

# Testen von 100G-Netzen und -Diensten

**Tests zur Aktivierung von Diensten  
sind die beste Garantie für eine hohe  
Übertragungsqualität**

Aufgrund der zunehmenden Bandbreitenkapazität basieren die meisten Netzwerk-Backbones heute auf Verbindungen mit einer Datenrate von 100 Gbit/s (100G). In Abhängigkeit von den Kostenanforderungen und Übertragungsentfernungen stehen immer häufiger auch höhere Datenraten von 200 und sogar 400 Gbit/s zur Verfügung. Wenn es jedoch um die High-Speed-Kundenanbindung geht, wird 100-Gigabit-Ethernet (100GE) bereits so umfassend genutzt, dass es als „neue 10GE“ bezeichnet wird. Aktuell ist 100GE vor allem in Kernnetzen verbreitet, obwohl es in Bezug auf die Nutzung durch klassische Geschäftskunden immer noch in den Anfängen steckt. In nächster Zeit wird sich das Wachstum von 100GE auf die Datenübertragung konzentrieren. Hierbei stehen sowohl Verbindungen innerhalb von Rechenzentren als auch die Anbindung an Weitverkehrsnetze (WAN) im Mittelpunkt der Aufmerksamkeit. Dieses Whitepaper erläutert die Grundlagen der Architektur von 100GE-Transportnetzen, beschreibt die Zubringerschnittstellen und schildert Testanwendungen zur Aktivierung von Diensten.

## Netzwerk-Topologie

Die beiden Hauptkategorien von Schnittstellen werden für gewöhnlich nach der Kundenseite und der Leitungsseite unterschieden. Allgemein bezieht sich die Leitungsseite auf Schnittstellen, die dazu genutzt werden, Daten über größere Entfernungen von einigen Hundert bis zu mehreren Tausend Kilometern zu übertragen. Hierfür kommt zumeist das Wellenlängenmultiplex-Verfahren (WDM) zum Einsatz. Bei 100G werden dafür modernste Modulationsverfahren benötigt, die relativ komplex und anbieterspezifisch sind. Demgegenüber konzentrieren sich die Zubringerschnittstellen auf die Verbindungsflexibilität (Interkonnektivität) und sind anbieterunabhängig, d. h. zueinander kompatibel. Ethernet-Schnittstellen bis 10GE unterscheiden sich hauptsächlich durch die Reichweite und die Wellenlänge ihrer Signale. Bei 100G nutzen diese Zubringerschnittstellen jedoch vorrangig 4 Multiplex-Wellenlängen und werden daher nach anderen Kriterien definiert.

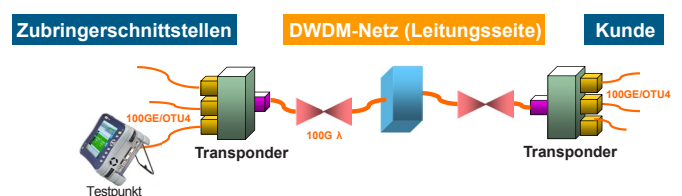


Abbildung 1: Transponder-Konfiguration

Für 100G in Transportnetzen werden Transponder- und Muxponder-Konfigurationen als Topologie eingesetzt. Abbildung 1 zeigt die Transponder-Konfiguration, bei der die Transport-Hardware in der Zubringerschnittstelle 100GE und im DWDM-Kern 100G pro Wellenlänge verwendet. In diesem Fall wird eine 100GE-Verbindung (Link), die mehrere Ethernet/IP-Verbindungen überträgt, mit Hilfe von WDM durch das Netzwerk transportiert. Im Unterschied dazu werden bei der Muxponder-Konfiguration mehrere Links geringerer Datenrate, zumeist mehrere 10G-Links an 10GE-Schnittstellen, an ein Kern-Backbone angeschlossen, wo sie über WDM durch Aggregation zu 100G-Wellenlängen zusammengefasst werden. Der Kundenverkehr durchläuft eine Multiplex-Stufe, um von der größeren Effizienz zu profitieren, die diese höherbitratigen Links im Kernnetz zur Verfügung stellen. Für Tests zur Aktivierung derartiger Muxponder-basierter Links muss der Verkehr von einer oder mehrerer 10GE-Quellen im Netzwerk und nicht von einer 100GE-Quelle wie bei der Transponder-Konfiguration generiert und analysiert werden. Abbildung 2 erläutert die Verbindungen in einer Muxponder-Konfiguration.

