | 10 Gigabit Ethernet WAN PHY                    |                          |
|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--|--------------------------|
|                              | Serial                      | WWDM                          | Serial   | WWDM                     |
| MAC Datenrate                | 10,0 GBit/s                 | 10,0 GBit/s                   | 10,0/9,58 GBit/s                               | 10,0/9,58 GBit/s         |
| Optionales MAC/PCS Interface | XGMII                       | XGMII                         | XGMII  | XGMII                    |
| Optionaler XGM II Extender   | XAUI                        | XAUI                          | XAUI   | XAUI                     |
| PCS                          | 64B/66B                     | 8B/10B                        | 64B/66B SONET Framing                          | 64B/66B SONET Framing    |
| PMA interface                | XSBI                        | XAUI                          | XSBI   | XSBI                     |
| PMA/PMD                      | 1310-nm FP                  | 4 $\lambda$ 13100-nm WWDM     | 1550-nm DFB 1310-nm FP oder VCSEL 850-nm VCSEL | 4 $\lambda$ 1310-nm WWDM |
| Line rate                    | 10.3 GBit/s                 | 4 x 3.125 GBit/s 1310-nm WWDM | 9.953 GBit/s                                   | 4 x 2.5 GBit/s           |

Netzausdehnungen von bis zu 100 Kilometer für den WAN-Bereich werden in der 802.3ae-Gruppe diskutiert. Gerade bei Anbieter von Fernmeldediensten, Internet Service Provider (ISPs) und Network Service Provider (NSPs) werden damit angesprochen. besonders im MAN-Bereich wird dem 10 Gigabit Ethernet eine reelle Chance eingeräumt, sich gegen die etablierten Telekommunikationstechniken durchzusetzen. In diesem Bereich erfordern neue Applikationen neue Dienste: Hierzu gehören beispielsweise:

- Die Zusammenführung verteilter LAN-Segmenten zu einem integrierten Corporate Network
- Die Verbindung von Backend-Servern bzw. Serverfarmen
- Verbindungen innerhalb von Points of Presence (PoP) zwischen schnellen Servern bzw. schnelle Verbindungen zwischen verteilten PoPs
- Übermittlung und Verteilung von Video- und Audio-Streams
- Content – und Application-Service-Provisioning- (CSP und ASP) Dienst

