

# Optische Leistungsmesser für High-Speed-DWDM-Test

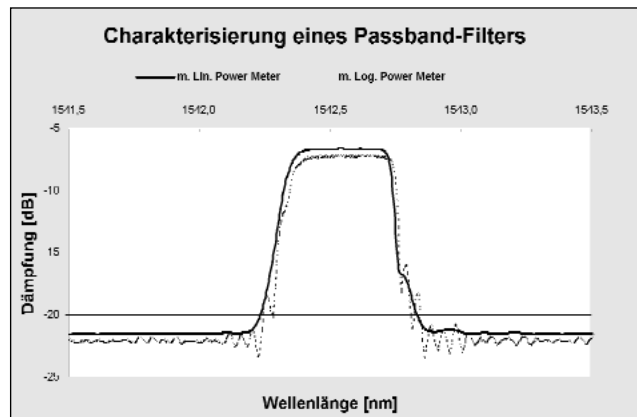
## Schnelle und genaue Charakterisierung von DWDM-Komponenten bis hinab zu einem Kanalraster von 2,5 GHz

**S**timulus-Response-DWDM-Messsysteme bestehen aus wellenlängendurchstimmbaren Laserquellen und optischen Breitband-Messempfängern, den optischen Leistungsmessern. Der Schwerpunkt des Beitrags ist die Bedeutung dieser Leistungsmesser im High-Speed-DWDM-Test. Es werden die wichtigsten Anforderungen an diese Testsysteme vorgestellt und im Detail an ‚best-in-class‘-Prüflingen hergeleitet. Wechselwirkungen und Einschränkungen zwischen Messparametern werden erklärt und Folgerungen für eine optimale System-Leistung genannt. Zur Illustration dieser Betrachtungen werden Ergebnisse aus Benchmark-Tests vorgestellt.

Trotz des derzeitigen Abschwungs in der Telekommunikations-Industrie setzt sich das Wachstum des Datenverkehrsvolumens weiter fort. Netzwerk-Anbieter benötigen zusätzliche Übertragungskapazitäten, und die Designer von Netzwerk-Ausrüstungen sind weiterhin getrieben die Systemgrenzen in Richtung höherer Bitraten und dichterem Kanalabstand zu erweitern.

Die auf dem neuesten Stand der Technik stehenden, kommerziellen DWDM-Übertragungssysteme stellen 80 bis 160 Übertragungskanäle mit 50-GHz Kanalabstand auf einer Glasfaserübertragungsstrecke zur Verfügung. Systeme mit 25- und 12,5 GHz Abstand und entsprechend höherer Kanalzahl befinden sich zur Zeit in der Entwicklung, und jüngste Veröffentlichungen berichten von Experimenten mit bis zu 1000 Übertragungskanälen mit jeweils 2,5 GHz Abstand.

Ein sehr schmaler Kanalabstand führt zu bedeutenden Herausforderungen für die Herstellung und die Qualifizierung von Kompo-



**Abb 1:** Die Wahl zwischen einem logarithmischen oder linearen optischen Power Meter hat einen bedeutenden Einfluss auf die Qualität der Messergebnisse. Bei einer Sweep-Geschwindigkeit von 5 nm/s zeigt das logarithmische Power-Meter starke Oszillationen an den Filterflanken

nenten für solche Übertragungssysteme. Dennoch haben Testsysteme weiterhin das grundsätzliche Ziel der Komponentenhersteller zu erfüllen:

Die ökonomische Herstellung von Netzwerkkomponenten mit großer Durchsatzleistung unter Einhaltung der geforderten Qualität.

Angesichts der wachsenden Kanalzahlen sind Optische Leistungsmesser ein Schlüsselement in diesen Testsystemen, die zur Charakterisierung neuer Produkte und Prototypen dienen.