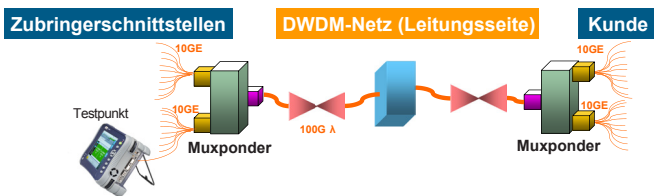


Abbildung 2: Muxponder-Konfiguration

## Schnittstellen

Obwohl 100G-Leitungsschnittstellen anbieterspezifisch sind, verwenden Langstrecken-Übertragungssysteme bei 100G für gewöhnlich das gleiche Modulationsformat auf Grundlage der Quadratur-Phasenumtastung mit Polarisations-Multiplex (PM-QPSK), das auch als QPSK mit doppelter Polarisation (DP-QPSK) bezeichnet wird. Dieses Modulationsverfahren wird in Verbindung mit der kohärenten Erkennung durch den Empfänger am fernen Ende verwendet. Das bedeutet, dass der Empfänger mit einem Laser mit Lokaloszillator (LO) mit Frequenzregelschleife (FLL) ausgestattet sein muss, und die Phase und Amplitude des Signals durch digitale Signalverarbeitung zurückgewonnen werden.

Diese kohärenten Empfänger bieten unter anderem den Vorteil, dass sie die Dispersion in der Glasfaser elektronisch kompensieren können. Das erhöht die Robustheit der übertragenen Signale gegen die chromatische Dispersion (CD) und die Polarisationsmodendispersion (PMD). Für Metro-Netze kommen auch preiswertere Modulationsverfahren zum Einsatz. Abbildung 3 stellt die DP-QPSK-Modulation schematisch dar. Der Sender generiert zwei voneinander unabhängige optische QPSK-Signale mit jeweils vier verschiedenen optischen Phasen, die zu zwei orthogonalen Polarisationszuständen kombiniert werden. Dadurch entsteht ein Signal, dessen Baudrate ein Viertel der Bitrate beträgt.

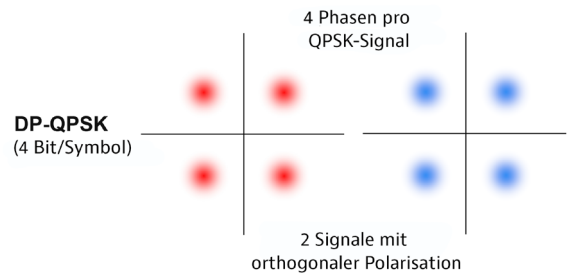


Abbildung 3: Signal beim DP-QPSK-Modulationsverfahren

Zubringerschnittstellen sind anbieterneutral und ermöglichen die Anbindung an das Netzwerk. An diesem Punkt kann der Test-Verkehr eingefügt werden, um Dienste zu aktivieren und eine Fehlerdiagnose durchzuführen. Bei 100GE-Transportnetzen wird am häufigsten die Schnittstelle 100GBase-LR4 eingesetzt, die mit vier Multiplex-Wellenlängen eine maximale Entfernung von 10 km überbrücken kann. Jede Wellenlänge mit einem Abstand von 4,5 nm in Nähe von 1310 nm überträgt eine Bandbreite von etwa 25 Gbit/s, damit insgesamt 103,125 Gbit/s zur Verfügung gestellt werden können.

