

100-Gigabit-Ethernet – Grundlagen, Trends und Messanforderungen

Von: Peter Winterling

Einführung

In fast zweijährigem Rhythmus wird eine neue Hierarchiestufe in der Telekommunikation angekündigt. Die Einführung der 40-Gbit/s-Technik dominierte in den letzten beiden Jahren die Telekommunikation, nun ist 100 Gbit/s als nächste Generation in aller Munde. Oberflächlich betrachtet vollzieht sich derzeit nur ein weiterer Generationswechsel, und 40 Gbit/s scheint bereits überholt zu sein. Doch mit der Einführung der 100-Gbit/s-Technik ist vieles anders als in den Generationsschritten zuvor.

Genauer betrachtet bilden die Bezeichnungen 40 Gbit/s und 100 Gbit/s einen Oberbegriff für einen umfassenden Technikwandel in der Übertragungstechnik. Die Messtechnik spielt gerade in dieser Phase der Einführung neuer Techniken eine außerordentlich wichtige Rolle.

Der Übergang von Gigabit-Ethernet zu 10-Gigabit-Ethernet brachte die Ethernet-Technik in die Transportnetze und stellte aus der Sichtweise des Übertragungsprotokolls einen größeren Umbruch dar als nun die Einführung der 100-Gigabit-Ethernet-Technik. Die Standardisierung dafür ist zwar noch nicht endgültig abgeschlossen, es werden aber gegenüber der 10-Gigabit-Ethernet-Technik keine gravierenden Änderungen erwartet. Der revolutionäre Teil wird durch die physikalischen Parameter bestimmt. Bereits bei der 40-Gbit/s-Technik wurde deutlich, dass eine Übertragung in vorhandener Übertragungsinfrastruktur nur mit erheblichen Modifikationen des optischen Übertragungssignals und -wegs möglich ist. Für die Übertragung von 100-Gigabit-Ethernet bzw. OTU4 im Weitverkehr sind nun alle erdenklichen Möglichkeiten auszuschöpfen.

Standardisierung bei 100-Gigabit-Ethernet

Drei Organisationen sind in die Standardisierung für 100-Gigabit-Ethernet einbezogen: In der „Higher Speed Study Group“ (HSSG) des IEEE werden unter der Bezeichnung 802.3ba die Ethernet-Spezifikationen definiert. Bei ITU-T kümmert sich die Standardisierungsgruppe SG15 um die Einbindung des 100-Gigabit- und 40-Gigabit-Ethernet-Signals in den OTN-Rahmen. Beim OIF (Optical Internetworking Forum) beschäftigt sich die Arbeitsgruppe PLL (Physical and Link Layer) mit der Einbindung dieser Signale in die DWDM-Technik der Metro- und Weitverkehrstechnik.

Als Ausgangslage für die Standardisierung von 100-Gigabit-Ethernet wurde festgelegt, dass die bisherigen Rahmengrößen und Rahmenformate aus dem IEEE-Standard 802.3 beibehalten werden und eine Übertragungsqualität mit einer Bitfehlerrate von weniger als $BER = 10^{-12}$ für den MAC-Layer angestrebt wird. Die Nutzung der OTN-Technik als Transportmedium wird angestrebt und mit entsprechenden Spezifikationen unterstützt.

100-Gigabit-Ethernet wird vorerst über mehrere optische Übertragungskanäle im „Multi-Lane“-Konzept übertragen. Standardisiert sind drei verschiedene physikalische Schnittstellen, Tabelle. Für die Übertragung über eine Einmodenfaser sind zwei Reichweiten definiert:

Physical Medium Device (PMD)	40-Gigabit-Ethernet	100-Gigabit-Ethernet
Mehrmodenfaser < 100 m mit OM3-Faser	40GBase-SR4: <ul style="list-style-type: none"> • Bändchenfasern • 850 nm • 4 × 10 Gbit/s 	100GBase-SR10: <ul style="list-style-type: none"> • Bändchenfasern • 850 nm • 10 × 10 Gbit/s
Einmodenfaser > 10 km	40 GBase-LR4: <ul style="list-style-type: none"> • CWDM 20 nm (Kanalabstand) • 1310 nm • 4 Wellenlängen × 10 Gbit/s 	100GBase-LR4: <ul style="list-style-type: none"> • LAN-WDM 4.5 nm • 1310 nm • 4 Wellenlängen • 25 Gbit/s
Einmodenfaser > 40 km		100GBase-ER4: <ul style="list-style-type: none"> • LAN-WDM 4.5 nm • 1310 nm • 4 Wellenlängen × 25 Gbit/s
Einmodenfaser, nicht standardisiert		nicht standardisiert: <ul style="list-style-type: none"> • Kanalabstand 8 nm • 1550 nm • 10 Wellenlängen × 10 Gbit/s