### Herausforderungen des Swept-Wavelength-Testverfahrens

Für DWDM-Komponenten müssen viele Parameter mit möglichst wenigen Messungen bestimmt werden. Diese Parameter lassen sich in zwei Gruppen einteilen:

- ▶ Dämpfungs-Parameter, wie zum Beispiel die Einfügedämpfung im Durchlassbereich, die Sperrdämpfung und das Übersprechen zwischen Übertragungskanälen
- ▶ Wellenlängen-Parameter, wie zum Beispiel die Kanalbetriebswellenlänge, die Kanalbreite und der Kanalabstand

Weil die Parameter beider Gruppen eng miteinander in Beziehung stehen, können sie durch eine wellenlängenabhängige Dämp-

fungsmessung bestimmt werden. Diese sogenannte Swept-Wavelength-Methode ist das bevorzugte Messverfahren für DWDM-Komponenten, da es sowohl die höchst mögliche Wellenlängenauflösung und -genauigkeit, als auch die höchste Genauigkeit bei der Dämpfungsbestimmung bietet. Dieses Verfahren benötigt eine durchstimmbare Laserlichtquelle als Stimulus und eine der Kanalzahl des Prüflings entsprechende Anzahl von optischen Leistungsmessern zur Aufnahme des Messsignals. Das gleichzeitige, parallele Vermessen aller Ausgänge reduziert in diesem Fall außerordentlich die Messzeit.

Eine kontinuierlich durchstimmbarer Laser streicht mit konstanter Geschwindigkeit über den gewünschten Wellenlängenbereich. In äquidistanten Intervallen triggert die Laserquelle die Leistungsmesser zur synchronen Aufnahme von Messwerten. Ein in der Laserquelle eingebauter, präziser Echtzeit-Wellenlängenmesser nimmt bei jedem Triggerpunkt die Wellenlänge auf. Die gemessenen Wellenlängen- und Leistungswerte bilden das Transmissionsspektrum des Prüflings. Beide, die Dämpfungs- und die Wellenlängen-Parameter lassen sich aus diesem Transmissionsspektrum ableiten.

Grundsätzlich kann das spezifizierte Leistungsverhalten des Prüflings nicht besser als die inhärente Messunsicherheit des Testsystems sein. Aus diesem Grund ist die höchst mögliche Genauigkeit des Testverfahrens anzustreben. Das Ergebnis sind bessere Spezifikationen des Prüflings und eine höhere Produktionsausbeute.

#### ► Autor

Dipl.-Ing. HALMO FISCHER  
R&D-Projektleiter und Systemarchitekt bei Agilent Technologies Optical Communication Measurement Division;  
Herrenbergerstr. 130, D-71034 Böblingen  
Fon: 07031/464-0, Fax: 07031/464-7023  
e-Mail: Halmo\_Fischer@agilent.com

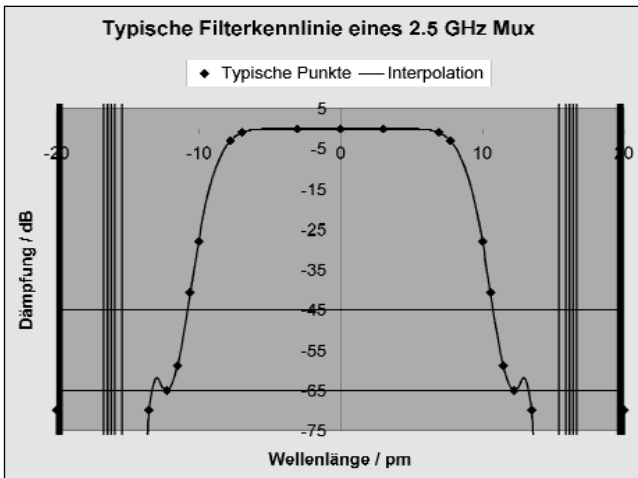


Abb. 2: Anhand typischer Spezifikationswerte interpolierte Kennlinie eines DWDM-Filters. Im logarithmischen Maßstab befinden sich die größten Steigungen im Übergang zum Sperrbereich