Die LR4 ist eindeutig die am weitesten verbreitete Schnittstelle für Telekommunikationsanwendungen und wird dies auch bleiben. Die für LR4 benötigte Optik steht aktuell in den Formfaktoren CFP2 und CFP4 und demnächst als QSFP28 zur Verfügung. Letztere stellt eine Weiterentwicklung der ersten Generation und eine größere CFP-Ausführung dar. Die Kundenschnittstelle mit der längsten Reichweite, nämlich bis zu 40 km, ist die 100GBase-ER4. Aufgrund von Kostenerwägungen gibt es auch Varianten, die häufig als ER4-Lite bezeichnet werden und 20 bis 25 km überbrücken. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die wichtigsten 100GE-Schnittstellen gemäß IEEE und MSA (Multi-Source Agreement) sortiert nach der Reichweite.

Tabelle 1: 100GE-Schnittstellen

Schnittstelle	Reichweite	Medium	Parallelität	Standard
100GBASE-ER4	40 km	SMF	4 λ/Richtung	802.3ba
ER4-Lite	20–25 km	SMF	4 λ/Richtung	Variante von 802.3ba
100GBASE-LR4	10 km	SMF	4 λ/Richtung	802.3ba
CWDM4	2 km	SMF	4 λ/Richtung	CWDM4 MSA
CLR4	2 km	SMF	4 λ/Richtung	CLR4 Alliance
PSM4	500 m	SMF	4 Fasern/Richtung	PSM4 MSA
SWDM4	~100 m	MMF	4 λ/Richtung	SWDM Alliance
100GBASE-SR4	70 m 100 m	OM3 MMF OM4 MMF	4 Fasern/Richtung	802.3bm
100GBASE-SR10	100 m 125 m	OM3 MMF OM4 MMF	10 Fasern/Richtung	802.3ba

Der aktuell wichtigste Trend besteht darin, 100GE-Verbindungen an die Anforderungen von Rechenzentren anzupassen. Teilweise aus Kostengründen gilt 40GE an QSFP+ bisher als die gängigste höherbitratige Schnittstelle für Rechenzentren. Jetzt geht es darum, 100GE weiterzuentwickeln, um mehr Auswahl bei den Kundenschnittstellen zu erhalten. Da die Kosten für Kundenschnittstellen jedoch von der benötigten Reichweite abhängen, werden für Rechenzentren unterschiedliche Schnittstellen angeboten, die aber hauptsächlich auf der QSFP28-Optik basieren. Um die Lücke zwischen der von 100GBase-SR10 bereitgestellten Reichweite von 100 Metern und den 10 km der 100GBase-LR4 zu schließen, wurden vor allem von Industrie-Allianzen mehrere Zwischenreichweiten entwickelt. Diese Schnittstellen tragen die Bezeichnung CWD4 und CLR4 bei 2 km, PSM4 bei 500 m und IEEE 100GBase-SR4 bei etwa 100 m. Die 100GBase-SR4-Schnittstelle ist dabei, die 100GBase-SR10 zu ersetzen, da sie auf der gleichen Technologie mit 25 Gbit/s pro Lane basiert, die von allen anderen Schnittstellentypen genutzt wird. Aus Sicht der Testdurchführung muss unbedingt geprüft werden, ob die Messtechnik die verschiedenen Schnittstellentypen unterstützt.

