

Präzise, verlässlich, reproduzierbar

# Multimode-Dämpfungsmessung

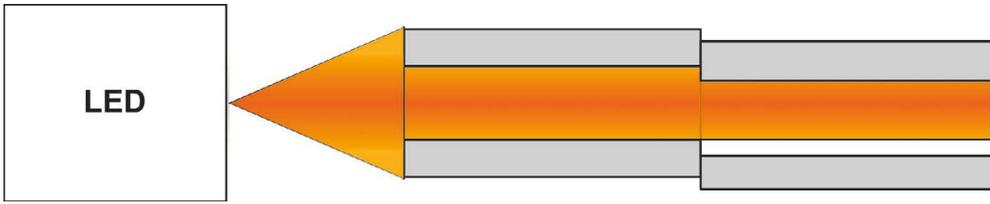


Bild 1: Mode Fill Condition einer LED-Lichtquelle

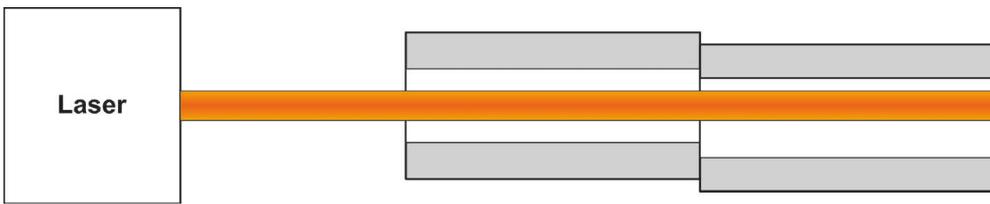


Bild 2: Mode Fill Condition einer Laser-Lichtquelle

Daten, Sprach- und Videoapplikationen: Der Bedarf nach höherer Bandbreite ist unbremst. IP-basierende Dienste verlangen immer schneller Netzwerke basierend auf Gigabit Ethernet oder Infiniband-Technologien. Verlustfrei lassen sich diese jedoch nur mit einem immer enger werdenden optischen Dämpfungsbudget realisieren.

## Messunsicherheiten erfolgreich minimieren

Umso wichtiger sind hochpräzise, verlässliche Messungen und die Reproduzierbarkeit von Ergebnissen. Wollen Unternehmen Messunsicherheiten erfolgreich minimieren, müssen sie auf die strikte Einhaltung der Einkoppelbedingungen achten.

Multimode-Glasfaserkabel können bei zu hohen Streuverlusten die Datenfluten nicht mehr bewältigen. Deshalb müssen Netzwerktechniker wissen, ob die installierte Glasfaserstrecke für die jeweilige Datenübertragungsgeschwindigkeit geeignet ist. Daher nutzen sie Dämpfungsmessungen. Entsprechend der Messergebnisse lassen sich korrigierende Maßnahmen ergreifen.

Mit Encircled Flux erkennen Netzwerktechniker zuverlässig, ob ihr Netz ausgelastet ist oder ob Lichtleistung tatsächlich verloren geht und wenn ja wie viel: Dafür definiert die Einkoppelbedingung die Anregungsbedingungen in Multimode-Glasfasern, indem das Verhältnis zwischen der eingekoppelten Sendeleistung und dem Radius des angeregten Teils des Faserkerns bestimmt wird.

## So lassen sich Einfügedämpfungen präzise messen

Die präzise und reproduzierbare Messung der Dämpfung in Multimodefasern ist anspruchsvoller als bei Singlemodefasern. In diesen breitet sich das Licht schließlich nur in einer Mode aus. Multimodefasern hingegen

haben einen wesentlich größeren Kern, wodurch die Lichtübertragung auf unterschiedlichen Wegen, sogenannten Moden, möglich ist.

Die Messbarkeit verlässlicher und reproduzierbarer Einfügedämpfungen (IL = Insertion Loss) ist in der Praxis daher herausfordernd: Techniker benötigen zunächst qualitativ hochwertige Komponenten wie Messkabel, Kupplungen und Stecker,

um Encircled Flux Compliance herstellen zu können und die auf der Verkabelungsstrecke verloren gehende Lichtleistung genau zu messen. Ein falscher Messaufbau ebenso wie unterschiedliches Equipment kann zu IL-Messungenauigkeiten oder zu stark abweichenden IL-Werten beitragen. Selbst wenn Techniker das gleiche Referenztestkabel mit Steckverbindern in Referenzqualität haben und es unter Verwendung von Mandrels (Wickeldorn) nutzen, kann es dennoch zu IL-Messungenauigkeiten oder abweichenden IL-Werten kommen.

