

## Sonderdruck für j-fiber GmbH

### Biegeunempfindliche Multimode-Fasern im RZ

## Auf Biegen und Brechen

Biegeunempfindliche Fasern versprechen niedrige Verluste auch bei kleinsten Biegeradien von wenigen Millimetern. So lassen sich Dämpfungserhöhungen vermeiden. Aber diese Eigenschaften müssen durch Kompromisse im Faserdesign erkaufte werden. Es gilt, alle Aspekte zu beleuchten und genau abzuwägen, ob die Vorteile bei biegeunempfindlichen Multimode-Fasern die Nachteile überwiegen.

Lichtwellenleiter kommen schon längst nicht nur in Weitverkehrsstrecken mit sehr hohen Datenraten und Entfernungen von mehreren hundert Kilometern zum Einsatz. Bei Einmodenfasern für den Zugangsbereich ist seit ein paar Jahren ein Trend zu biegeunempfindlichen Fasern zu beobachten, mit denen auch noch Verlegungen auf engstem Raum, über zum Teil sehr scharfe Ecken herum und sogar eine (vielleicht nicht unbedingt empfehlenswerte) Befestigung mittels Heftklammern möglich sind. Ähnliche Ansätze sieht man nun auch bei Multimodenfasern (MMF), die ihrerseits sehr enge Biegeradien garantieren sollen, und zwar ohne eine signifikante Dämpfungserhöhung. Allerdings sind bei MMF einige zusätzliche Dinge zu beachten, beispielsweise die Leistungsver-

teilung bei der Einkopplung in die Faser, sodass man oft einen Kompromiss bezüglich weiterer Eigenschaften wie Bandbreite und Steckerdämpfung eingehen muss. Während man die Übertragungseigenschaften von Einmodenfasern direkt messen kann, hängen diese bei MMF nämlich davon ab, welche Moden abgeregt sind und wie viel Leistung sie führen. Die Moden sind im Allgemeinen unterschiedlich schnell, was zu einer begrenzten Bandbreite führt, zum anderen erfahren sie unterschiedlich große Verluste entlang der Faser oder an Steckern und Spleißen, sodass die Auswirkung von Verbindungsstellen je nach Leistungsverteilung auch unterschiedlich stark sein kann. Zudem liegt der Einsatzbereich von MMF oft gar nicht in der Gebäudeverkabelung,

sondern eher in Rechenzentren, Vermittlungsstellen und anderen technischen Einrichtungen mit einem hohen Bedarf an hochbitratigen Kurzstreckenverbindungen. Dort spielt die Installation in engen Schächten und um scharfe Ecken kaum eine Rolle, sodass sich die Frage stellt, welchen Nutzen biegeunempfindliche MMF in der Realität wirklich haben und ob dieser die einzugehenden Kompromisse aufwiegt.

### Aufbau

Biegeverluste entstehen dadurch, dass in Biegungen ursprünglich geführte Moden Leistung an nicht geführte Strahlungsmoden abgeben. Es entsteht im Allgemeinen eine Umverteilung von Leistung von niedrigen Moden, die die Leistung eher im Zentrum der Faser um die Faserachse herum konzentrieren, hin zu höheren Moden, die eine breitere Feldverteilung aufweisen und die Leistung eher am Kernrand führen, oder sogar zu noch höheren Moden, die gar nicht mehr richtig geführt werden und ihre Leistung langsam abstrahlen. Zudem sind in einer gebogenen Faser alle Moden verlustbehaftet. Dies lässt sich bildlich damit erklären, dass die äußeren Felder einen längeren Weg zurücklegen müssen und somit weiter außen immer schneller sein müssen.

Ab dem Radius, für den die Ausbreitungsgeschwindigkeit die Lichtgeschwindigkeit überschreiten würde, wird die Leistung wie bei einer Antenne abgestrahlt. Für ge-

ringere Biegeverluste muss das Licht also stärker innerhalb der Faser geführt sein und die Felder nach außen schnell abklingen. Dies lässt sich in der Regel nur durch einen möglichst großen Brechzahlunterschied zwischen Kern- und Mantelbereich realisieren. Da genau diese Brechzahl-differenz auch die numerische Apertur der Faser definiert, ist diese bei biegeunempfindlichen Fasern meist etwas erhöht.

Um den Standard für die numerische Apertur einzuhalten, weisen biegeunempfindliche Fasern oft zusätzlich Grabenstrukturen – also Bereiche mit lokal abgesenktem Brechungsindex – direkt am Kernrand auf. Diese Bereiche wirken lokal wie ein Stufenprofil und sorgen dafür, dass dort mehr Moden geführt werden können. Den schematischen Aufbau solcher Brechzahlprofile zeigt das Bild oben.