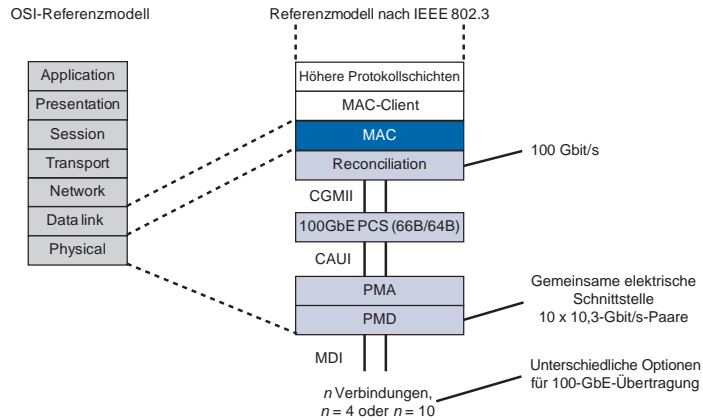
Tabelle. Standardisierung für 40-Gigabit-Ethernet und 100-Gigabit-Ethernet



Optischer Netztester ONT-503 mit 100-Gigabit-Ethernet-Modul und CFP

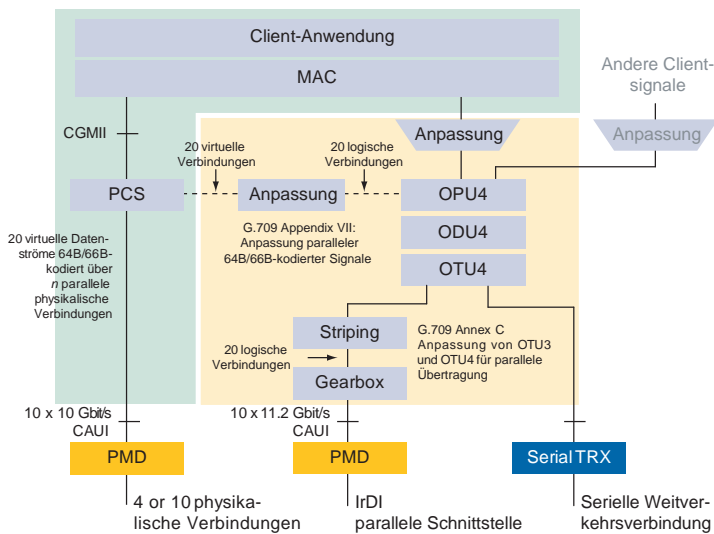
100GBase-LR4 (Long Range) beschreibt die optische Schnittstelle für vier Wellenlängen im Bereich von 1310 nm mit einem Kanalabstand von 4,5 nm mit einer erzielbaren Übertragungreichweite von 10 km und 100GBase-ER4 (Extended Range) für eine Reichweite von 40 km. Für die ersten Tests ist auch noch eine weitere optische Schnittstelle mit zehn Wellenlängen im Bereich von 1550 nm verfügbar. Diese Variante, die allerdings nicht standardisiert wurde, ist technisch die einfachere Lösung, da in diesen Transpondern der Multiplexer („Gearbox“) entfallen kann. Für Kurzverbindungen innerhalb eines Rechenzentrums wird zusätzlich noch eine Schnittstelle für Mehrmodenfaser im Wellenlängenbereich von 850 nm definiert. Hier werden über Bändchenfasern (Ribbon Fibres) zehn Übertragungskanäle parallel jeweils in einem Kabel geführt und in einem optischen Stecker zusammengesteckt. Über OM-3-Fasern sollten dabei mindestens Übertragungslängen von 100 m erreicht werden. Neben den optischen Schnittstellen wurden für beide Übertragungsraten auch noch eine elektrische Schnittstelle definiert. So sollen in vier bzw. zehn parallelen Signalen maximal 10 m Übertragungreichweite erzielt werden können. Die optischen Schnittstellen für Sender und Empfänger werden in sogenannten CFP-Modulen (100 Gigabit Small Form Factor Pluggable) integriert. Analog zu den steckbaren XFP-Modulen (10 Gigabit Small Form Factor Pluggable) sind sie ebenso im laufenden Betrieb wechselbare („hot

swappable“) und protokollunabhängige Transponder. Die vier DFB-Laser mit entsprechend hoher optischer Ausgangsleistung erfordern ein effizientes Wärmemanagement für das CFP-Modul. Es steckt in einen Präzisionschacht, dessen Aufnahme eine entsprechende Wärmeabführung gewährleistet. Bild 1 zeigt den optischen Netztester JDSU ONT-503 mit dem 100-Gigabit-Ethernet-Einschub. Deutlich ist das CFP-Modul zu erkennen. Bild 2 zeigt das OSI-Referenzmodell nach IEEE 802.3ba für 100-Gigabit-Ethernet.