Dies ist der Fall, wenn sie unterschiedliche Lichtquellen oder Lichtenergien wie VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser), Laser oder LED in die Stecker einkoppeln. Und auch wenn die Lichtquelle dieselbe ist, können typische Ungenauigkeiten im Bereich von bis zu +/-0,09 dB auftreten.

Zu einem Verlust kommt es immer: So überfüllen oberflächenemittierende LED-Lichtquellen die Multimodefaser beziehungsweise ihren Kern, indem sie die Lichtenergie

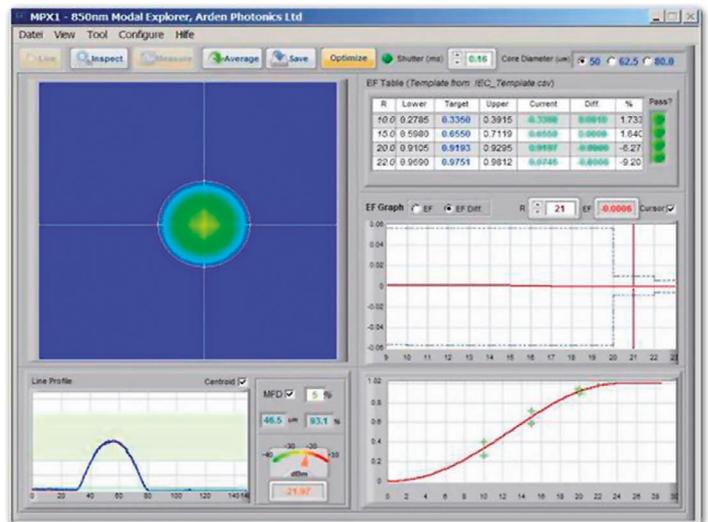


Bild 3: Messung der tde – trans data elektronik GmbH mit dem Modal Explorer MPX-1 von Arden Photonics. Nur das Nahfeld des Faserkerns wird gescannt. Der nach IEC 61280-4-1 definierte Teilbereich des Kerns sieht man oben rechts. Links oben ist das Nahfeld des Kerns zu erkennen

Autoren:  
 André Engel  
 Geschäftsführer  
 und  
 Marius Mammen  
 Technischer Leiter  
 tde – trans data elektronik  
 GmbH  
 www.tde.de

Radius $\mu\text{m}$	EF lower bound	Target	EF upper bound
10	0,278 5	0,335 0	0,391 5
15	0,598 0	0,655 0	0,711 9
20	0,910 5	0,919 3	0,929 5
22	0,969 0	0,975 1	0,981 2

**Bild 4: Der IEC-Standard 61280-4-1 (Ed. 2.0, 16.04.2009) definiert die Teilbereiche für die Energieverteilung des Lichtes im Kern (Quelle: IEC 61280-4-1, Ed. 2.0, 16.04.2009)**

Strahlwinkel in Grad <sup>a</sup>	Untere Grenze des EAF	Obere Grenze des EAF
5	0,075 3	0,119 7
10	0,293 4	0,445 4
15	0,606 9	0,832 9
20	0,870 8	0,987 1

<sup>a</sup> Obwohl die Einheit für Gleichung (2), welche die Definition für den EAF darstellt, Radiant ist, ist die Einheit für den Strahlwinkel Grad.

**Bild 5: EAF-Anforderungen an eine numerische Apertur von 0,37 und 200- $\mu\text{m}$ -Kern-Fasern bei 850 nm, Quelle: DIN EN 61300-1 (VDE 0885-300-1):2017-09**

gleichmäßig über die ganze Fläche des Kerns verteilt übertragen. Da die Strahlungsfläche und Winkelverteilung jedoch größer sind als der Faserkern, überfüllen sie die Multimodefaser respektive ihren Kern. Die Folge: Sowohl das außerhalb des Faserkerns einfallende Licht als auch das in einem Winkel auftreffende und den Akzeptanzwinkel des Faserkerns übersteigende Licht geht für die Übertragung verloren. Diese Overfilled Launch Condition genannte Vollenregung erzeugt tendenziell zu pessimistische Messergebnisse, s. Bild 1.

