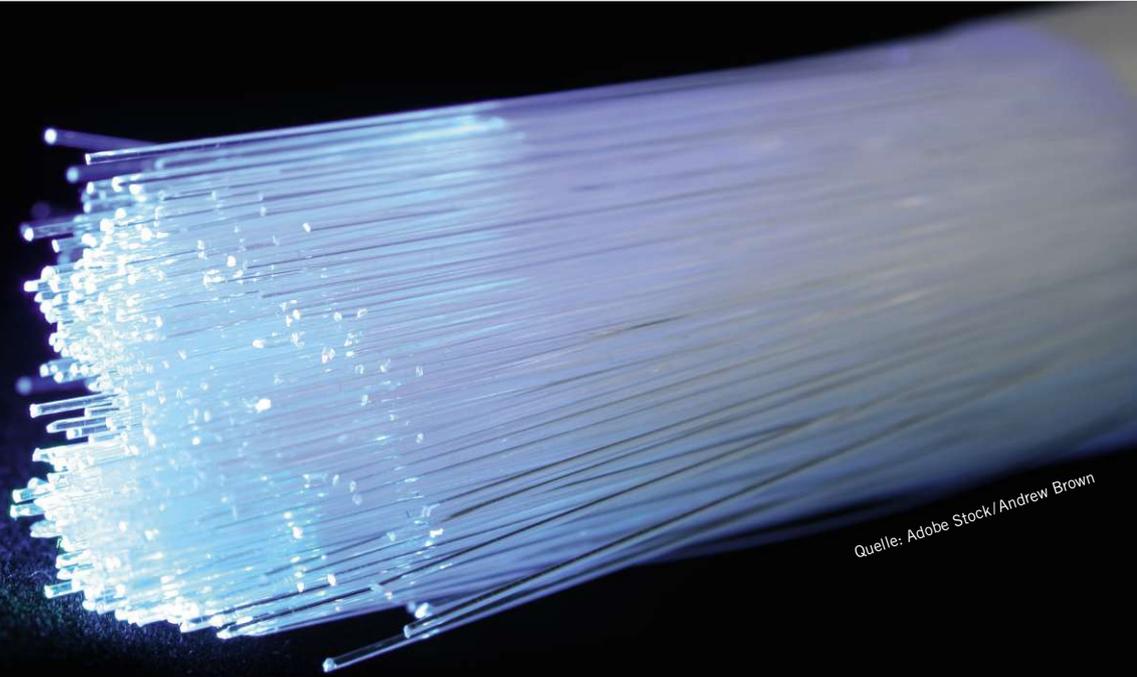


de

das elektrohandwerk



Quelle: Adobe Stock / Andrew Brown

## LWL-Kabel zuverlässig messen

**VERLUSTFREIE DATENÜBERTRAGUNG** Sprache, Daten, Video – der Hunger nach höherer Bandbreite ist ungebremst. IP-basierte Dienste verlangen immer schnellere Netzwerke, basierend auf Gigabit-Ethernet oder Infiniband-Technologien. Verlustfrei lassen sich diese kaum realisieren. Elektrofachkräfte sollten deshalb Wert auf hochpräzise, verlässliche Dämpfungsmessungen legen.

**G**lasfaserkabel müssen immer größere Datenmengen möglichst verlustfrei übertragen. Mit stetig höheren Bandbreiten und schnellerem Internet steigen die Anforderungen konstant. Sind die Datenstreuverluste zu hoch, können Multimode-Glasfaserkabel die Datenfluten nicht mehr bewältigen. Durch Dämpfungsmessungen können Netzwerkadministratoren ermitteln, wie hoch der Verlust der übertragenden Daten in den Multimodefasern ist und korrigierende Maßnahmen ergreifen.

Doch wie lässt sich zuverlässig erkennen, ob das Netz ausgelastet ist, oder wie viel Lichtleistung tatsächlich verloren geht? Eine Lösung heißt Encircled Flux. Die Einkoppelbedingung definiert die Anregungsbedingungen

in Multimode-Glasfasern. Dafür wird das Verhältnis zwischen der eingekoppelten Sende-

leistung und dem Radius des angeregten Teils des Faserkerns bestimmt.