OSI-Referenzmodell und Ethernet-PHY-Referenzmodell nach IEEE 802

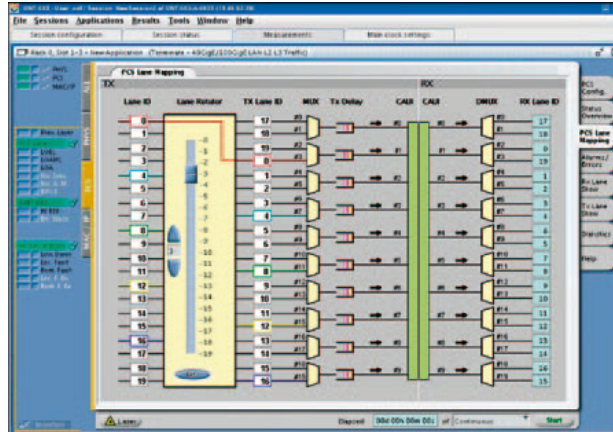
Die CFP-Module enthalten neben optischen Sendern und Empfängern zusätzlich die Multiplexer/Demultiplexer, auch als „Gearbox“ bezeichnet. Damit werden die 20 virtuellen, strukturiert in zehn physikalisch parallel geführten Datenströme vom MAC-Layer mit je 10 Gbit/s in vier physikalische Datenströme mit je 25 Gbit/s zusammengefasst.



100-Gigabit-Ethernet und OTN-Einbindung

Multiplexer und Demultiplexer benötigen Platz im CFP-Modul und liefern einen nicht unerheblichen Beitrag zum Temperaturhaushalt. Langfristig werden diese Funktionen in die ASIC der Signalaufbereitung wandern. Dies erfordert ein entsprechendes Platinenlayout und einen Verbindungsweg als Übergabe an die optischen Schnittstellen für 25 Gbit/s bzw. 28 Gbit/s anstelle von 10 Gbit/s. Dadurch können die optischen Schnittstellen deutlich kleiner als die heutigen CFP-Module ausfallen – und das Gesamtdesign wird somit deutlich günstiger. Mögliche Bezeichnungen dafür sind CxFP oder QSFP. In der „CFP MSA Management Interface Specification“ [1] werden die Schnittstellen und die Managementfunktionen dieses Moduls detailliert beschrieben. „CFP MSA“ definiert einen Transceiver sowohl für 40 Gbit/s als auch 100 Gbit/s einschließlich dessen Verwendung für

„Highspeed“-Ethernet (40-Gigabit- und 100-Gigabit-Ethernet). Alle Bestrebungen zielen auf die gemeinsame Übereinkunft hin, eine preisgünstige 100-Gbit/s-Technik zu entwickeln. Optische Transponder beeinflussen signifikant die Kostenstruktur des Übertragungssystems – deshalb gilt ihnen ein besonderes Augenmerk.



Multi-Lane-Distribution-(MLD)-Tests für 40/100-Gigabit-Ethernet

Zur Übertragung in Metro- und Weitverkehrsnetzen muss das 100-Gbit/s-Signal in OTN gemäß ITU-T-Empfehlung G.709 eingebunden werden. Für 100-Gigabit-Ethernet ist ein Rahmen OTU4 definiert, und die Beschreibung der physikalischen Schnittstelle für eine Übertragung in vier parallelen Übertragungskanälen wurde entsprechend erweitert [2]. Die verschiedenen Varianten sind in Bild 3 dargestellt. Die Möglichkeit, weitere Client-Signale in OTU4 einzubinden, wird ausdrücklich ermöglicht. Mit diesem ersten Schritt der Parallelübertragung ist allerdings ein wesentliches Ziel im Weitverkehr, die spektrale Effizienz zu erhöhen, noch nicht erreicht. DWDM-Netze sind heute vornehmlich mit einem 50-GHz-Kanalraster realisiert. Mit entsprechend höherstufigen Modulationsverfahren, z. B. DQPSK, wird heute bereits ein 40-Gbit/s-Signal im OTU3-Rahmen in einem Kanal übertragen [3]. Mit diesen zugegebenermaßen sehr aufwendigen und entsprechend teuren Transpondern können Übertragungssysteme Distanzen mit mehr als 100 km überbrücken. Ein namhafter großer Netzbetreiber stattet seit geraumer Zeit sein Weitverkehrsnetz mit dieser Technik aus. Mit 100 Gbit/s im Blickfeld werden zwei Ziele angepeilt: Zum einen soll die technische Weiterentwicklung Übertragungssystemen deutlich kostengünstigere Transponder bringen, die später durch höhere Modulationsverfahren eine serielle Übertragung in einem Übertragungskanal ermöglichen. Erst dann erzielt man eine höhere spektrale Effizienz. Die „CFP MSA“ beschreibt ausdrücklich auch 40-Gigabit-Ethernet als Schnittstelle, die im IEEE-Standard 802.3ba ebenso mit beschrieben ist, Bild 1. Zum anderen benötigt man auch deutlich günstigere Transponder für die 40-Gbit/s-Ebene, denn diese Technik wird keineswegs von 100-Gigabit-Ethernet abgelöst. Der Spagat von immer kleineren optischen Transpondern, die dennoch große Reichweiten für den Weitverkehr mit einer hohen spektralen Effizienz bewältigen sollen, ist noch nicht gelöst und wird die Technologen noch einige Zeit beschäftigen.