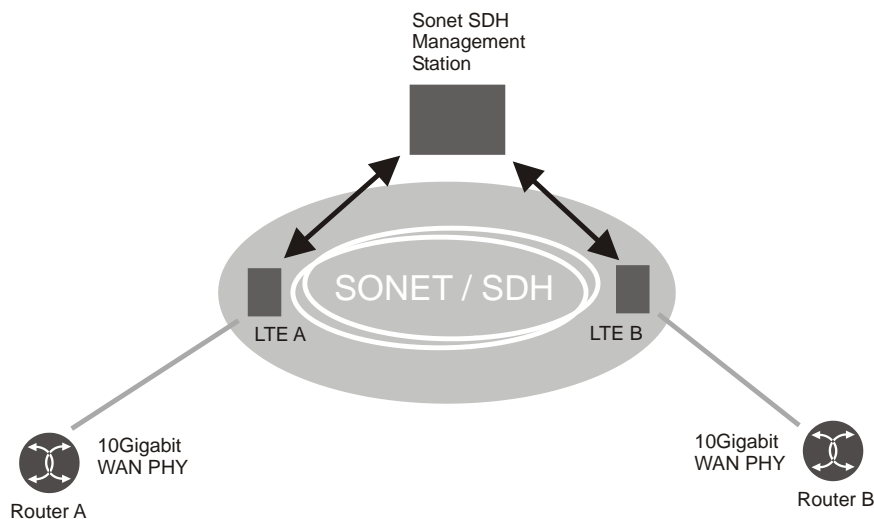


**Bild 6.7: Beispiel 10 Gbit Ethernet in WAN Netzwerkkumgebungen**

## 6.8.1 Nutzung vorhandener SONET-Infrastrukturen

Mit Hilfe der WAN PHY-Funktionen kann erstmals die vorhandene SONET-Infrastruktur in den Weitverkehrsnetzen zur Übermittlung von Ethernet genutzt werden. Die von der 802.3ae Arbeitsgruppe definierte SONET-PHY arbeitet mit den Datenraten gemäß OC-192c/SDH VC-4-64c. Mit Hilfe dieses SONET-ähnlichen Interfaces lassen sich 10 Gigabit Ethernet Switches und Router direkt an SONET-Komponenten anschließen und die SONET-Netzinfrastruktur auf der Schicht 1 zum Transport der Daten nutzen. Sowohl die LAN- und WAN PHY müssen sämtliche von der IEEE 802.3ae definierten PMD Sublayer unterstützen. Aus diesem Grund unterscheiden sich die maximalen Reichweiten beider Technologien nicht. Die WAN PHY unterscheidet sich von der LAN PHY durch den im PCS Encoding Sublayer integrierten SONET Framer. Um eine preiswerte WAN PHY Implementationen zu gewährleisten, verzichtete die 802.3ae Arbeitsgruppe auf eine volle Konformität mit sämtlichen SONET-Funktionen (Jitter, Stratum Clock usw.). Nur die WAN PHY erbringt minimale SONET-Dienste (Framing) und die Unterstützung der SONET/SDH-Datenrate von 9.58 GBit/s.

Die über die WAN PHY an ein SONET/SDH- oder an anderes optische Netzwerk angeschlossenen Kommunikationskomponenten (Switches oder Router) ermöglichen die problemlose Ausdehnung des Ethernets über die bisherigen Grenzen des LANs hinweg. Im folgenden wird die Funktion des 10 Gigabit Ethernets über ein SONET/SDH-Netz (siehe Abbildung) dargestellt. Die beiden Router verfügen jeweils über eine 10 Gigabit Ethernet WAN PHY die über ähnliche Interfaces in den SONET/SDH-Komponenten (Line Termination Equipment, LTE) über das MAN/WAN kommunizieren.



**Bild 6.8: 10 Gigabit Ethernets über ein SONET/SDH-Netz**

Über die WAN PHY wirken die beiden Router (A und B), wie wenn diese direkt über eine Ethernet-Verbindung angeschlossen sind. Damit lassen sich zwischen den beiden Routern die jeweiligen QoS-, CoS-Definitionen und das Verkehrsmanagement direkt umsetzen. Zur Vereinfachung des gesamten Managementprozesses im LAN wie auch im WAN stellt die WAN PHY nicht nur die Link-spezifischen Managementdaten, sondern auch einige SONET/SDH Managementinformation zur Verfügung. Damit kann sowohl der MAN-Betreiber wie auch der

Betreiber der Router ein Performance-Monitoring und eine qualifizierte Fehlerbehebung im gesamten Netz durchführen. Die SONET/SDH Managementinformation werden durch den zusätzlichen WAN Interface Sublayer (WIS) bereitgestellt.

Die Verarbeitung eines Datenpakets im Router A beginnt auf der IP-Ebene. Die IP-Funktionen leiten den seriellen IP-Datenstrom an die 10 Gigabit Ethernet MAC-Schicht weiter. Diese erbringt die notwendige Adressierung und verpackt die Daten in ein Ethernet-Paket. Die MAC-Schicht überträgt das Paket an den 64b/66b Encoder. Der 64b/66b Encoder generiert 66 Bitworte, welches jedes aus 64 Datenbits besteht. Diese 66 Bitworte werden als kontinuierlicher Bitstrom an den WIS weiter gereicht. Vom WIS werden die Daten als 16 Bit-Worte über das optische Transceiver-Modul (der jeweilige PMD-Typ) auf das Glasfasermedium übertragen. Gegenüber dem 10 Gigabit Ethernet WAN PHY Link, zwischen Router A und dem LTE, sitzt das korrespondierende Interface in der entsprechenden SONET/SDH LTE-Komponente. Die PMD des Interfaces empfängt die optischen Signale und wandelt diese in einen elektrischen Bitstrom zurück und legt diese in einem Jitter-Puffer ab. Die LTE-Komponente ist für das Re-Timing der Datenbits und den Transport der Daten von der asynchronen 10 Gigabit Ethernet WAN PHY auf das synchrone SONET/SDH Netz verantwortlich. Die Zeit Synchronität zum SONET/SDH-Netz wird mit Hilfe von Pointern innerhalb der SONET/SDH-Managementinformation erreicht. Nachdem die LTE-Komponente die notwendigen Anpassungen der Managementinformation vorgenommen hat, wird der Bitstrom auf das SONET/SDH Netz übertragen.