## Tests auf der Leitungsseite

Bei Tests auf der Leitungsseite geht es darum, die Parameter des optischen Signals und des Übertragungsmediums, also der Glasfaser, zu analysieren. Bei höheren Datenraten, wie 100G, ist bei Dispersionsmessungen mit einer höheren Empfindlichkeit zu rechnen. Bei der chromatischen Dispersion (CD) erhöht sich die Empfindlichkeit proportional zum Quadrat der Leitungsrate, während sich die Polarisationsmodendispersion (PMD) linear mit der Leitungsrate vergrößert. Da 100G-Systeme jedoch eine kohärente Erkennung in Verbindung mit einer sehr schnellen elektronischen Signalverarbeitung am Empfänger nutzen, werden die durch CD und PMD verursachten Signalverzerrungen recht gut kompensiert. Das bedeutet, dass die Toleranz dieser Signale gegenüber CD und PMD größer ist als bei konventionell erkannten 10G- oder 40G-Signalen. Allerdings bleiben die Charakterisierung und Dokumentation der Dispersion in der Glasfaserinfrastruktur bei allen Systemen unverzichtbar. Das gilt umso mehr in WDM-Systemen mit gemischten Datenraten, wo 10G- und 40G-Signale mit 100G-Signalen über die gleiche Faser gemultiplext werden.

Bei der Inbetriebnahme von 100G-Links auf der Leitungsseite ist der optische Signal-Rausch-Abstand (OSNR) des Signals entlang der Faserstrecke und insbesondere an deren Ende ein wichtiger Parameter. Um den sicheren Betrieb des Netzwerks mit einer kleinstmöglichen Fehlerrate zu gewährleisten, muss der OSNR eines 100G-Signals unbedingt innerhalb der Toleranzgrenzen liegen. Die klassische Methode zur Ermittlung des OSNR besteht darin, die Signalleistung mit dem extrapolierten Rauschpegel zu vergleichen, der im gleichen WDM-Kanal gemessen wurde. Da aber die 100G-Hochgeschwindigkeitsmodulation das Signal über die 50-GHz-Breite der einzelnen WDM-Kanäle hinaus verbreitert, ist es nicht möglich, den Rauschwert zu messen und zu extrapolieren.

Zudem kann die Polarisationsnullung als das andere wichtige OSNR-Betriebsmessverfahren (In-Service-Messung) nur bei Signalen mit Einfach-Polarisation angewendet werden, die bei 100G aber nicht eingesetzt werden. Durch die DP-QPSK-Modulation, die die beiden

Polarisationszustände trennt, um das Signal zu extrahieren, wird das Messgerät daran gehindert, einen exakten Rauschwert zur Ermittlung des OSNR zu messen. Zurzeit kann der OSNR also nur bestimmt werden, indem man die Rauschwerte einem Nachbarkanal entnimmt, was zu Ungenauigkeiten führt, oder indem man ihn im Rahmen einer Außerbetriebmessung (Out-Of-Service) ermittelt. Es laufen jedoch Forschungsarbeiten, um eine effektive OSNR-Imband-Messung für DP-QPSK-Signale zu ermitteln.

## Netzwerk-Tests mit Verkehr

Aktivierungstests der 100GE-Kundenschnittstelle umfassen mindestens die Generierung und Analyse des Verkehrs bei gleichzeitiger Überwachung von Alarmen und Fehlern. Für Netzwerk-Tests wird zumeist eine Testfolge gestartet, die die Ausführung vereinfacht und automatisiert. Die Standards IETF RFC 2544 und ITU-T Y.1564 definieren die am weitesten verbreiteten Testfolgen zur Aktivierung von Verkehrsdiensten. Diese Testfolgen werden häufig mit einer logischen Schleife am fernen Ende des Netzwerks ausgeführt, obwohl es auch möglich ist, mit Testern an beiden Enden zwei unidirektionale Tests zu starten. Die Schleife am fernen Ende kann bei reinen Layer-1-Übertragungsnetzen in Form eines Patchkabels ausgeführt sein. Wenn Funktionen auf Layer 2 oder 3, wie Ethernet-basiertes Switching oder Routing, vorliegen, muss die Schleife am fernen Ende eine logische Funktion sein, bei der die Quell- und Zieladresse der Layer 2 und/oder Layer 3 vertauscht werden, um Routing-Schleifen zu verhindern.