Test Anforderungen bei CFP-Modulen für 100 Gbit/s

Die Einführung von 100-Gigabit-Ethernet benötigt mehr den je eine entsprechend angepasste Messtechnik, um die etappenweise Einführung zu begleiten.

Komponenten- und Systemhersteller benötigen die Messtechnik bei 100 Gbit/s als erstes. Für das Testen der CFP-Module, die in den Übertragungssystemen verwendet werden, muss ein 100-Gigabit-Ethernet-Signal mit zehn parallelen elektrischen Verbindungen, die als 20 virtuelle Kanäle codiert sind, erzeugt werden. Vom MAC-Layer kommend, besteht keine feste Zuordnung des Ethernet-Signals zu den virtuellen Kanälen.

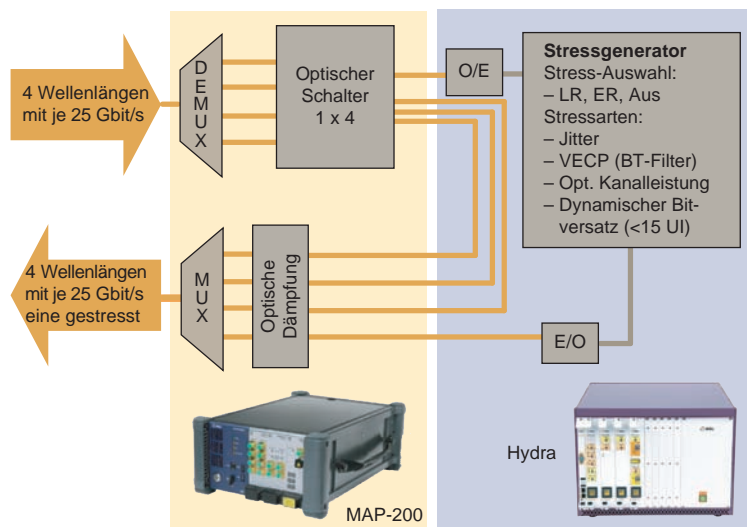
Gemäß der Spezifikation können die virtuellen Kanäle auf der Sendeseite beliebig am Eingang des Multiplexers verschoben werden. Die Sortierung läuft nach dem so genannten „Round Robin“-Prinzip. Der Empfänger muss sich darauf automatisch synchronisieren. Beim Test muss jede beliebige Konstellation einstellbar sein. Bild 4 zeigt die Einstellmöglichkeiten auf der Sendeseite.

Der Analysator verifiziert an den optischen Schnittstellen des CFP die Multiplex-Funktion und testet entsprechend auf Bitfehlerhäufigkeit des Client-Signals. Der Wert von BER = 10⁻¹² muss eingehalten werden, was nur durch die Nutzung einer Vorwärtsfehlerkorrektur (FEC, Forward Error Correction) möglich ist. Durch das Einblenden von Bitfehlern im PCS-Layer kann dies geprüft werden. Selbstverständlich muss der Analysator über die Management-Schnittstelle MDIO die optischen Parameter des eigenen CFP zur Verfügung stellen, da die Information über die genaue Wellenlänge und die optischen Ausgangspegel bekannt sein sollten. Ganz wichtig bei IEEE-konformen CFP ist das Testen des Bitversatzes („Skewing“) bei jedem einzelnen optischen Übertragungskanal und die fehlerfreie Akzeptanz auf der Empfängerseite. Das ist statisch durch die Eingabe der Anzahl von zu verschiebenden Bits in den einzelnen physikalischen Kanälen möglich; nach IEEE-Empfehlung 802.3ba wird zusätzlich ein dynamisches Skewing beschrieben, das eine externe Taktversorgung erfordert.

