

# NET

10/2017

Zeitschrift für Kommunikationsmanagement  
Sonderdruck

TK-Messtechnik  
**FTTx-Netze schnell  
und einfach ausmessen**

Smart Grids  
**Von den  
Besten lernen**

Rechenzentren  
**Keine Angst vor  
High-Density-Computing**



# Zuverlässig, präzise, reproduzierbar

## Multimode-Dämpfungsmessung mit Encircled Flux

André Engel,  
Wilfried Schneider

**Sprache, Daten, Video: Der Hunger nach höherer Bandbreite ist ungebremst. IP-basierte Dienste verlangen immer schnellere Netze auf der Grundlage von Gigabit Ethernet oder InfiniBand-Techniken. Verlustfrei lassen sich diese jedoch nur mit einem immer enger werdenden optischen Dämpfungsbudget realisieren. Hochpräzise, verlässliche Messungen und die Reproduzierbarkeit von Ergebnissen sind wichtiger denn je. Mit der strikten Einhaltung von Einkoppelbedingungen nach der Encircled-Flux-Metrik (EF) lassen sich Messunsicherheiten auf bis zu 10 % reduzieren.**

Glasfaserkabel müssen immer größere Datenmengen möglichst verlustfrei übertragen. Diese Anforderungen steigen konstant mit stetig höheren Bandbreiten und schnellerem Internet. Zugleich werden die Dämpfungsbudgets enger. Sind die Datenstreuverluste zu hoch, können Multimode-Glasfaserkabel die Datenfluten nicht mehr bewältigen. Wie hoch der Verlust der zu übertragenden Daten in den Multimodefaser ist, können Netzadministratoren mittels Dämpfungsmessungen ermitteln und korrigierende Maßnahmen ergreifen. Aber wie können Netztechniker zuverlässig erkennen, ob ihr Netz ausgelastet ist oder wie viel Lichtleistung tatsächlich verloren geht? Die Lösung heißt Encircled Flux. Die Einkoppelbedingung definiert die Anregungsbedingungen in Multimodeglasfasern, indem das Verhältnis zwischen der eingekoppelten Sendeleistung und dem Radius des angeregten Teils des Faserkerns bestimmt wird.

### Technische Voraussetzungen für präzise Messungen

Präzise und reproduzierbare Messungen der Dämpfung in Multimodefaser sind anspruchsvoller und wichtiger denn je: Denn während sich bei Singlemodefasern Licht in nur einer Mode ausbreitet, haben Multimodefaser einen wesentlich größeren Kern. Dies ermöglicht die Lichtübertragung auf unterschiedlichen Wegen (Moden). In der Praxis gestaltet sich die Messbarkeit verlässlicher und reproduzierbarer Einfügedämpfungen (IL – Insertion Loss) jedoch schwierig: Um Encircled-Flux-Compliance herstellen zu können und die auf der Verkabelungsstrecke verloren gehende Lichtleistung genau zu messen, benötigen Techniker zunächst qualitativ hochwertige Komponenten wie Messkabel, Kupplungen und Stecker. Ein falscher Messaufbau oder unterschiedli-

ches Equipment kann zu IL-Messungenauigkeiten 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 -energien 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  $\pm 0,09$  dB auftreten.

In allen Fällen entstehen Verluste: Indem oberflächenemittierende LED-Lichtquellen die Lichtenergie gleichmäßig über die ganze Fläche des Kerns verteilt übertragen, überfüllen sie die Multimodefaser bzw. ihren Kern. Grund dafür ist, dass Strahlungsfläche und Winkelverteilung größer als der Faserkern sind, wodurch 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 gehen. 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. 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 i.d.R. zu optimistisch. Ideale Einkopplungsbedingungen liegen vor, wenn sich das Licht über den gesamten Faserkern verteilt. Um Dämpfungsmessungen vergleichen zu kön-

André Engel ist Geschäftsführer der tde – Trans Data Elektronik GmbH in Dortmund, Wilfried Schneider ist Technischer Leiter/CTO bei der tde – Trans Data Elektronik GmbH