Im Gegensatz dazu übertragen Kantenstrahler wie Laser oder VCSEL-Hochleistungslaser die Lichtenergie nur in einem geringen Bereich des Kerns. Bei diesen Lichtquellen sind die Strahlungsfläche und die Winkelverteilung des Lichts kleiner als der Faserkern. Da sich der Großteil der optischen Leistung in der Mitte der Faser konzentriert, ist der Kern nicht vollständig ausgeleuchtet. Dies resultiert in einer sogenannten Underfilled Launch Condition und in der Folge in zu niedrigen Dämpfungswerten sowie in der Regel in zu optimistischen Messergebnissen, s. Bild 2.

### Entscheidend ist die ideale Einkoppelbedingung

Nur wenn sich das Licht über den gesamten Faserkern verteilt, liegen ideale Einkoppelbedingungen vor. Um Dämpfungsmessungen vergleichen zu können, sind daher die Einkoppelbedingungen entscheidend, unter denen Licht in einen Stecker geleitet wird. Nur wenn die Übertragung des Lichtes in einem genau definierten Teilbereich des Faserkerns erfolgt, sprechen Experten von Encircled Flux (EF), s. Bild 3. Wichtig ist daher, die Anregungsbedingungen für die Einkopplung, wie sie Encircled Flux vorsieht, sorgfältig zu definieren. Das Ziel: Vergleichbare, reproduzierbare und damit verlässliche Messwerte zu erhalten und Messunsicherheiten zu minimieren.

Das schafft Encircled Flux: Die Einkoppelbedingung ist durch sorgfältig definierte Anregungsbedingungen definiert und senkt die Messunsicherheit auf etwa 10%.

### Encircled Flux – Ursprünge

Den Ausgangspunkt für die Entwicklung der Encircled-Flux-Metrik bildet die Simulation von Übertragungsbandbreiten: Entwickler nutzten dabei die auf-

tretende Modendispersion bei wenig begrenzter Bandbreite. Entwickler machten sich dabei die entstehende Modendispersion bei wenig begrenzter Bandbreite zu Nutze.

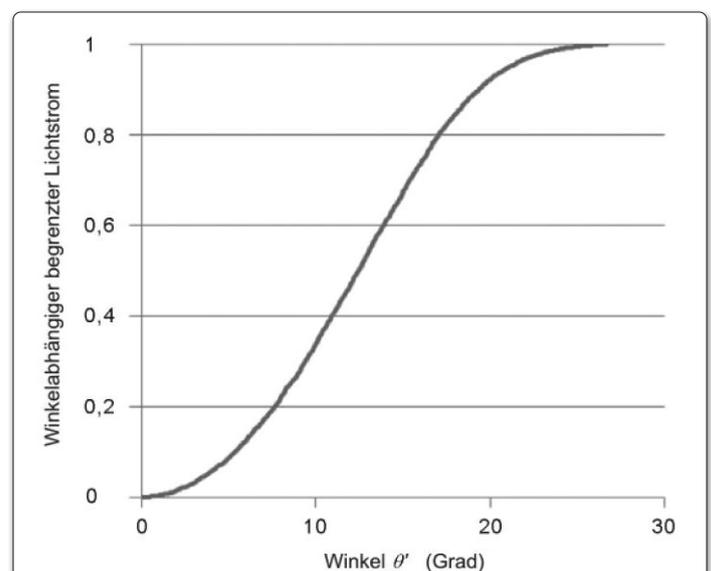
Ein weiterer enger Zusammenhang bildet die Entstehung und Entwicklung mit den Oberflächenemittern VCSELs: Seit 1999 kommen sie dank ihrer hohen Datenrate und ihrer optimalen Eignung für die analoge Breitband-Signalübertragung als

optische Sender für die High-Speed-Übertragung zum Einsatz.

VCSEL-Lichtquellen arbeiten mit einer Wellenlänge von 850 nm. Anders aber als LEDs mit gleicher Wellenlänge koppeln sie das Licht ein: VCSELs emittieren einen schmalen Lichtstrahl, der in der Mitte des Glasfaserkerns am hellsten ist. Nach außen hin dunkelt er schnell ab und beleuchtet den Kern nahe der Grenzschicht zum Mantel nicht mehr.