Alle diese Tests, erstmals bei 100-Gigabit-Ethernet wegen der Parallelübertragung notwendig, sind ein elementarer Bestandteil bei der Prüfung der Funktion von CFP-Modulen. JDSU hat die Normkonformität mit einem der ersten kommerziell verfügbaren CFP eines namhaften Herstellers Ende 2009 nachgewiesen.

„Stressed Receiver Sensitivity“ bei Transpondern

Für SDH und OTN ist in der ITU-T-Empfehlung O.172 die Standardisierung für Jittermessungen zu finden. Diese kann für die paketorientierte Ethernet-Übertragung aber nicht ohne Schwierigkeiten übernommen werden. Daher hat das IEEE in dem Standard 802.3ae (Kapitel 52) einen „Stressed Receiver Conformance Test“ beschrieben: Ein Referenzsignal wird sowohl in Amplitude als auch Frequenz mit unterschiedlichen Parametern mit dem Ziel verändert, die Übertragungseigenschaften über eine Glasfaserstrecke möglichst realistisch zu simulieren. Gemessen wird die Bitfehlerrate in Abhängigkeit dieser Parameter. Zusätzlich könnte mit einem schnellen Digital-Oszilloskop das Augendiagramm analysiert werden. Das Testsystem Hydra von JDSU wird seit Jahren für „Stressed Receiver Sensitivity“ bei 10 Gbit/s-SFP-Modulen zum Charakterisieren von Transpondern benutzt. Bild 5 zeigt eine Lösung für 100-Gigabit-Ethernet im Multi-Lane-Konzept. Optische Module in der Messplattform MAP-200 übernehmen das Demultiplexen und Multiplexen und die Auswahl der zu beeinflussenden parallelen Wellenlänge. Im Testsystem Hydra wird nun im Durchgangsmodus das Signal einer Wellenlänge entsprechend den Forderungen bei „SRS-Testing“ beeinflusst. Der Netztester ONT-503 wird dem CFP-Modul über die CAUI-Schnittstelle ein 100-Gbit/s-Signal zuführen und am zurückgeführten Signal die Bitfehler bestimmen.

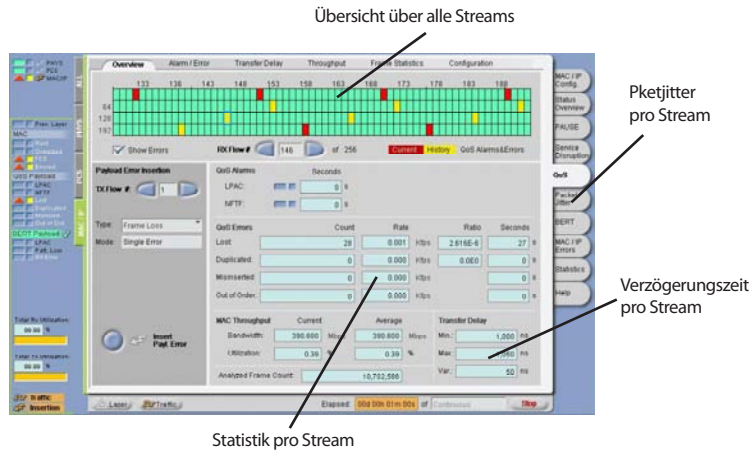


„Stressed Eye Testing“ bei vier Wellenlängen mit jeweils 25 Gbit/s

Obwohl für die „Stressed Receiver Sensitivity“-Messung beim IEEE noch keine endgültige Standardisierung vorliegt, hat JDSU bereits mit einem ersten Ansatz zum Testen eine Lösung vorgestellt.

