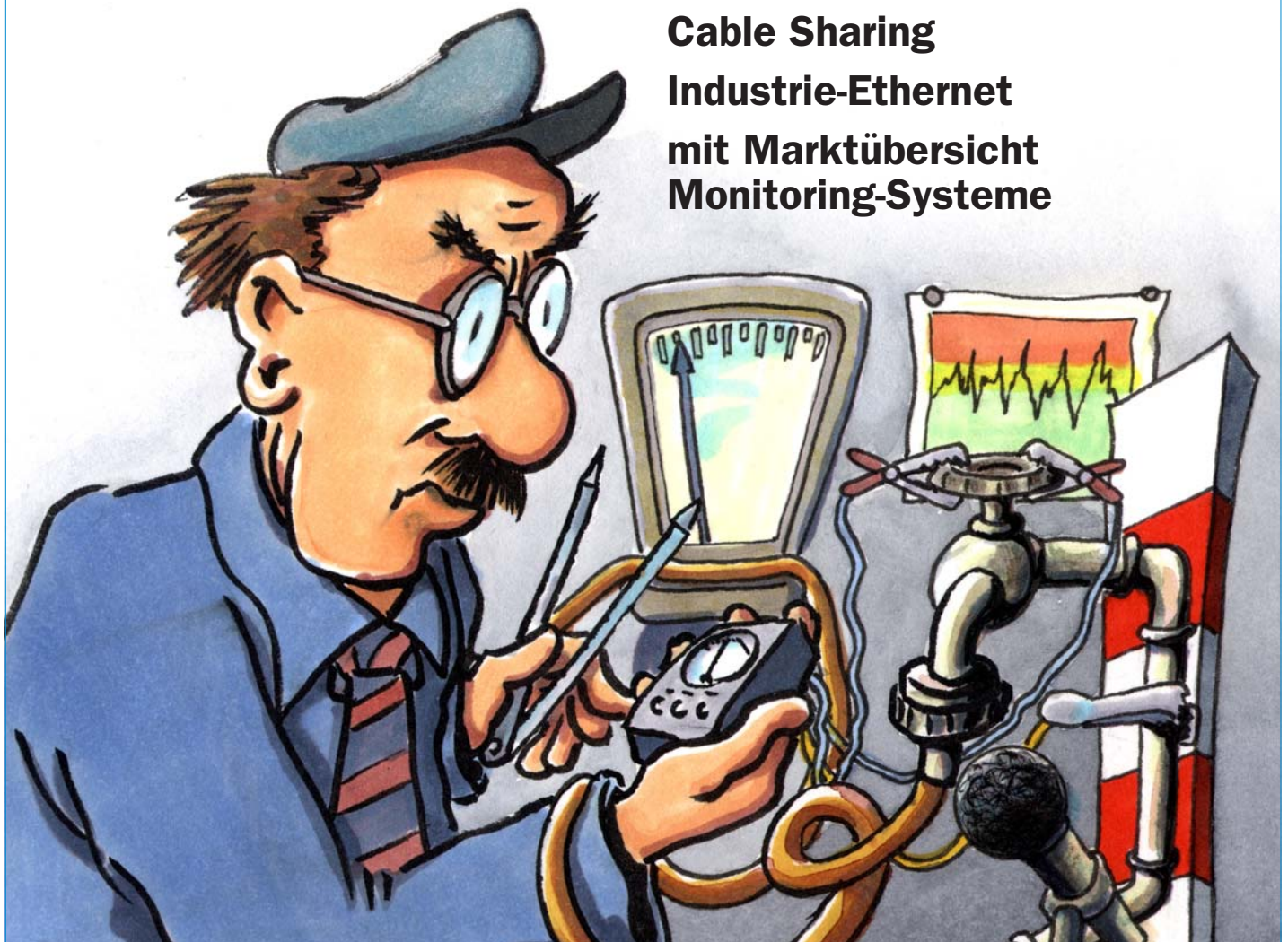


Sonderdruck für Corning

Messtechnik und Verkabelung

Klassifizierung von Glasfasern
Cable Sharing
Industrie-Ethernet
mit Marktübersicht
Monitoring-Systeme



Bandbreitencharakterisierung von Mehrmodenfasern

Bandbreitenpotenzial von Glasfasern

Bandbreitenpotenzial von Glasfasern

Eine zuverlässige Multi-Gigabit-Systemleistung für Lichtwellenleiter erfordert nach Einschätzung von Experten aus dem Haus Corning den Einsatz von minEMBc, einem neuen Verfahren zur Laserbandbreitenmessung für die Charakterisierung von laseroptimierten Mehrmodenfasern. minEMBc bietet eine Glasfaserbandbreitenspezifikation, die das tatsächliche Bandbreitenpotenzial der Glasfaser beschreibt, und ist für alternative Distanzen skalierbar.