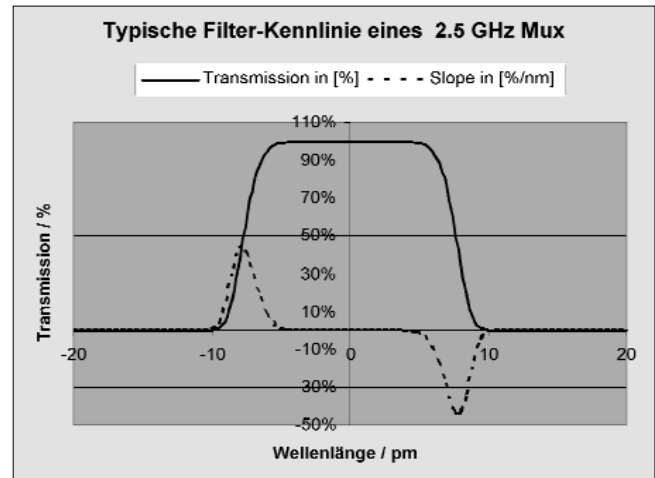


Abb. 3: Übertragungskennlinie aus Abb. 2 im linearen Maßstab: Die größten Steigungen befinden sich um die 50 %-Punkte an den Flanken des Filters, unmittelbar am Rande des Durchlassbereichs des Filters

## Dynamikbereich optischer Leistungsmesser

Eine der wichtigsten Parameter optischer Leistungsmesser ist ihr verfügbarer Leistungsmessbereich. Der Eingang der Leistungsmesser sieht die wellenlängenabhängige Ausgangsleistung der Laserquelle, die zusätzlich durch die Dämpfung des Prüflings moduliert wird.

Bei dem Swept-Wavelength-Verfahren werden bevorzugt Laser mit einer sehr niedrigen spontanen Seitenbandemission (low-SSE) eingesetzt. Bei diesen Lasern sind die Seitenbandemissions-Pegel um mehr als 60 dB unter dem Nutzsignalpegel abgesenkt. Dieses Ausgangsrauschen begrenzt zusammen mit dem Rauschen des Leistungsmessers den Dynamikbereich des Messsystems. Solche Laser liefern aus ihrem ‚low-SSE‘-Ausgang ein Nutzsignal im Bereich von 0 bis -13 dBm über ihren gesamten Wellenlängenbereich.

DWDM-Filter-Bausteine besitzen typischerweise einen Dynamikbereich von 35 bis 50 dB. Filter neuester Bauart in Dünnschicht-Technologie können einen Dynamikbereich von 70 dB oder mehr aufweisen. Aus dem Nutzsignalpegel des Lasers und dem Dynamikbereich des Prüflings resultiert für die Leistungsmesser ein notwendiger Messbereich von 0 bis -85 dBm.

## Logarithmischer oder linearer Messempfänger

Um einen so großen Bereich abzudecken, haben vor allem Messempfänger mit linearen Schaltungsdesign verschiedene, wählbare Verstärkungsstufen. Diese Bauart weist die beste Linearität über den gesamten Dynamikbereich auf. Die besten Leistungsmesser

mit linearer Eingangsstufe spezifizieren eine Nichtlinearität von 0,02 dB oder weniger.