Line Cards und Zusammenspiel im Übertragungssystem

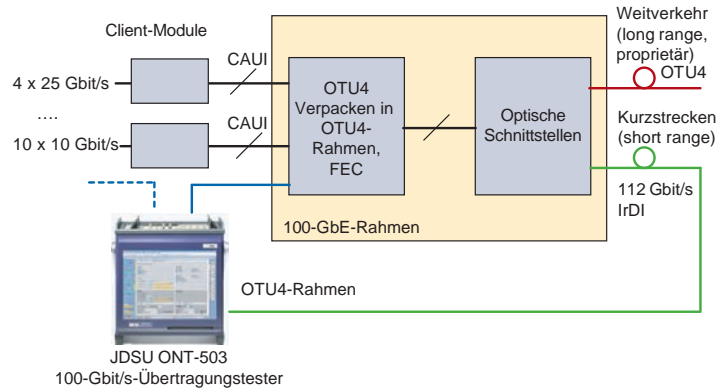
Der vollständige Test von Netzelementen für 100-Gigabit-Ethernet schließt mit dem beschriebenen Transpondertests auch die Validierung des PCS-Layers und einen möglichst umfangreichen Ethernet-IP-Protokolltest ein. Heute müssen dafür noch vier (bei 40-Gigabit-Ethernet) bzw. zehn (bei 100-Gigabit-Ethernet) parallele Schnittstellen adaptiert und im MAC/IP-Layer analysiert werden. Die Konfigurationsmöglichkeiten und deren Auswertung unterscheiden sich nicht prinzipiell von der Analyse bei 10-Gigabit-Ethernet. So sollten z. B. 256 unabhängige „Streams“ mit unterschiedlichen Verkehrsprofilen erzeugt und analysiert werden können. VLAN-Tagging, „MAC in MAC“ und GMPLS-Analyse sind ebenso notwendig wie eine statistische Auswertungen über Rahmenverluste (Frame Loss), Verzögerungszeiten (Latency), Paket-Jitter und Dienstunterbrechungen (Service Disruption), Bild 6. Eine umfangreiche QoS-Analyse (Quality of Service) auch mit speziellen Testrahmen und eine entsprechende Bandbreiten-Auswertung (Bandwidth Utilization) sind z. B. grundlegende Tests.



Vollständige Ethernet-Testtiefe mit dem Tester ONT-503

Der nächste Schritt, die Einbindung des Ethernet-Signals in den OTN-Rahmen OTU4 für die Übertragung in Metro- und Weitverkehrsnetzen, Bild 4, nutzt zuerst auch vier parallele Übertragungswege. Die Nomenklatur für so aufgearbeitete Signale entspricht OTLk.n (Optical Channel Transport Lane), wobei k für die Hierarchiestufe und l für die Anzahl der Wellenlängen an der optischen Schnittstelle steht. Für OTU4 mit der Bitrate 112 Gbit/s und vier Wellenlängen würde die physikalische Schnittstelle dann OTL4.4 lauten, für OTU3 mit 43 Gbit/s entsprechend OTL3.4. Bild 7 zeigt die Varianten, die entsprechend getestet werden.

Wie auch in niedrigen Hierarchien, so ist im OTN-Layer die Wrapper- bzw. De-Wrapper-Funktion ein wichtiger Test. Geprüft wird, ob das Client-Signal richtig in den OTN-Rahmen gepappt und die Bits für die Vorwärtsfehlerkorrektur erzeugt wurden und das Ausgangssignal konform mit der ITU-T-Empfehlung G.709 ist und umgekehrt.



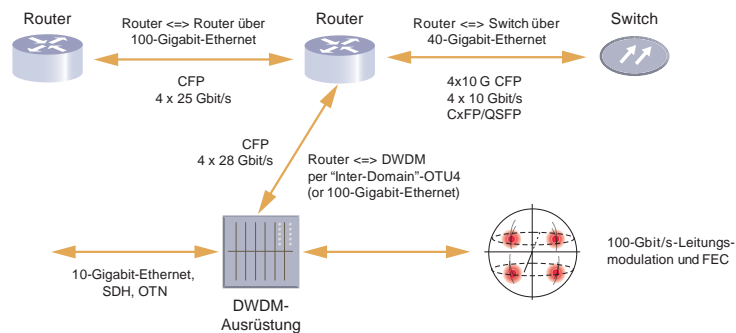
100-Gigabit-Ethernet- und OTN-Interworking-Test

Deutlich komplexer wird der Testaufwand, wenn in einem der nächsten Schritte das Client-Signal nicht mehr ausschließlich ein Ethernet-Signal ist. Durch die aktuelle Standardisierung bei der ITU-T ist auch das ODU-Multiplexing aus niedrigeren Hierarchien, z. B. aus OTU3, möglich. Im OTN-Layer muss der Tester somit alle Veränderungen bei G.709 mit abbilden. Extrembeispiel ist die Konzentration von 80 verschiedenen ODU0-Rahmen mit jeweils einem Gigabit-Ethernet-Signal als Nutzlast in einem OTU4-Rahmen [4]. Bild 8 zeigt die Testvarianten und Schnittstellen in einer Netzlandschaft.