Mehrmodenfasern zählen schon seit geraumer Zeit zu den attraktivsten Optionen für kosteneffektive optische Industriernetzwerke, die einen durchgehenden Upgrade-Pfad von 10 MBit/s bis zu 10 GBit/s und darüber hinaus bieten. Durch den zunehmenden Bandbreitenbedarf und höhere Datenraten findet in der Branche ein Übergang vom MBit/s- zum GBit/s-Bereich statt, der laseroptimierte Mehrmodenfasern und Transceiver auf Laserbasis anstelle der langsameren Transceiver auf LED-Basis erfordert. Dieser Wandel beruht auf der breiten Einführung von GBit-/Multi-GBit-Protokollen (zum Beispiel Ethernet, Fibre Channel etc.) und dem wachsenden Interesse an Lösungen, die 10-GBit/s-fähig sind und die kostengünstige VCSEL-Technik (Vertikallaserdioden) nutzen. Die folgenden Überlegungen erläutern, warum das standardisierte Laserbandbreitenmessverfahren mit der Bezeichnung „minEMBc“

(Calculated Minimum Effective Modal Bandwidth = Minimale berechnete effektive modale Bandbreite) für die Multi-Gigabit-Übertragung über laseroptimierte Mehrmodenfasern erforderlich ist. Im Vordergrund stehen dabei die Vorteile von minEMBc gegenüber dem älteren DMD-Maskentestverfahren (normierte Masken), das in der frühen Phase der 10-Gigabit-Ethernet-Standardisierung entstand.

Übergang zur Mehrmodenfaser

Es ist von großer Bedeutung, dass Mehrmodenfasern während der Herstellung gemessen und charakterisiert werden, da Faserbandbreitenmessungen bei der Anwendung vor Ort nicht möglich sind. Der Übergang von der LED-optimierten zur laseroptimierten Glasfaser [1] begann 1981 (Bild 1). Gleichzeitig wurde das OFL-Mehrmodenfaserbandbreitencharakterisierungsverfahren (OFL = Overfilled Launch), das zum Testen konventi-

oneller LED-optimierter Glasfasern in den 80er-Jahren entstand, durch RML2 (Restricted Modal Launch), das erste laseroptimierte Faserbandbreitenmessverfahren [2], ersetzt. Während der Entwicklung des 10-Gigabit-Ethernet-Standards [3] wurde das umfassendere Laserbandbreitentestverfahren DMD eingeführt, und 2004 – als Reaktion auf den Übergang zu Multi-Gigabit-Anwendungen über Mehrmodenfaser – entwickelten die Experten mit minEMBc ein genaueres und robusteres Bandbreitenmessverfahren [4].

Die OFL-Methode nutzt eine LED-ähnliche Einkopplung mit „Überfüllung“ des Kerns einer LED-optimierten Mehrmodenfaser. Man erhöht die Modulationsfrequenz des Eingangssignals so lange, bis sich eine Verringerung der Amplitude des Ausgangssignals um 3 dB (50 Prozent) feststel-