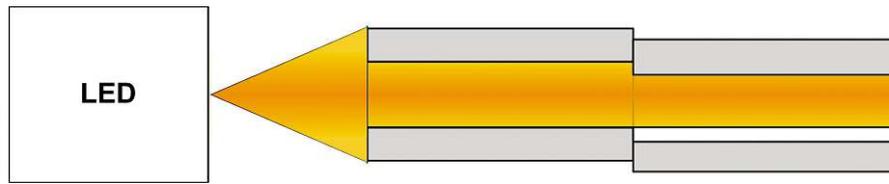


### AUF EINEN BLICK

**ECIRCLED-FLUX-METRIK** Mit der strikten Einhaltung von Einkoppelbedingungen lassen sich Messunsicherheiten bei Multimodefasern auf bis zu 10% reduzieren

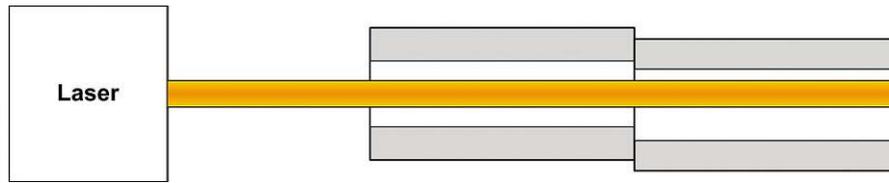
**VERGLEICHBARE MESSERGEBNISSE** können Netzwerktechniker nur gewährleisten, wenn sie die EF-Einkoppelbedingung regelmäßig überwachen, denn selbst bei baugleichen Messgeräten können Unterschiede auftreten

Quelle: tde



**Bild 1:** »Mode Fill Condition« einer LED-Lichtquelle

Quelle: tde



**Bild 2:** »Mode Fill Condition« einer Laser-Lichtquelle

**Technische Voraussetzungen für präzise Messungen**

Präzise und reproduzierbare Messungen der Dämpfung in Multimodefasern sind anspruchsvoll und wichtig: Während sich bei Singlemodefasern Licht in nur einer Mode ausbreitet, haben Multimodefasern einen wesentlich größeren Kern. Dies ermöglicht die Lichtübertragung auf unterschiedlichen Wegen (Moden).

In der Praxis gestaltet sich die Messbarkeit verlässlicher und reproduzierbarer Einfüge-

dämpfungen (IL = Insertion Loss) jedoch schwierig. Um Encircled-Flux-Compliance herstellen zu können und die auf der Verkabelungsstrecke verlorene Lichtleistung genau zu messen, benötigen Techniker zunächst qualitativ hochwertige Komponenten wie Messkabel, Kupplungen und Stecker. Ein falscher Messaufbau oder unterschiedliches Equipment kann zu IL-Messungen mit Ungenauigkeiten oder zu stark abweichenden IL-Werten beitragen. Dies ist etwa der Fall, wenn zwei Techniker zwar das gleiche

Referenztestkabel mit Steckverbindern in Referenzqualität und unter Verwendung von Mandrels nutzen, dabei jedoch unterschiedliche Lichtquellen oder Lichtenergien wie VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser), Laser oder LED in die Stecker einkoppeln. Und selbst wenn die Lichtquelle dieselbe ist, können typische Ungenauigkeiten im Bereich von bis zu +/- 0,09dB auftreten.

**Verfälschte Messergebnisse durch LED oder Laser**

In allen Fällen entstehen Verluste: Indem oberflächenemittierende LED-Lichtquellen die Lichtenergie gleichmäßig über die ganze Fläche des Kerns verteilt übertragen, überfüllen sie die Multimodefaser beziehungsweise ihren Kern. Grund dafür ist, dass die Strahlungsfläche und Winkelverteilung größer als der Faserkern sind (**Bild 1**). Dadurch geht sowohl das außerhalb des Faserkerns einfallende Licht als auch das in einem Winkel auftreffende und den Akzeptanzwinkel des Faserkerns übersteigende Licht für die Übertragung verloren. Diese »overfilled launch condition« genannte Vollanregung erzeugt tendenziell zu pessimistische Messergebnisse.

Kantenstrahler wie Laser oder VCSEL-Hochleistungslaser übertragen hingegen die Lichtenergie nur in einen geringen Bereich des Kerns (**Bild 2**). Strahlungsfläche und Winkelverteilung des Lichtes sind bei diesen Lichtquellen kleiner als der Faserkern. Dadurch konzentriert sich der Großteil der optischen Leistung in der Mitte der Faser und leuchtet den Kern nicht vollständig aus. Diese »underfilled launch condition« genannte Anregung erzeugt zu niedrige Dämpfungswerte. Die Messergebnisse sind in der Regel zu optimistisch.