Leistungsmesser mit einem logarithmischen Empfängerdesign besitzen einen nahezu ähnlichen Messbereich, allerdings in einer einzigen Verstärkungsstufe. Auf dem ersten Blick scheint diese Bauart vorteilhafter bezüglich der Messgeschwindigkeit zu sein, da es die Charakterisierung von Prüflingen mit einem Wellenlängendurchlauf ermöglicht. Um den vollen Dynamikbereich des Prüflings abzudecken, benötigen dazu die meisten Leistungsmesser linearer Bauart zwei oder mehr Mess-Durchläufe mit unterschiedlich gesetzter Verstärkung und nachfolgender rechnerischer Zusammensetzung der Ergebnisse, dem sogenannten ‚stitching‘. Logarithmische Leistungsmesser weisen jedoch bauartbedingt eine deutlich höhere Nichtlinearität von bis zu 0,5 dB auf. Außerdem ist der Frequenzgang logarithmischer Messempfänger nicht konstant über ihren Leistungsmessbereich. Dadurch werden bei der Charakterisierung von optischen Filtern vor allem Verzerrungen an den Filterflanken erzeugt.

Vergleichsmessungen mit Leistungsmessern beider Bauarten am selben Prüfling bestätigen dieses Verhalten (Abb. 1). Das Ergebnis des logarithmischen Leistungsmessers zeigt starke Oszillationen an den Filterflanken, die durch den nichtlinearen Frequenzgang des Leistungsmessers bei kleinen Signalpegeln verursacht werden.

Besonders bei DWDM-Bausteinen mit einem Kanalabstand kleiner gleich 50 GHz, spielt die Bandbreite der analogen Empfängerstufe in den Leistungsmessern eine wichtige Rolle für die schnelle und genaue Signalerfassung. In Abb. 2 ist das mathematisch interpolierte Transmissionsspektrum von einem Kanal eines 2,5 GHz DWDM-Multiplexers dargestellt. Im logarithmischen Maß-

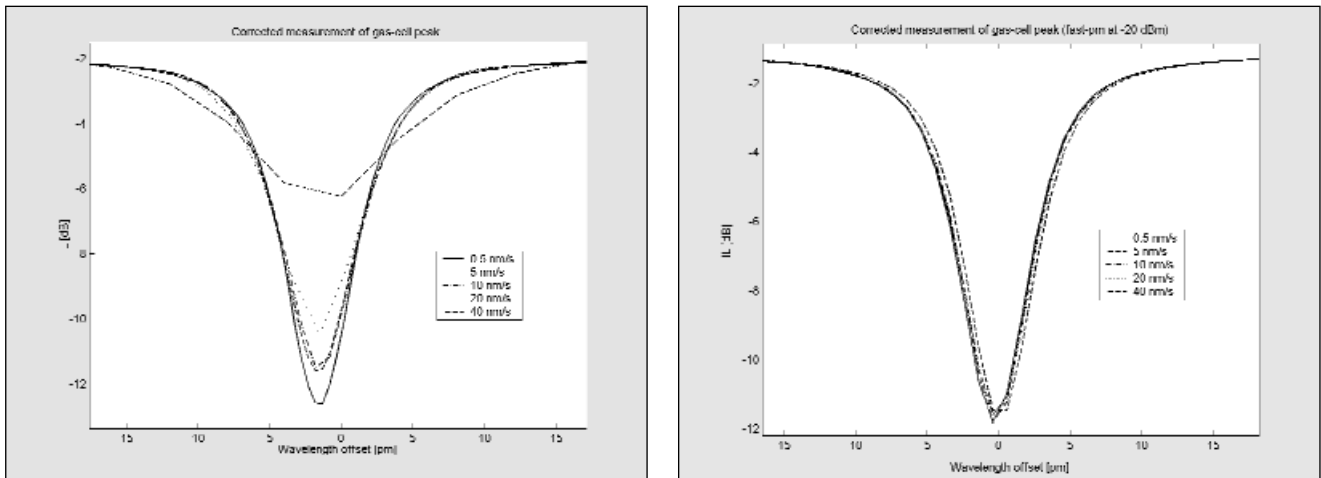
stab besitzt diese Kennlinie ihre größten Flankensteilheit am Übergang in den Sperrbereich. Dies sind die Regionen in denen logarithmische Leistungsmesser die stärksten Verzerrungen zeigen.