Die Entscheidung für RFC 2544 oder Y.1564 hängt von der Art des Aktivierungstests sowie von den Verfahren ab, die das Inbetriebnahme-Team bereits eingerichtet hat. RFC 2544 ist eine etablierte Methode, um unter anderem den Durchsatz, die Latenz, die Rahmenfehlerrate und die Burstfähigkeit zu überprüfen. Sie wird allgemein akzeptiert und erwartet, obgleich über die Empfehlung hinaus noch eine Jittermessung ausgeführt wird. Die Hauptaufgabe von RFC 2544 besteht darin, die Aktivierung eines neuen Links oder eines einzelnen Dienstes zu unterstützen. Die Dauer der RFC 2544-Testfolge ist von der spezifischen Implementierung abhängig. Optimierungen sind möglich, um die Geschwindigkeit und Effizienz des Tests zu erhöhen. VIAVI Solutions® hat seine erweiterte RFC 2544-Testfolge optimiert, um die Gesamtdauer zu verkürzen.

ITU-T Y.1564 dagegen legt den Schwerpunkt auf die Aktivierung von Diensten für Verbindungen, die sich durch verschiedene Dienstklassen (CoS) unterscheiden oder mehrere Dienste gleichzeitig übertragen. Eine automatische Y.1564-Testfolge simuliert Verbindungen in Form von Verkehrsströmen mit Netzwerkadressen, Prioritätsstufen und Bandbreitenparametern. Dabei konzentriert sich das Verfahren auf die drei kritischen Leistungsparameter (KPI) Rahmenfehlerrate (FLR), Rahmenlaufzeit (FD) oder Latenz und Rahmenlaufzeit-Schwankung (FDV) oder Paket-Jitter. Die Leistungstests nach Y.1564 sind gut geeignet, um Dienstgütereinbarungen (SLA) zu kontrollieren, da jeder einzelne Verkehrsstrom mit seinem Bandbreitenprofil verglichen wird. Diese Profile umfassen immer die garantierte Datenrate (CIR) mit der Möglichkeit der Durchführung erweiterter Tests der erhöhten Datenrate (EIR) und der garantierten Burst-Größe (CBS). Die von VIAVI zur Verfügung gestellte Y.1564-Testfolge wird als SAMComplete bezeichnet. Tabelle 2 vergleicht die grundlegenden Kennwerte der beiden Verfahren RFC 2544 und Y.1564.

Tabelle 2: Testfolgen nach RFC 2544 und Y1564

	RFC 2544	Y1564
100GE-Hauptanwendung	Einrichtung neuer Backbone-Links oder einzelner Ende-zu-Ende-Verbindungen	Einrichtung von Ethernet-Verbindungen oder -Diensten im Kernnetz
Gemessene/Validierte Parameter	Durchsatz Latenz Rahmenverlustrate (FLR) Burstfähigkeit (Extra: CBS) Extra: Paket-Jitter	FLR Latenz: FD Paket-Jitter: FDV CIR EIR Traffic-Policing CBS
Schwerpunkt	Testen eines einzelnen Verkehrsstroms (Adressen-paar), Ermittlung der maximalen Leistung	Testen eines oder mehrerer Dienste, Validierung der Rahmenübertragungsleistung, auch gegen SLA-Parameter

Bei Tests nach RFC 2544 und Y1564 ist es auch wichtig, die Genauigkeit und Auflösung der Latenzmessungen zu beachten. Die Genauigkeit gibt an, wie nahe das Messergebnis an den tatsächlichen Wert herankommt, während die Auflösung die Größenordnung des Ergebnisses definiert, beispielsweise eine Auflösung von 100 ns bzw. 0,01 µs. Um die Faserlänge exakt in Beziehung zur Latenz zu setzen, sind sowohl eine hohe Auflösung als auch eine große Genauigkeit erforderlich. Diese Korrelation ist vor allem dann wichtig, wenn Endkunden betroffen sind, die im Finanzsektor im Hochfrequenzhandel (HFH) und in ähnlichen Anwendungen tätig sind oder zeitkritische Mobilfunkdienste nutzen. Bei 103,125 Gbit/s, also der tatsächlichen 100GE-Datenrate, dauert es 100 ns, um einen 1289-Byte-Rahmen zusammenzufügen und zu senden. Die aktuellen Technologien erlauben also, die benötigte Latenzgenauigkeit auf Rahmenebene zu gewährleisten.