Empfängt am anderen Ende des SONET/SDH Netzes, beginnt die LTE-Komponente mit der umgekehrten Abarbeitung der Kommunikationsprozesse. Zuerst wird die mitgelieferte Managementinformation gelesen und entsprechend den Anforderungen verändert. Da der Clock des SONET/SDH Netzes wesentlich akkurater als der asynchrone 10 Gigabit Ethernet Clock arbeitet, entfällt das Re-Timing durch die LTE-Komponente und der Bitstrom kann direkt über die 10 Gigabit Ethernet WAN PHY auf das angeschlossene Linksegment übertragen werden. Beim Empfang der Daten durch Router B wandelt die PMD das optische Signal in ein 16 Bit elektrisches Signal um. Anschließend wird dieses Signal vom WIS-Modul bearbeitet, der SONET/SDH Header entfernt und die spezifischen Managementinformationen abgelegt. Der aus diesem Vorgang resultierende 64b/66b PCS Bitstrom wird an den Decoder weitergeleitet und die 64 Datenbits aus dem 66 Bit Codeworte extrahiert. Diese Daten übernimmt der MAC-Layer, der anschließend die Adressen und das CRC-Feld überprüft und die Header-Informationen entfernt.

Die SONET/SDH Interfaces und die 10 Gigabit Ethernet WAN benutzen zwar gemeinsam die gleichen SONET/SDH Managementinformation, weisen jedoch keine weiteren Gemeinsamkeiten auf. SONET/SDH Systeme verwenden zur Synchronisierung der Daten hoch-akkurate Clocks und bauen damit eine synchrone Clock-Hierarchie auf. Bei der Übermittlung über mehrere SONET/SDH Segmente werden die Clock zur Steuerung der integrierten Signalregeneratoren eingesetzt. Eine 10 Gigabit Ethernet WAN PHY arbeitet dagegen wie jedes andere asynchrone Netzinterface. Jeder Link stellt hierbei eine separate Clock Domain für den angeschlossenen Link dar. Auch die über die 10 Gigabit Ethernet WAN PHY bereitgestellte SONET/SDH Managementinformation sollte nicht darüber

hinwegtäuschen, dass nur ein Teil der SONET/SDH-Möglichkeiten implementiert wird. Komplexe SONET/SDH Funktionen (beispielsweise Protection Switching) sind deshalb von der 10 Gigabit Ethernet WAN PHY nicht zu erwarten. Einzig die 802.3 Link Aggregation-Funktion zur Bandbreitenerweiterungen über eine zweite Verbindung wird von der 10 Gigabit Ethernet WAN PHY unterstützt.

## 6.9 Physikalische Übertragungsmedien für den 10Gigabit Ethernet Standard

Weite Entfernungen verstärkungsfrei übermitteln, das kann nur mit Hilfe von Glasfasern erreicht werden. Geringe Fehlerraten, eine hohe Immunität gegen elektrische Interferenzen und Übertragungssicherheit gegenüber den Kupferkabeln zeichnen Glasfasern aus. Außerdem sind sie durch ein geringes Gewicht im Vorteil. Die Grundlagen der Glasfasertechnik ist den Forschern seit Mitte der sechziger Jahre bekannt. Die damaligen Lichtwellenleiter wiesen jedoch aufgrund des verwendeten Materials eine sehr hohe Signaldämpfung auf. Erst durch neue Fertigungsprozesse ließen sich Glasfasern herstellen, die die Signale nur noch um 20 Dezibel pro Kilometer (dB/km) dämpften. Die ersten Glasfaserübertragungssysteme wurden von den internationalen Telekommunikations- Gesellschaften (Geschwindigkeit 45 MBit/s) auf Basis der Multimodefasern installiert. Durch weiterer Leistungssteigerungen und die Erhöhung der Übertragungsraten entwickelten sich die Monomode-Systeme zum Standard in den Weitverkehrsnetzen. In den folgenden Jahren konzentrierte sich die Glasfaserentwicklung auf die Dämpfungsanomalien des optischen Spektrums. Diese Dämpfungsanomalien werden auch als Übertragungsfenster genannt und bezeichnen die Bereiche des Glasfaserspektrums mit einem geringen Dämpfungsverhalten. Die ersten Glasfasersysteme arbeiteten mit einer Wellenlänge von 850 nm im ersten Dämpfungsfenster. Das zweite Fenster (S-Band) liegt bei 1310 nm und weist eine wesentlich geringere Signaldämpfung auf. Das dritte Fenster (C-Band) liegt bei 1550 nm und reduziert die Signaldämpfung gegenüber den anderen Übertragungsfenstern zusätzlich. Inzwischen wird mit einem vierten Fenster (L-Band) bei 1625nm experimentiert (Siehe Physical Media Dependend).