Das Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) hat die Wellenlänge von 850 nm auch für die Übertragung von VCSELs auf Multimodefasern für Gigabit-Ethernet vorgegeben. Mit der Entwicklung des 10-Gigabit-Ethernet kam es zur Festlegung der Encircled-Flux-Metrik: Sie definiert Encircled Flux als Einkoppelbedingung für eine VCSEL-Lichtquelle, die ihre Lichtleistung stärker auf die Mitte des Faserkerns konzentriert als Laser oder LEDs. Der IEC-Standard 61280-4-1 definiert seit Juli 2009 die Teilbereiche für die Energieverteilung des Lichtes im Kern (Bild 4).

Seit 2016 definiert zudem der IEC-Standard 61300-3-53 den winkelabhängigen begrenzten Lichtstrom für 200- $\mu\text{m}$ -Kernfasern bei 850 nm. Diese Einkoppelbedingung wird Encircled



**Bild 6: Beispiel für eine Vorlage für den winkelabhängigen begrenzten Lichtstrom, Quelle: DIN EN 61300-1 (VDE 0885-300-1):2017-09**



**Bild 7: Mandrel Wrap beseitigt die Moden höherer Ordnung bei Multimode-Dämpfungsmessungen unter Verwendung einer LED-Lichtquelle**

Angular Flux (EAF) bezeichnet und regt die meisten transversalen Moden an. Der EAF bestimmt die Fernfeldmessung des Lichts, das vom Ausgang des Referenz-Grad-Vorlaufkabels kommt, und bezieht sich damit auf den Teil der gesamten optischen Leistung, die von einem Stufenindex-Multimode-Lichtwellenleiterkern innerhalb eines bestimmten Raumwinkels abstrahlt. Gemessen wird die EAF-Metrik als Funktion der vollen Winkel der numerischen Apertur, s. Bild 5 und 6.

Je nach Lichtquelle variieren die Einkoppelbedingungen. Daher ist eine Anpassung von VCSEL- und LED-Dioden sowie Laser an die EF-Bedingungen notwendig. Viele Standards wie IEEE802.3, ANSI/TIA und ISO/IEC basieren auf LED-Lichtquellen. Diese überfüllen jedoch den Glasfaserkern und weisen daher mehr Moden auf, die sich nahe der Grenzschicht zwischen Kern und Mantel befinden. Diese Moden höherer Ordnung sind anfälliger für die Dämpfung durch das Biegen der Glasfaser und gehen an Verbindungsstellen zuerst verloren.

Wenn Netzwerktechniker die Dämpfung von Multimodefasern mit einer LED-Lichtquelle durchführen, verwenden sie Mandrels (Wickeldorn), die zuverlässige und reproduzierbare Ergebnisse garantieren. Das mit der Lichtquelle verbundene Anschlusskabel wird dabei so um den zylindrischen

Wickeldorn gewickelt, dass der Einfallswinkel an der Biegung kleiner ist als der Grenzwinkel der Totalreflexion. So lassen sich die Moden höherer Ordnung beseitigen, bevor das Testsignal in die zu prüfende Strecke eingekoppelt wird. Das Ergebnis: Die gemessene Dämpfung verringert sich (Bild 7).

Kommt eine Laser-Lichtquelle zum Einsatz, ist gemäß den Standards IEEE802.3aq und FOTP (Fiber Optic Test Procedure) zusätzlich ein Fiber Shaker erforderlich. Dieser passt die „Speckle“ genannten helleren Sprengel durch Änderung der differentiellen Weglänge der unterschiedlichen Moden in der Faser an. Dies geschieht durch kontinuierliches Schütteln der Faser während des Messvorgangs, um die „Speckles“ auszumitteln, s. Bild 8.

### Unter 10% Abweichung

Mit der Encircled-Flux-Metrik lässt sich die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse signifikant verbessern und deren Abweichung auf einer gesamten Verbindungsstrecke auf unter 10% senken. Um vergleichbare Messergebnisse zu gewährleisten, ist es notwendig, die EF-Einkoppelbedingung regelmäßig zu überwachen – auch dann, wenn die Hersteller von Dämpfungsmessgeräten die Einhaltung von EF garantieren. Unterschiede können selbst bei baugleichen Messgeräten der gleichen Baureihe und des gleichen Baujahres auftreten.