Radius	untere EF-Grenze	Ziel	obere EF-Grenze
10 µm	0,278 5	0,335 0	0,391 5
15 µm	0,598 0	0,655 0	0,711 9
20 µm	0,910 5	0,919 3	0,929 5
22 µm	0,969 0	0,975 1	0,981 2

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

Strahlwinkel	untere EAF-Grenze	obere EAF-Grenze
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

Tabelle 2: EAF-Anforderungen an eine numerische Apertur von 0,37 und 200-µm-Kern-Fasern bei 850 nm (Quelle: DIN EN 61300-1)

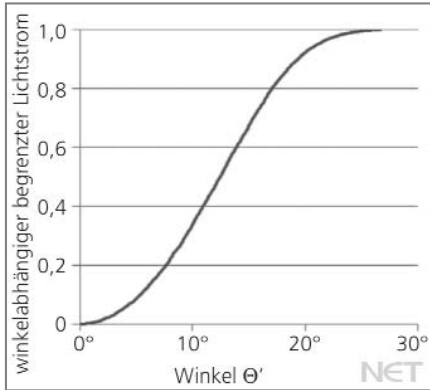


Bild 1: Beispiel für eine Vorlage für den winklabhängigen begrenzten Lichtstrom (Quelle: DIN EN 61300-1)

nen, sind die Einkoppelbedingungen entscheidend, unter denen Licht in einen Stecker geleitet wird. Denn nur, wenn die Übertragung des größten Teil des Lichts in einem genau definierten Teilbereich des Faserkerns erfolgt, sprechen Experten von Encircled Flux. Daher gilt es, die Anregungsbedingungen für die Einkopplung 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 festgelegte Anregungsbedingungen definiert und senkt dadurch die Messunsicherheit auf etwa 10 %.

## Entwicklung von Encircled Flux

Ursprünglich wurde die EF-Metrik für die Simulation von Übertragungsbroadbanden entwickelt. Dabei machten sich die Entwickler die entstehende Modendispersion bei gering begrenzter Bandbreite zunutze. Entstehung und Entwicklung der EF-Metrik stehen in engem Zusammenhang mit den Oberflächenemittern VCSEL: Dank ihrer hohen Datenrate und ihrer optimalen Eignung für die analoge Breitbandsignalübertragung kommen sie seit 1999 als optische Sender für die Highspeed-Übertragung zum Einsatz.

VCSEL-Lichtquellen arbeiten mit einer Wellenlänge von 850 nm, koppeln dabei aber das Licht anders ein als LEDs mit gleicher Wellenlänge: Sie emittieren einen schmalen Lichtstrahl, der in der Mitte des Glasfaserkerns am hellsten ist, nach außen hin schnell abdunkelt und den Kern nahe der Grenzschicht zum Mantel nicht mehr beleuchtet. Die Wellenlänge von 850 nm hat die IEEE auch für die Übertragung von VCSELs auf Multimodefasern für Gigabit Ethernet vorgegeben. Mit der Entwicklung des 10-Gigabit-Ethernet (10GE) kam es zur Festlegung der EF-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).

Der IEC-Standard 61300-3-53 kam 2016 neu hinzu: Er definiert den winklabhängigen begrenzten Lichtstrom für 200-µm-Kernfasern bei 850 nm. Bei dieser Encircled Angular Flux (EAF) genannten Einkoppelbedingung werden die meisten transversalen Moden angeregt (Tabelle 2). Der EAF bestimmt die Fernfeldmessung des Lichts, das vom Ausgang des Referenzgrad-Vorlaufkabels kommt. Unter EAF 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 1).

Je nach Lichtquellen variieren die Einkoppelbedingungen. Daher müssen Netztechniker VCSEL- und LED-Dioden sowie Laser an die EF-Bedingung anpassen. LED-Lichtquellen bilden die Grundlage vieler Standards wie IEE 802.3, 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 daher Multimode-Dämpfungsmessungen mit einer LED-Lichtquelle durchgeführt, kommen Mandrels zum Einsatz. Sie gewährleisten zuverlässige und reproduzierbare Ergebnisse, indem das mit der Lichtquelle verbundene Anschlusskabel so um den zylindrischen Wickeldorn (Mandrel) gewickelt wird, dass der Einfallswinkel an der Biegung kleiner ist als der Grenzwinkel der Totalreflexion (Bild 2). Dadurch lassen sich die Moden höherer Ordnung beseitigen, bevor das Testsignal in die zu prüfende Strecke eingekoppelt wird. Die gemessene Dämpfung verringert sich.