Ideale Einkoppelbedingungen liegen vor, wenn sich das Licht über den gesamten Faserkern verteilt. Um Dämpfungsmessungen vergleichen zu können, sind die Einkoppelbedingungen entscheidend, unter denen Licht in einen Stecker geleitet wird. Denn nur wenn die Übertragung des Lichtes in einem genau definierten Teilbereich des Faserkerns erfolgt, sprechen Experten von Encircled Flux (EF). Daher gilt es, die Anregungsbedingungen für die Einkoppelung, wie sie Encircled Flux vorsieht, sorgfältig zu definieren. Das Ziel ist, vergleichbare, reproduzierbare und damit verlässliche Messwerte zu erhalten und Messunsicherheiten zu minimieren. Encircled Flux schafft dies: Die Einkoppelbedingung ist durch sorgfältig definierte Anregungsbedingungen definiert und senkt dadurch die Messunsicherheit auf etwa 10%.

**EF-ANFORDERUNGEN AN 50-µm-KERN-FASERN BEI 850 nm**

Radius µm	Untere Grenze des EF	Ziel	Obere Grenze des EF
10	0,2785	0,3350	0,3915
15	0,5980	0,6550	0,7119
20	0,9105	0,9193	0,9295
22	0,9690	0,9751	0,9812

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

**EF-ANFORDERUNGEN AN 200-µm-KERN-FASERN BEI 850 nm**

Stahlwinkel in Grad <sup>a</sup>	Untere Grenze des EAF	Obere Grenze des EAF
5	0,0753	0,1197
10	0,2934	0,4454
15	0,6069	0,8329
20	0,8708	0,9871

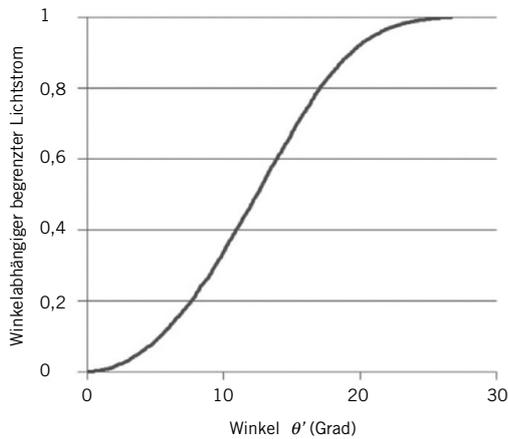
<sup>a</sup> Obwohl die Einheit für Gleichung (2), welche die Definition für den EAF darstellt, Radiant ist, ist die Einheit für den Strahlwinkel Grad.

**Tabelle 2:** EAF bestimmt die Fernfeld-Messung des Lichtes, das vom Ausgang des Referenz-Grad-Vorlaufkabels kommt

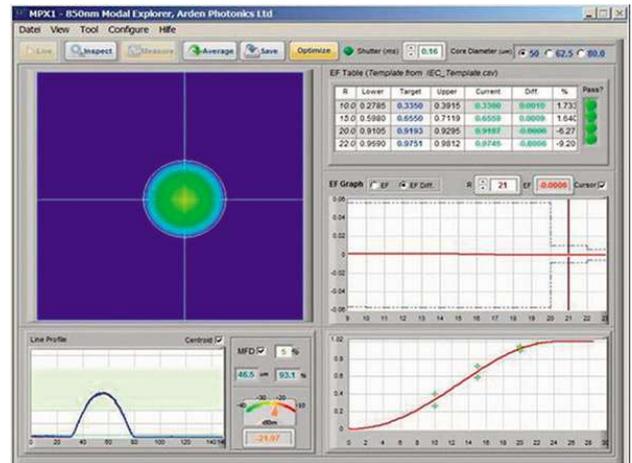
Quelle: IEC

Quelle: DIN EN 61300-1 (VDE 0885-300-1):2017-09

Quelle: DIN EN 61300-1 (VDE 0885-300-1):2017-09



**Bild 3:** Beispiel für eine Vorlage für den winkelabhängigen begrenzten Lichtstrom



Quelle: Arden Photonics

**Bild 5:** Ein Fiber Shaker schüttelt bei Dämpfungsmessungen mit Laser-Lichtquellen die Faser und mittelt dadurch »Speckles« aus

## Anwendungsnormen für Encircled Flux

Ursprünglich wurde die Encircled-Flux-Metrik für die Simulation von Übertragungsbandbreiten entwickelt. Dabei machten sich die Entwickler die entstehende Modendispersion bei wenig begrenzter Bandbreite zu Nutze.