### Aus der Praxis

Für die IL-Messung von LWL-Steckern (S2) oder Kabeln verbinden Netzwerktechniker einen Testjumper mit einer Lichtquelle. Sie bringen einen Stecker (S1) am Ende des Testjumpers an und verbinden ihn über eine Kupplung mit dem Prüfling. Anschließend koppeln sie das Licht von der Lichtquelle über S1 in den Stecker S2 ein, fangen es am anderen Ende über das angeschlossene Kabel auf und messen es. Die Lichtübertragung in der Glasfaser erfolgt dabei nicht in der gesamten

Faser, sondern nur im Faserkern. Dieser Testaufbau ermöglicht die Messung der Verlustleistung beziehungsweise des Energieverlusts, die bei der Einkopplung der Lichtenergie von S1 nach S2 entstehen. Encircled Flux kann sich abhängig von der verwendeten Faser oder weiteren Zwischenadaptierungen signifikant verändern. Daher müssen Netzwerkexperten die Compliance zwingend am Ende des Testjumpers kontrollieren.

Sind die Anregungsbedingungen sorgfältig definiert, lassen sich dank Encircled Flux Ungenauigkeiten bei Dämpfungsmessungen nachweislich auf etwa 10% reduzieren.

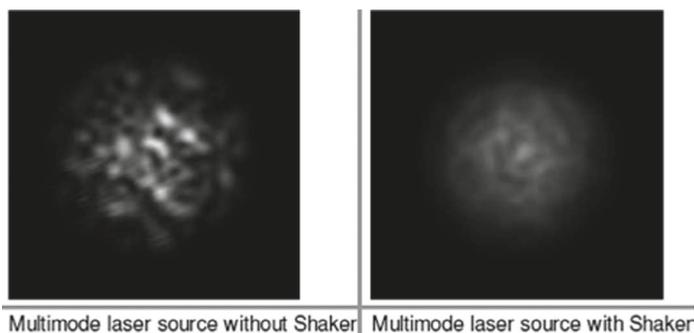
Die gute Performance in Hochgeschwindigkeitsnetzen bei Verwendung von 850-nm-VCSELs in 10-Gigabit-Ethernet-Systemen lässt sich nur unter Einhaltung von Encircled Flux gewährleisten. Dies gilt auch für Technologien wie PRIZM LightTurn, bei denen optoelektronische Module direkt auf den Leiterplatten montiert und platzsparend über Prismenstecker angeschlossen werden. Auch Lensed (PRIZM) MT (2-dB-Stecker) liefern nur zuverlässige Messergebnisse, wenn EF-Compliance vorliegt. Und schließlich verbessert sich dank Encircled Flux auch die bessere Vergleichbarkeit von unterschiedlichem Mess-Equipment.

Mittlerweile bieten zwar viele Light Source + Power Meter (LSPM) und optische Zeitbereichsreflektometer (OTDR) EF-Bedingungen. Die Einhal-

tung gilt dann jedoch nur für den Messgeräteausgang und nicht notwendigerweise nachgeschalteten Testjumper oder Vorlaufstrecken.

Der Grund: Wird ein Adapterkabel zwischen Messgeräteausgang und Prüfling geschaltet, können sich die am zu messenden Stecker anliegenden Einkoppelbedingungen komplett ändern. Ursache hierfür können Fasertypen unterschiedlicher OM-Kategorien, deren Kombination, die Anzahl der Verbindungen oder sogar unterschiedliche Faserhersteller und Kabellängen sein. Netzwerktechniker müssen daher mit geeigneten Testgeräten prüfen, ob die EF-Bedingungen noch anliegen. Ist dies nicht (mehr) der Fall, müssen sie diese gegebenenfalls durch geeignete Maßnahmen, wie z.B. einem Mode-Controller oder Mandrel, schaffen. Für die Herstellung von Mandrels existiert keine verbindliche Anleitung – diese müssen im Einzelfall faser- oder kabelabhängig unter Verwendung eines Encircled-Flux-Meters hergestellt werden.

Daran zeigt sich nochmals: Encircled Flux ist kein statischer Parameter. Die Anregungsbedingung verändert sich dynamisch im Lauf einer Kabelstrecke. Um verlässliche und vergleichbare Messergebnisse zu erzielen, müssen Hersteller und Netzwerkingenieure die Einkoppelbedingungen direkt vor dem zu messenden Stecker prüfen. Hier – und tatsächlich nur hier – ist die erfolgreiche Umsetzung von Encircled Flux möglich. ◀



**Bild 8: Ein Fiber-Shaker schüttelt bei Dämpfungsmessungen mit Laser-Lichtquellen die Faser kontinuierlich und mittelt dadurch die Speckles aus (Quelle: Arden Photonics)**