Für Multimode-Dämpfungsmessungen unter Verwendung einer Laserlichtquelle muss laut IEEE-802.3aq- und FOTP-203-Standard zusätzlich ein Fiber Shaker eingesetzt werden. Er passt die Speckle genannten helleren Sprengel durch Änderung der differenzialen Weglänge der unterschiedlichen



Bild 2: Mandrel Wrap beseitigt die Moden höherer Ordnung bei Multimode-Dämpfungsmessungen unter Verwendung einer Lichtquelle

chen Moden in der Faser an. Dazu schüttelt er die Faser während des Messvorgangs kontinuierlich, um die Speckles auszumitteln.

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

## IL-Messung in der Praxis

In der Praxis läuft die IL-Messung von LWL-Steckern (S2) oder Kabeln wie folgt ab: Netztechniker verbinden einen Testjumper mit einer Lichtquelle. Sie bringen am Ende des Testjumpers einen Stecker an (S1) und verbinden ihn mithilfe einer 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 in Abhängigkeit von der verwendeten Faser oder weiteren Zwischenadaptierungen signifikant verändern kann, muss ihre Compliance zwingend am Ende des Testjumpers kontrolliert werden. Als einer der wenigen Netzexperten weltweit überprüft tde laufend das gesamte Multimode-Mess-Equipment einschließlich aller Testjumper und garantiert so IEC-Konformität und Reproduzierbarkeit ihrer Testergebnisse (Bild 3).

## Vorteile von Encircled Flux

EF spielt auf vielen Ebenen ihre Vorteile aus: Mit den sorgfältig definierten Anregungsbedingungen lassen sich Ungenauigkeiten bei Dämpfungsmes-

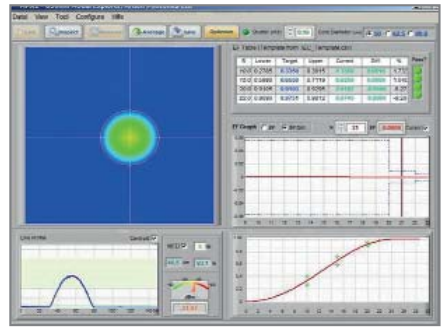


Bild 3: Messung der tde GmbH mit dem Modal Explorer MPX1 von Arden Photonics: Gescannt wird nur das Nahfeld des Kerns. Oben rechts ist der nach IEC 61280-4-1 definierte Teilbereich des Faserkerns erkennbar. Links oben sieht man das Nahfeld des Kerns

sungen nachweislich auf ca. 10 % reduzieren. Auch eine gute Performance in Highspeed-Netzen bei Verwendung von 850-nm-VCSELs in 10GE-Systemen lässt sich nur unter Einhaltung von EF gewährleisten. Das gilt auch für neue Techniken 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 EF auch die bessere Vergleichbarkeit unterschiedlichen Mess-Equipments. Doch auch wenn viele Hersteller mittlerweile EF-Compliance für ihre Messgeräte garantieren, so gilt die Einhaltung nur für den Messgeräteausgang. Wird ein Adapterkabel zwischen Messgeräteausgang und Prüfling geschaltet, können sich die am zu messenden Stecker anliegenden Einkoppelbedingungen wieder völlig ändern. Mögliche Gründe hierfür sind Fasertypen unterschiedlicher OM-Kategorien, deren Kombination, die Verbindungsanzahl oder sogar unterschiedliche Faserhersteller und Kabellängen. Deshalb ist EF kein statischer Parameter, vielmehr verändert sich die Anregungsbedingung dynamisch im Lauf einer Kabelstrecke. Um verlässliche und vergleichbare Messergebnisse erzielen zu können, müssen Hersteller und Netzingenieure die Einkoppelbedingungen direkt vor dem zu messenden Stecker prüfen. Nur hier lässt sich Encircled Flux erfolgreich umsetzen. (bk)