Während es bei Gigabit-Ethernet möglich ist, Daten über Entfernungen von bis zu 550 Meter (50-µm-Faser) zu übertragen, ist das bei 10GE nur mit hohem finanziellen Aufwand zu bewerkstelligen, nämlich mit Hilfe teurer optischer Komponenten für »Wave Length Division Multiplexing« (WDM). IEEE, Fiber Channel, OIF, TIA, IEC und ISO/IEC haben z.B. hierbei eine 10Gigabit Ethernet Lösung vereinbart, die als Übertragungsmedium eine neue Generation von Multimode Gradienten Index Fasern mit 50µm definiert. Für diese Fasern wurde unter Verwendung kostengünstiger Laser bei einer Übertragungswellenlänge von 850 nm eine maximale Übertragungslänge von 300m festgelegt. Das ist angesichts der Erhöhung der Datenrate auf 10Gbit/s eine beachtliche Segmentlänge.



Für die Übertragung von Licht werden zwei völlig unterschiedliche Lichttechniken eingesetzt: Light-Emitting Dioden (LEDs) und Laserdioden. LEDs gehören zu den relativ langsamen Komponenten und eignen sich für Datengeschwindigkeiten unter 1 GBit/s. Die LEDs geben ein relativ weites Lichtspektrum ab, lassen sich kostengünstig herstellen und werden hauptsächlich in Multimode-Systemen eingesetzt. Die Laser Dioden eignen sich von ihrer Performance-Charakteristik erheblich besser für Monomode-Anwendungen. Die Laserdiode sendet ein gerichtetes Licht aus. Dieses gerichtete Licht läßt sich mit Hilfe einer Linse für die Übertragung über eine Glasfaser bündeln. Typische Anforderungen an Laser sind: exakte Wellenlängen, eng eingrenzbare Spektrum, genügend Leistung und geringe Alterung. Die handelsüblichen Laser entsprechen den ersten drei Anforderungen. Die Negativen Eigenschaften der Alterung (Veränderung des Frequenzspektrums und der Leistung) reduzieren die Übertragungsraten auf Grenzen etwas oberhalb von 10 GBit/s. Momentan werden folgende zwei Lasertypen eingesetzt: monolithische Fabry-Perot Laser und Distributed Feedback (DFB) Laser. Die DFB-Laser eignen sich besonders für den Einsatz in WDM-Anwendungen, da diese ein fast monochromatisches Licht emittieren, hohe Übertragungsgeschwindigkeiten unterstützen, einen hohen Signal-Rauschabstand aufweisen und eine exzellente Linearität aufweisen. Die DFB Laser sind mit Mittenfrequenzen von 1310 nm und von 1520 bis 1565 nm erhältlich. Im Markt sind inzwischen gekühlte DFB Laser mit einer genauen Wellenlänge verfügbar.