Die Aktivierung von Diensten wird getestet, um die Dienstgüte (QoS) sicherzustellen. Beim Auftreten von Problemen stellt sich die Frage, welche Maßnahme als nächstes einzuleiten ist. Genau wie bei einer zu langsamen Übertragung bleiben verschmutzte Fasern und Konfigurationsfehler die Hauptursache für Störungen. In Bezug auf die Sauberkeit der Faserstirnflächen erhöht sich bei 100GE die Notwendigkeit, diese vor dem Stecken der Verbindung zu prüfen, da die Leistungstoleranzen der Signale noch enger sind. Da die optischen Steckmodule für 100G aber komplexer geworden sind, besteht ein wichtiger Schritt der Fehlerdiagnose darin, die Leistung dieser Komponenten zu validieren. Aus diesem Grund hat VIAVI mit seinem Optik-Selbsttest eine beispiellose automatische Testfolge entwickelt, um die Leistung der Hochgeschwindigkeitsoptik im Feldeinsatz nachzuprüfen. Das Prinzip besteht darin, die im Netzwerkgerät vorgefundene Optik auf Fehler zu kontrollieren und sicherzustellen, dass die relevanten Leistungsparameter die geforderten Qualitätsvorgaben einhalten. Häufig wird fälschlicherweise angenommen, dass Skew-Tests zur Leistungsbewertung der Optik erforderlich sind. Da optische Steckmodule jedoch keine Daten zwischenspeichern, muss der Skew nur im Rahmen von Labor-Tests an Systemen und Line-Cards überprüft werden. Die wichtigsten Parameter, die zur Bewertung der Feldleistung optischer Steckmodule ermittelt werden sollten, sind die Bitfehlerrate (BER), die Toleranz der Taktschwankung und der optische Leistungspegel.

Für die Aktivierung von Diensten wird als zusätzliches Verfahren ein Transparenz-Test auf Layer 2 empfohlen. In Ethernet-Netzen, in denen Switching-Elemente vorhanden sind, kann dieser Test lange und mühselige Fehlerdiagnosen vermeiden. Ethernet-Switches erzeugen ein relativ kleines Verkehrsvolumen, das für andere Switches bestimmt ist und über die Control Plane (Steuerebene) übertragen wird. Bei der Bereitstellung von Bandbreitendiensten in einem Netzwerk sollten alle Protokolle der Control Plane gemäß MEF 6.1.1. getunnelt, per Peering übertragen oder verworfen werden. Die Control-Plane-Protokolle der Layer 2 sind durch ihren Protokolltyp, der in den Feldern Ethertype und Subtype angegeben ist, bzw. den Logical Link Control (LLC) Code gekennzeichnet. Beispiele für diese Protokolle sind das Spanning Tree Protocol (STP) und das Link Layer Discovery Protocol (LLDP). Eine effektive Methode zur Ausführung dieses Tests besteht darin, die Control-Plane-Protokolle im Netzwerk zu emulieren und gleichzeitig dafür zu sorgen, dass die entsprechenden Rahmen nicht falsch abgefangen oder verändert werden. Ein Transparenz-Test auf Layer 2 ist auch dann zu empfehlen, wenn ein Netzbetreiber Bandbreitendienste zur Verfügung stellt, die ein Drittnetz passieren. VIAVI stellt unter der Bezeichnung J-Proof ein Tool zur Ausführung von Transparenz-Tests auf Layer 2 zur Verfügung.