Entstehung und Entwicklung der Encircled-Flux-Metrik stehen in engem Zusammenhang mit den Oberflächenemittern VCSEL: Seit 1999 kommen sie dank ihrer hohen Datenrate und ihrer 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, koppeln dabei aber das Licht anders ein als LEDs mit gleicher Wellenlänge. VCSELs emittieren einen schmalen Lichtstrahl, der in der Mitte des Glasfaserkerns am hell-

ten ist, nach außen hin schnell abdunkelt und den Kern nahe der Grenzschicht zum Mantel nicht mehr beleuchtet. Die Wellenlänge von 850nm hat das IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 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 ideale VCSEL-Lichtquelle, die ihre Lichtleistung stärker auf die Mitte des Faserkerns konzentriert als Laser oder LEDs. Seit Juli 2009 definiert der IEC-Standard 61280-4-1 die Teilbereiche für die Energieverteilung des Lichtes im Kern (**Tabelle 1**).

2016 ist der IEC-Standard 61300-3-53 neu hinzugekommen: Er definiert den winkelabhängigen begrenzten Lichtstrom für 200-µm-Kern-Fasern bei 850 nm (**Tabelle 2**). Bei dieser Encircled Angular Flux (EAF) genannten Einkoppelbedingung werden die meisten transversalen Moden angeregt. Der EAF bestimmt die Fernfeld-Messung des Lichtes, das vom Ausgang des Referenz-Grad-Vorlaufkabels kommt. Unter Encircled Angular Flux ist demnach der Bruchteil der gesamten optischen Leistung zu verstehen, die von einem Stufenindex-Multimode-Lichtwellenleiterkern innerhalb eines bestimmten Raumwinkels ausstrahlt. Gemessen wird die EAF-Metrik als Funktion der vollen Winkel der numerischen Apertur (**Bild 3**).

die VCSEL- und LED-Dioden sowie Laser an die EF-Bedingung anpassen. LED-Lichtquellen bilden die Grundlage vieler Standards wie IEEE802.3, ANSI/TIA und ISO/IEC.

Da LED-Lichtquellen den Glasfaserkern überfüllen, weisen sie 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. Werden Multimode-Dämpfungsmessungen mit einer LED-Lichtquelle durchgeführt, kommen Mandrels (zylindrischer Wickeldorn, **Bild 4**) zum Einsatz. Sie gewährleisten zuverlässige und reproduzierbare Ergebnisse, indem das mit der Lichtquelle verbundene Anschlusskabel so um den Mandrel gewickelt wird, dass der Einfallswinkel an der Biegung kleiner ist als der Grenzwinkel der Totalreflexion. Dadurch lassen sich die Moden höherer Ordnung beseitigen, bevor das Testsignal in die zu prüfende Strecke eingekoppelt wird. Die gemessene Dämpfung verringert sich.

## Fiber Shaker schüttelt die Faser

IEEE802.3aq und FOTP-203-Standard sehen für Multimode-Dämpfungsmessungen unter Verwendung einer Laser-Lichtquelle zusätzlich einen Fiber Shaker vor. Er passt die »Speckle« genannten helleren Sprengel durch Änderung der differentiellen Weglänge der unterschiedlichen Moden in der Faser an (**Bild 5**). Dafür schüttelt der Fiber Shaker die Faser während des Messvorgangs kontinuierlich, um die »Speckles« auszumitteln.



Quelle: tde

**Bild 4:** Ein Mandrel Wrap beseitigt die Moden höherer Ordnung bei Multimode-Dämpfungsmessungen unter Verwendung einer LED-Lichtquelle

## Mandrels verringern die Dämpfung

Da die Einkoppelbedingungen je nach Lichtquellen variieren, müssen Netzwerktechniker

Die Encircled-Flux-Einkoppelbedingung verbessert die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse und senkt deren Abweichung auf einer gesamten Verbindungsstrecke auf unter 10%. Um jedoch vergleichbare Messergebnisse gewährleisten zu können, müssen Netzwerktechniker die EF-Einkoppelbedingung regelmäßig überwachen. Dies ist auch dann nötig, wenn Hersteller von Dämpfungsmessgeräten die Einhaltung von EF garantieren, da selbst bei baugleichen Messgeräten der gleichen Serienreihe und desselben Baujahrs Unterschiede auftreten können.