Die übermittelten Signale (Wellenlängen) müssen von einem Empfangssystem erkannt und weitervermittelt werden. Das ankommende Signal wird bei WDM-Systemen zuerst von einem Demultiplexer in die einzelnen Signalfrequenzen zerlegt und anschließend an den jeweiligen Photodetektor übertragen. Zwei unterschiedliche Photodetektoren werden momentan im Markt eingesetzt: Positive-Intrinsic-Negative (PIN) Photodioden und die Avalanche Photodioden (APD). PIN Photodioden arbeiten nach dem umgekehrten Prinzip wie die LEDs. Das Licht wird nicht ausgestrahlt, sondern absorbiert und die Photonen werden in Elektronen umgewandelt. Die APDs arbeiten ähnlich wie die PIN Photodioden, bieten aber einen zusätzlichen Verstärkungseffekt. Ein empfangenes Photon setzt dabei mehrere Elektronen frei. PIN Photodioden sind relativ kostengünstig herzustellen und bieten eine hohe Zuverlässigkeit. Dagegen arbeiten die APDs akkurater und verfügen über eine höhere Eingangsempfindlichkeit. Der hohe Preis und die Temperaturempfindlichkeit wirken sich allerdings bei den APDs negativ aus.

## 10 Gigabit Ethernet Modulationsverfahren

Beim 10 Gigabit Ethernet wurden zwei unterschiedliche Modulationsverfahren für die Glasfaser definiert:

- das serielle Übertragungsverfahren
- das Wave Division Multiplexing

## 6.10.1 Serielle Übertragungsverfahren

Bei den früheren Ethernet-Varianten wurde das serielle Übertragungsverfahren verwendet. Über das Medium (Glasfaser) wird bei den 10 Gigabit Ethernet-Varianten 10GBaseSR, 10GBaseSW, 10GBaseLR und 10GbaseER eine Wellenlänge mit einer hohen Übertragungskapazität übermittelt. Somit steht der ganze Übertragungskanal exklusiv zur Datenübermittlung zur Verfügung. Durch die relativ hohe Übertragungsfrequenz verteuern sich jedoch die Übertragungskomponenten.

## 6.10.2 Wave Division Multiplexing

Die Entwicklung der Wave Division Multiplex (WDM) Technologie begann Ende der achtziger Jahre. Auf Basis der Kernwellenlängen von 1310 nm und 1550 nm wurden gleichzeitig parallele Informationsströme über die gleiche Glasfaser übertragen. Beim 10 Gigabit Ethernet (10GBaseLX4) wurde nun erstmals das Multimode-Modulationsverfahren eingeführt. Mit Hilfe des WDM- (Wide Wavelength Division Multiplex) Verfahrens werden so in derselben Faser Lichtsignale unterschiedlicher Wellenlängen übertragen und am Ende wieder in einzelne Kanäle aufgesplittet. So lässt sich das schnelle Signal in mehrere langsamere aufteilen und parallel übertragen, wobei sich die unterschiedlichen Wellenlängen nicht beeinflussen. Nutzt man beispielsweise vier Wellenlängen, sinkt die erforderliche Bandbreite in der Glasfaser von 10 auf 2,5 GBit pro Sekunde. Wählt man den jeweiligen Wellenlängenabstand groß genug, lassen sich zudem relativ preiswerte Glasfaser-Laser einsetzen.

## 6.11 Ethernet over the First Mile

Die fast schon unüberschaubare Vielzahl der heute existierenden "Last-Mile"-Protokolle wie (ISDN, Modem, xDSL, Kabelmodem, Satellit, Funkverbindungen) und deren Medien (Glasfaser-, Koax-, Twisted-Pair- und Hybrid-Kabel sowie Luft) lässt schnell die Idee entstehen, eine einheitliche, schnelle Schnittstelle zu schaffen. Mit solchen Ideen beschäftigt sich die Studiengruppe 802.3efm "Ethernet over the First Mile" mit dem WAN-Frontend und diskutiert solche Ansätze. Nachdem sich die Glasfaserübertragung in den letzten Jahren in Konkurrenz zu Kupferkabeln überraschenderweise sehr schnell weiterentwickelt hat, (Sehr viele Firmen sind bereits über Glasfaser an das WAN angeschlossen) hat sie sich zu einem zentralen Thema entwickelt. Ab einer bestimmten Datenrate und Entfernung ist die Übertragung über Glasfaser nun mal unschlagbar. „Fiber to the Home“ ist für die nahe Zukunft noch kein Thema, aber der 10 Gigabit Standard wäre mit der Einbeziehung der Glasfasertechnik bereits für die weitere Zukunft gerüstet. Ein passives Optisches Netz (PON) wäre möglich, mit dem die Endteilnehmer an der Muffe (curb: Bordsteinkante), im Gebäude oder in der Wohnung angeschlossen werden könnte.