Im linearen Maßstab betrachtet sieht die Situation ganz anders aus. In Abb. 3 ist die Kennlinie aus Abb. 2 in den linearen Maßstab übertragen worden. Die größten Steigungen befinden sich jetzt um den 50 %-Punkt an den Filterflanken. Dies bedeutet, dass die größten Steigungen tatsächlich am Rande des Filter-Durchlassbereiches sind.

## Signalverzerrung in Abhängigkeit von Sweep-Geschwindigkeit

Für eine genaue Charakterisierung des Prüflings müssen Leistungsmesser eine möglichst verzerrungsfreie Signalaufnahme durchführen. Dazu sind sie nur in der Lage, wenn ihre Messbandbreite ausreichend groß in Beziehung zur Wellenlängen-Sweep-Geschwindigkeit ist. Hohe Sweep-Geschwindigkeiten, die für kurze Charakterisierungszeiten und hohen Produktionsdurchsatz notwendig sind, erfordern Leistungsmesser mit hoher Messbandbreite. Auf der anderen Seite steigt das Rauschen des Messempfängers mit seiner Bandbreite an. Dies wiederum hat einen geringeren Dynamikbereich des Empfängers zur Folge.

DWDM-Filter mit sehr engem Kanalabstand eignen sich gut für Benchmark-Tests. Einmal, um die Anforderungen von DWDM-Testsystemen der nächsten Generation aufzuzeigen, zum Anderen, um die Grenzen der heutigen Test-Instrumente zu demonstrieren. Die maximale Flankensteilheit solcher Bausteine kann aus der Kennlinie in Abb. 3 abgeleitet werden. Für die Steilheit kann der Wert



**Abb. 4: Die Charakterisierung einer Acetylen-Gaszelle offenbart den Einfluss der Wellenlängen-Sweep-Geschwindigkeit und der Bandbreite des Leistungsmessers auf die Messgenauigkeit: Messung**

**a) mit dem konventionellen Power Meter, Agilent 81632A' mit 4 kHz Bandbreite; b) mit dem DWDM-Power-Meter, Agilent 81636B' mit 17 kHz Bandbreite**

von ca. 45 %/pm abgelesen werden, was ungefähr einer Flankenbreite von 2 pm entspricht. Die minimale Bandbreite des optischen Mesempfinders,  $BW_{pm}$ , kann aus der Flankenbreite des Filters,  $\Delta\lambda$ , und der Sweep-Geschwindigkeit des Lasers,  $v_{sweep}$ , mit folgender Gleichung bestimmt werden:

$$BW_{pm} \geq 0.56 \cdot \frac{v_{sweep}}{\Delta\lambda} \quad (1)$$

Aus Gleichung (1) resultiert für  $v_{sweep} = 40 \text{ nm/s}$  und  $\Delta\lambda = 2 \text{ pm}$  eine notwendige Bandbreite von  $> 11,2 \text{ kHz}$ .

In Abb. 4 a und 4 b sind die Ergebnisse von DWDM-Tests mit zwei unterschiedlichen Leistungsmessern dargestellt. Bei der ersten Messung wurde ein konventioneller Leistungsmesser, beim zweiten Test ein Leistungsmesser, der speziell DWDM-Test bis hinab zum 2,5-GHz-Kanalrastrer unterstützt, eingesetzt. Der Prüfling war in beiden Fällen eine Acetylen-Gaszelle, die sehr ähnliche Steigungen in ihrem Transmissionsspektrum aufweist. Die Messung mit dem konventionellen Leistungsmesser zeigt deutliche Amplitudenverzerrungen bei höheren Sweep-Geschwindigkeiten. Die zweite Messung zeigt keine sichtbaren Verzerrungen.