Das Multi-Lane-Konzept im Metro- und Weitverkehrsnetz

Bisher konnte in einem DWDM-System mit jeder Wellenlänge im festgelegten Kanalaraster ein Übertragungskanal übertragen werden. Ein 40-Gbit/s-Signal kann nur unter Verwendung höherstufiger optischer Modulationsverfahren in das heute übliche 50-GHz-Kanalaraster übertragen werden [4]. Das wird bei der 100-Gbit/s-Technik nicht anders sein, es werden eher noch komplexere Modulationsverfahren, z. B. das Polarisationsmultiplex, verwendet. Neu ist allerdings, dass im ersten Schritt der Implementierung von 100-Gigabit-Ethernet für Distanzen bis 10 km, also in Metronetzen, vier Wellenlängen benötigt werden.

Das Optical Internetworking Forum (OIF) beschäftigt sich mit der Integration dieses Multi-Wellenlängen-Übertragungssystems in die bestehende Infrastruktur. Da sind Fragen zu klären, wie Kanalgruppen in vorhandenen DWDM-Systemen zu organisieren sind, wie eine Ersatzschaltung funktioniert, wie dieses Multi-Lane-Konzept in ein Netzmanagementsystem zu integrieren ist und vieles mehr. Neben diesen strukturellen Fragen entstehen auch zusätzliche physikalische Hürden bei der Übertragung. Die Polarisationsmodendispersion (PMD) und die chromatische Dispersion (CD) sind Fasereigenschaften, die die Übertragungsbereichweite hochbitratiger Signale empfindlich begrenzen können.



Interworking-Tests at 100-Gigabit-Ethernet and OTN-Layer

Die statische chromatische Dispersion wird bereits für herkömmliche Systeme kompensiert und wirft bei der Einführung von Multi-Lane-Systemen eher die Frage nach der akzeptablen Toleranz bei der Kompensation über alle Wellenlängen des DWDM-Systems auf. Die PMD hingegen ist veränderlich und abhängig von äußeren Ein-

flüssen wie Temperaturänderungen und mechanischer Belastung der Faser z. B. durch Vibration bei in Erdseilen von Hochspannungsleitungen integrierten Fasern oder Kabeln über Brücken und in U-Bahn-Schächten. Da die PMD nicht nur über der Zeit, sondern auch bei verschiedenen Wellenlängen unterschiedlich variiert, muss ihr bei Multi-Lane-Systemen besonderes Augenmerk zukommen.

Mit dem heute üblichen Messverfahren zur Fasercharakterisierung nach der Installation des Kabels wird der Mittelwert der PMD über der Wellenlänge bestimmt. Der maximale Grenzwert der Dispersion errechnet sich bei Einkanalssystemen aus der Degradation der Dienstgüte (QoS) von 1 dB und beträgt z. B. bei 10-Gbit/s-Systemen 10 ps. Für Multi-Lane-Systeme müssen zusätzliche Kriterien gefunden werden. Die Verwendung kohärenter optischer Empfänger mit anschließender digitaler Signalverarbeitung entschärft das Thema Dispersion deutlich. Fraglich ist, ob diese noch teure Technik bereits in Multi-Lane-Konzepten verwendet wird oder dies der späteren seriellen Übertragung von OTU4 mit nur einer Wellenlänge vorbehalten sein wird.

100-Gigabit-Ethernet hat noch einen weiten Weg vor sich

Anders als bei allen anderen Generationsschritten vorher wird die 100-Gbit/s-Technik erstmals für kurze Übertragungstrecken realisiert und die erste Anwendung in Rechenzentren bei der Vernetzung leistungsfähiger Computer finden. Die definierten Schnittstellen für 10 km und 40 km Reichweite zielen zunächst auf die Nutzung im Metronetz. Aber ob im Rechenzentrum oder im Metronetz: Erst einmal wird 100 Gbit/s mit paralleler Übertragung eingeführt, und dazu ist ein tragfähiges Konzept für die Integration eines Multi-Lane-Systems in bestehende optische DWDM-Netze notwendig. Erst in der nächsten Generation wird 100 Gbit/s als serielle Übertragung möglich sein – doch dazu sind noch viele Entwicklungsschritte nötig, um die gesteckten Ziele zu erreichen: Die kostengünstige Umsetzung höherstufiger optischer Modulationsverfahren einschließlich dem Polarisationsmultiplexverfahren und die Realisierung schneller Signalprozessoren, um den Weg für die kohärenten Empfänger zu ebnen.



Optischer Netztester ONT-503 unterstützt auch 100-Gigabit-Ethernet

Für all diese Schritte wird eine Messtechnik notwendig sein, die diese Entwicklung begleitet und Erkenntnisse für die später benötigte Betriebsmesstechnik gewinnt. Der Tester ONT-503 als Grundgerät stellt mit verschiedenen Modulen nahezu alle Schnittstellen für die SDH- und OTN-Hierarchie von STM-1 bis OTU4 und nun auch 10-Gigabit-Ethernet und 100-Gigabit-Ethernet zur Verfügung, Bild 9. JDSU unterstützt die zukünftigen Techniken in der Telekommunikation auf allen Ebenen, sowohl mit der Entwicklung optischer Komponenten für die Systeme von morgen als auch auf der Messtechnikseite, um die Übertragungstechnik entsprechend zu testen und deren Integration in bestehende Netze zu ermöglichen.