### Insertion-Loss-Messung in der Praxis

In der Praxis läuft die IL-Messung von LWL-Steckern (S2) oder Kabeln wie folgt ab: Netzwerktechniker verbinden einen Testjumper mit einer Lichtquelle. Sie bringen am Ende des Testjumpers einen Stecker an (S1) und verbinden ihn mittels Kupplung mit dem Prüfling. Anschließend koppeln sie das Licht von der Lichtquelle über S1 in den Stecker S2 ein, fangen es so über das daran angeschlossene Kabel am anderen Ende auf und messen es. Die Lichtübertragung in der Glasfaser erfolgt nur im Faserkern, nicht in der gesamten Faser. Mit diesem Testaufbau lassen sich die Verlustleistung respektive der Energieverlust messen, die beim Einkoppeln der Lichtenergie von S1 in S2 entstehen.

Da sich Encircled Flux abhängig von der verwendeten Faser oder weiteren Zwischenadaptierungen signifikant verändern kann, muss ihre Compliance zwingend am

Ende des Testjumpers kontrolliert werden. Die Firma tde überprüft beispielsweise laufend das gesamte Multimode-Messequipment einschließlich aller Testjumper und garantiert so IEC-Konformität und die Reproduzierbarkeit ihrer Testergebnisse.

### Vorteile von Encircled Flux

Encircled Flux spielt auf vielen Ebenen seine Vorteile aus: Mit sorgfältig definierten Anregungsbedingungen lassen sich Ungenauigkeiten bei Dämpfungsmessungen nachweislich auf circa 10% reduzieren. Auch eine gute Performance in High-Speed-Netzen bei Verwendung von 850 nm VCSELs in 10-Gigabit-Ethernet-Systemen lässt sich nur unter Einhaltung von Encircled Flux gewährleisten (**Bild 5**). Das gilt auch für neue Technologien wie »Prizm Lightturn«, bei denen optoelektronische Module direkt auf den Leiterplatten montiert und über Prismenstecker platzsparend angeschlossen werden, oder »Lensed (Prizm) MT (2-dB-Connector)«, die ohne EF-Compliance keine zuverlässigen Messergebnisse liefern.

Nicht zuletzt gewährleistet Encircled Flux auch die bessere Vergleichbarkeit von unterschiedlichem Messequipment. Doch auch wenn inzwischen viele LSPM- und ODTR-Geräte EF-Bedingungen liefern, so gilt die Einhaltung nur für den Messgeräte-Ausgang und nicht zwangsläufig auch für nachgeschaltete Testjumper oder Vorlaufstrecken. Denn wird ein Adapterkabel zwischen Messgeräte-Ausgang und Prüfling geschaltet, können sich die am zu messenden Stecker

anliegenden Einkoppelbedingungen völlig ändern. Mögliche Gründe hierfür sind Fasertypen unterschiedlicher OM-Kategorien, deren Kombination, die Verbindungsanzahl oder sogar unterschiedliche Faserhersteller und Kabellängen.

Netzwerktechniker müssen daher mit geeigneten Testgeräten überprüfen, ob die EF-Bedingungen noch anliegen, und diese gegebenenfalls mit geeigneten Maßnahmen wie einem Mode Controller oder Mandrel herstellen. Da es keine verbindliche Anleitung für die Herstellung von Mandrels gibt, müssen sie im Einzelfall faser- oder kabelabhängig mit Hilfe eines EF-Flux-Meters hergestellt werden.

Encircled Flux ist kein statischer Parameter. Vielmehr verändert sich die Anregungsbedingung dynamisch im Lauf einer Kabelstrecke. Um verlässliche und vergleichbare Messergebnisse erzielen zu können, müssen Hersteller und Netzwerktechniker die Einkoppelbedingungen direkt vor dem zu messenden Stecker prüfen. Nur hier lässt sich Encircled Flux erfolgreich umsetzen.

---

## AUTOREN

### Marius Mammen

Technischer Leiter/CTO bei der tde – trans data elektronik GmbH, Dortmund

### André Engel

Geschäftsführer der tde – trans data elektronik GmbH, Dortmund

---