### Externes oder Internes Stitching

Die meisten DWDM-Bausteine benötigen für ihre Charakterisierung einen Dynamikbereich von bis zu 55 dB. Leistungsmesser mit einem linearen Empfängerdesign stellen gewöhnlich in einer Verstärkungsstufe nur bis zu 45 dB zur Verfügung. Eine vollständige Charakterisierung mit einem Wellenlängen-Sweep ist somit nicht möglich. Es müssen zwei oder drei

Sweeps mit nachfolgendem Stitching durch die Applikations-Software durchgeführt werden. Der notwendige Dynamikbereich wird dadurch erreicht, jedoch multipliziert sich die Messzeit um die Anzahl der Sweeps.

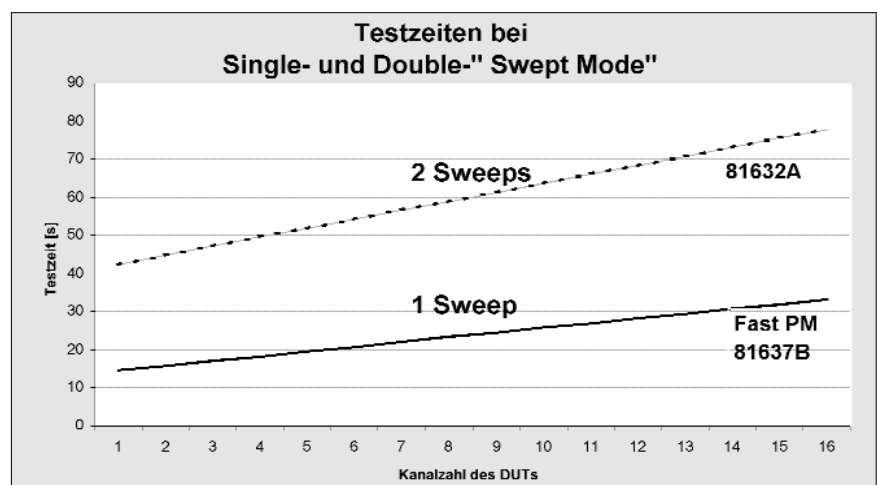
Bei der schnelleren Methode wird das Stitching während des Sweeps durchgeführt. Eine Stich-Schaltung im Mesempfänger setzt in Echtzeit den optimalen Messbereich und stellt sicher, dass die Messwerte in korrekte Leistungswerte umgerechnet werden. Solch eine Stich-Schaltung erweitert den Dynamikbereich auf über 55 dB für einen Messbereich. Der Vorteil bzgl. der Messgeschwindigkeit ist in Abb. 5 dargestellt. Die Sweep-Zeit für einen oder mehrere Messdurchläufe ist unabhängig von der Kanalzahl. Die Gesamtmesszeit steigt jedoch mit der Kanalzahl an, da mehr Zeit für die Übertragung der Ergebnisdaten zum Steuer-Computer benötigt wird.

### Zusammenfassung

Optische Leistungsmesser sind Schlüssel-Elemente in Swept-Wavelength-DWDM-Testsystemen. Deren wichtigsten Leistungsmerkmale, Dynamikbereich und Bandbreite, müssen sorgfältig zusammen mit den Leistungsparametern der Laserquelle betrachtet werden, um das optimale Verhalten des gesamten Testsystems sicherzustellen. Dies ist um so wichtiger, da zukünftig ein steigender Bedarf an Testausrüstung zur Charakterisierung von DWDM-Komponenten für Höchstgeschwindigkeits- und Breitband-Datenübertragungsstrecken bis hinab zum 2,5 GHz-Kanalrastrer entstehen wird.

**TEST**

www.publish-industry.net  
more @ click TK3C0105



**Abb. 5: Die DWDM-Power-Meter, Agilent 81636/37B', 'stitchen' während des Sweeps, on-the-fly' und ermöglichen so deutlich kürzere Messzeiten als konventionelle Leistungsmessern.**

**Verwendete Messparameter: Wellenlängenbereich 1520 nm bis 1570 nm, Wellenlängen-Intervall 5 pm, Sweep-Geschwindigkeit 5 nm/s**