### Auswirkungen auf die Leistungsverteilung

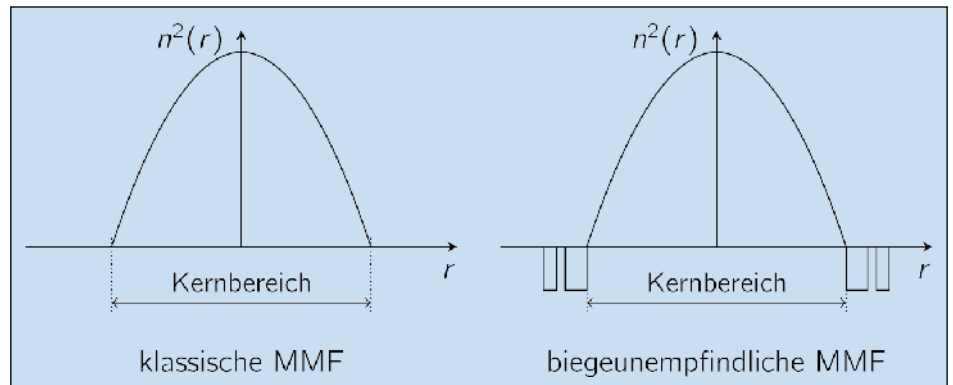
Das graduell abfallende Brechzahlprofil einer normalen MMF sorgt dafür, dass die ausbreitungsfähigen Moden ungefähr die gleichen Laufzeiten aufweisen. Gleichzeitig bewirkt es, dass im Zentrum der Faser nahe der Achse mehr Leistung geführt werden kann und diese zum Rand hin immer mehr abnimmt. Dies ist bei biegeunempfindlichen MMF anders. Durch die Grabenstrukturen am Rand des Kerns können sich dort mehr Moden ausbreiten, sodass sich das Verhältnis der ausbreitungsfähigen Moden mehr zu den höheren Moden hin verschiebt. Da das Brechzahlprofil zum Rand des Kerns hin immer steiler wird und sich somit die Brechzahl zum Rand hin immer schneller verringert, sind die Laufzeiten der höheren Moden schwerer zu kontrollieren.

Der zum Rand hin zunehmende Einfluss des Mantels verstärkt diesen Effekt noch.

Aus diesem Grunde gilt die Forderung, dass bei der Einkopplung ein Großteil der Leistung eher in die inneren Bereiche der Faser gekoppelt wird und nur ein gewisser Anteil der Leistung in den höheren Mode eingeht. Für die Beurteilung der Bandbreite der Faser geht man zudem davon aus, dass die höchsten Moden mit viel Leistung nahe des Mantelbereichs so viel Dämpfung erfahren, dass sie recht schnell ab-

tungsverteilung messen. Die Leistungsverteilung erfüllt weiterhin die Vorgaben.

Aus den obigen Ausführungen lässt sich schließen, dass biegeunempfindliche MMF zwar zu kaum einer Dämpfungserhöhung führen, dafür aber tendenziell breitere Leistungsverteilungen aufweisen und auch noch die höchsten Moden angeregt sind. Dies kann dazu führen, dass die Faser nach der Biegung so ungünstig angeregt



**Um gute Werte für die numerische Apertur zu erreichen, weisen biegeunempfindliche Fasern oft zusätzlich Grabenstrukturen – also Bereiche mit lokal abgesenktem Brechungsindex – direkt am Kernrand auf.**

klingen und die Bandbreite nicht negativ beeinflussen können.

Bei der Fertigung wird natürlich die Bandbreite der Faser unter kontrollierter Einkopplung oder Leistungsverteilung gemessen, sodass die vorgegebene Bandbreite zunächst gewährleistet ist. Bei Biegungen, für die die Faser ausgelegt ist, tauschen die Moden Leistung untereinander aus, sodass man nach der Biegung mehr Leistung in den hohen und höchsten Moden der Faser messen kann und die ursprünglichen Annahmen über die Leistungsverteilung nicht automatisch noch erfüllt sein müssen. Bei klassischen MMF entsteht zwar zunächst derselbe Effekt. Da die Biegung jedoch dazu führt, dass die höheren Moden stark gedämpft sind und zu einem Biegeverlust führen, kann man eher schmalere Leis-

istungsmessungen erwarten. In der Praxis ist, dass ihre Bandbreite stark abnimmt, sogar deutlich unter den unter Standardbedingungen gemessenen Wert. Da gerade die höchsten Moden oft die stärksten Laufzeitstörungen aufweisen, ist dieser Fall gar nicht so ungewöhnlich. Man muss also unter Umständen abwägen, ob die Dämpfungserhöhung oder eine Bandbreitenverringernung schwerer wiegen.

Christian-Alexander Bunge  
und Andreas Huth/jos

Christian-Alexander Bunge ist an der Hochschule für Telekommunikation Leipzig im Bereich FG Optische Nachrichtentechnik tätig, Andreas Huth bei J-Fiber in Jena.

Info: j-fiber GmbH  
Tel.: 03641/352144  
Web: www.j-fiber.de