Abkürzungen	
ASIC	Application Specific Integrated Circuit
BER	Bit Error Rate
CAUI	100 Gigabit Attachment Unit Interface
CD	Chromatische Dispersion
CFP	100 Gigabit Small Form Factor Pluggable
CGMII	100 Gigabit Media Independent Interface
DFB	Distributed Feedback (Laser)
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
DQPSK	Differential Quaternary Phase Shift Keying
ER	Extended Range
FEC	Forward Error Correction
GbE	Gigabit Ethernet
GFP	Generic Frame Procedure
GMPLS	Generalized Multi Protocol Label Switching
HSSG	Higher Speed Study Group des IEEE
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IrDI	Inter Domain Interface
ITU-T	I International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector
LAN	Local Area Network
LR	Long Range
MAC	Medium Access Control
MDI	Media Dependent Interface
MDIO	Management Data Input/Output
MII	Media Independent Interface
MLD	Multi Lane Distribution
MSA	Multi-Source Agreement
ODU	Optical Data Unit
OIF	Optical Internetworking Forum
OM3	Optical Multimode Stufe 3
OPU	Optical Payload Unit
OTL	Optical Channel Transport Lane
OTN	Optical Transport Network
OTU	Optical Transport Unit
PCS	Physical Coding Sublayer
PMD	Physical Medium Device
PMD	Polarisationsmodendispersion
PMA	Physical Medium Attachment
PLL	Physical and Link Layer
QoS	Quality of Service
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SFP	Small Form-Factor Pluggable
SG	Study Group
STM	Synchronous Transport Module

Abkürzungen	
TK	Telekommunikation
VC	Virtual Container
VCAT	Virtual Concatination
VLAN	Virtual Local Area Network
XFP	10 Gigabit Small Form Factor Pluggable

Quellennachweis

- [1] CFP MSA Management Interface Specification. www.cfp-msa.org/Documents/CFP_MSA_Management_Interface_Specification_Draft_1_2_Public_B.pdf
- [2] Winterling, P.: OTN als Transportmedium der Zukunft und Anforderungen an die Messtechnik. Fachzeitschrift für Informations- und Kommunikationstechnik 62 (2009) H. 6, S. 28 – 32
- [3] Seimetz, M.: Höherwertige Modulationsverfahren in der optischen Glasfaserübertragungstechnik. Teil 1 und Teil 2. Fachzeitschrift für Informations- und Kommunikationstechnik 62 (2009) H. 6, S. 34 – 36 und H. 7-8, S. 20 – 23
- [4] Van den Borne, D. u. a.: Polmux-QPSK modulation and coherent detection: the challenge of long-haul 100G transmission. Proc. ECOC 2009. Berlin · Offenbach: VDE VERLAG, 2009
- [5] Gavioli, G. u. a.: 100Gb/s WDM NRZ-PMQPSK Long-Haul Transmission Experiment over Installed Fiber Probing Non-Linear Reach With and Without DCUs. Proc. ECOC 2009. Berlin · Offenbach: VDE VERLAG, 2009
- [6] Brooks, P.: Meeting the test challenges of 100-Gigabit Ethernet. Lightwave 26 (2009) H. 12, S. 29 – 31, 35 und 39
- [7] ITU-T Document G.Sup43: Transport of IEEE 10GBase-R in optical transport networks (OTN)
- [8] Ziemann, O.: Wann kommt Terabit-Ethernet – oder die mathematische Spielerei der Extrapolation. Fachzeitschrift für Informations- und Kommunikationstechnik 62 (2009) H. 5, S. 26 – 27
- [9] Kiefer, R.; Winterling, P.: DWDM, SDH & Co. Technik und Troubleshooting in optischen Netzen. 2., neubearb. u. erw. Aufl., 2002, Bonn: VMI Industriebuch

Test & Measurement Regional Sales

NORTH AMERICA TEL: 1 866 228 3762 FAX: +1 301 353 9216	LATIN AMERICA TEL: +1 954 688 5660 FAX: +1 954 345 4668	ASIA PACIFIC TEL: +852 2892 0990 FAX: +852 2892 0770	EMEA TEL: +49 7121 86 2222 FAX: +49 7121 86 1222	WEBSITE: www.jdsu.com/test
---	--	---	---	--