## Das optische Transportnetz (OTN)

Die Entwicklung von 100G-Netzen fördert die Bereitstellung einer größeren Anzahl von OTN-Ports. Das optische Transportnetz (OTN) wurde vor mehr als einem Jahrzehnt vor allem mit dem Ziel geschaffen, SONET/SDH-Signale über große Entfernungen zu übertragen. Es verwendet für jeden OTN-Rahmen Algorithmen zur Vorwärtsfehler-Korrektur (FEC), die helfen, die Entfernung zwischen den Endknoten zu vergrößern. Der Hauptstandard ITU-T G.709 wurde weiterentwickelt und unterstützt verschiedene Payload-Clients, wie Ethernet, Fibre-Channel und das Common Public Radio Interface (CPRI). Hier wird auch die 100G (technisch 118 Gbit/s) OTU4-Schnittstelle definiert.

Die meisten älteren OTN-Anwendungen, insbesondere digitale Wrapper, in denen ein Kundensignal in OTN „umhüllt“ wird, betreffen Ports auf der Leitungsseite, an denen es aufgrund von Kompatibilitätsproblemen zwischen den Schnittstellen häufig nicht möglich ist, Test-Verkehr zu generieren. Diese Probleme werden vor allem durch anbieterspezifisch erweiterte Modulationsverfahren sowie durch proprietäre FEC-Algorithmen verursacht. Alle OTU4-Client-Ports unterstützen die generische FEC nach G.709 RS(255,239), wie sie in G.709 gefordert ist. Dadurch stehen gemeinsame Schnittstellen zur Verfügung, die als Testzugangspunkte (TAP) verwendet werden können.

Daher besteht die größte Veränderung aus Sicht der Testausführung darin, dass mehr OTN-Ports als Zubringerschnittstellen zur Nutzung durch Geschäftskunden eingerichtet werden. In der Praxis werden also mehr Geräte am Kundenstandort über ein OTN-Link an das Kernnetz des Netzbetreibers angeschlossen. Diese Geräte sind dann mit kundenseitigen Ethernet-Ports für den Geschäftskunden ausgestattet. Diese Situation führt in Verbindung mit OTN-Weiterleitungen zwischen verschiedenen Netzbetreibern dazu, dass völlig neue OTN-Testanforderungen entstehen. VIAVI hat unter der Bezeichnung OTN Check eine Testfolge entwickelt, die den Technikern im Feldeinsatz mit einfach zu nutzenden Funktionen hilft, OTN-Dienste zu aktivieren. Obwohl diese Testfolge der Aktivierung nach RFC 2544 ähnelt, werden zusätzlich die Integrität der OTN-Payload, die Latenz und die Transparenz der Nachrichtenübermittlung geprüft.

## Zusammenfassung

In allen Regionen der Welt werden Netzwerke auf Grundlage der 100G-Technologie installiert. Ein wichtiger Unterschied zwischen 100G im Vergleich zur Übertragung bei 10G und 40G besteht darin, dass auf der Leitungsseite komplexere Modulationsverfahren mit kohärenter Erkennung zum Einsatz kommen. Aufgrund der höheren Datenraten mit den daraus folgenden engeren Toleranzen gehört der optische Signal-Rausch-Abstand (OSNR) zu den kritischen leitungsseitigen Messparametern. Die wichtigste Entwicklung bei 100GE-Zubringerschnittstellen betrifft die Verfügbarkeit von verschiedenen Schnittstellentypen mit unterschiedlichen Reichweiten, insbesondere bei Anwendungen für Rechenzentren. RFC 2544 und Y.1564 bleiben die grundlegenden verkehrsbasierten Testfolgen für 100GE, um den Durchsatz, die Latenz und den Paket-Jitter zu messen. Bedingt durch die höhere Komplexität werden jedoch zusätzliche Fehlerdiagnosen an optischen Steckmodulen sowie Transparenz-Tests auf Layer 2 durchgeführt. Tests an 100G-Netzen spielen aufgrund der stetig wachsenden einsatzkritischen Bandbreiten, die über High-Speed-Transportnetze übertragen werden, eine immer größere Rolle.