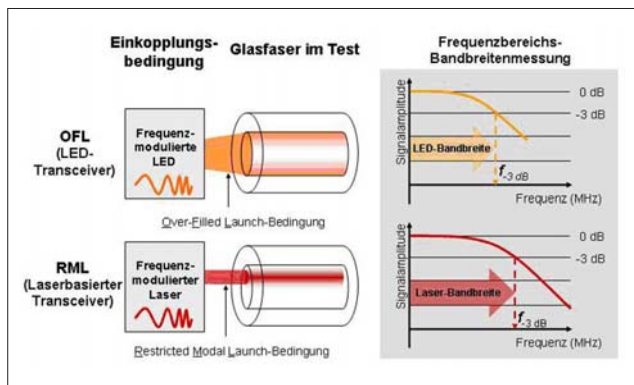


Bild 2. OFL-Testmethode für LED-Betrieb und RML-Testmethode für Laserbetrieb über Mehrmodenfasern

len lässt (Bild 2). Dieser Frequenzpunkt wird mit der Glasfaserlänge multipliziert, um die normierte Bandbreite (MHz.km) bei 850 und 1300 nm zu bestimmen. Im Gegensatz zu laseroptimierten Mehrmodenfasern, die bei 850 nm eine höhere Bandbreite haben, um VCSEL-Lasertechnologie nutzen zu können, haben LED-optimierte Glasfasern in der Regel bei 1300 nm eine höhere OFL-Bandbreite. Um dem Übergang zu laseroptimierten Glasfasern Rechnung zu tragen, entstand der Standard RML, der eine laseroptimierte Einkopplung mit definiertem Versatz zur Faserkernmitte (durch ein Mode-Conditioning Patchcord) verwendet. RML simuliert die kleinere (selektive) Spot-Größe eines Lasers (Bild 2). Auf diese Weise ist es möglich, die Mehrmodenbandbreite mit Lasern, die typischerweise mit bis zu 1 GBit/s arbeiten, genauer vorherzusagen.

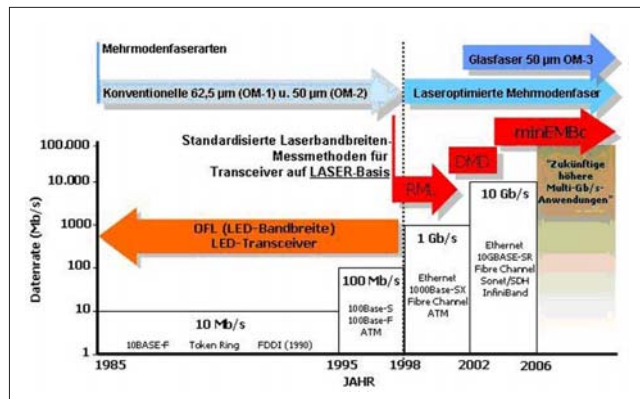


Bild 1. Die Entwicklung von Bandbreitenmessverfahren, Mehrmodenfaser- und Industrieanwendungen

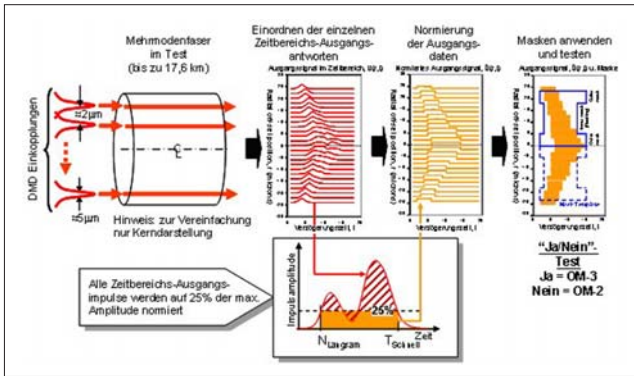


Bild 3. Das DMD-Testverfahren mit normierten Masken

DMD-Bandbreitenmesstechniken

Die Einführung der DMD-Testmethode markierte den Beginn des Übergangs zu einer komplexeren Bandbreitenbeurteilung mit Zeitbereichsanalyse anstelle der Frequenzbereichsanalyse bei OFL und RML. Das DMD-Testverfahren mit normierten Masken [5] wurde zu Beginn der Entwicklung des 10-Gigabit-Ethernet-Standards eingeführt, der 2002 erschien. Daher ermöglicht das DMD-Testverfahren mit normierten Masken nur die Zertifizierung für Glasfasern der OM-3-Klasse [6] bei 10 GBit/s über die Übertragungsdistanz von 300m, wie im 10-Gigabit-Ethernet-Standard (IEEE 802.3ae) angegeben. Glasfasern, die diesen Test nicht bestehen, fallen der Klasse OM-2 zu. Das DMD-Verfahren nutzt einen Monomodelaser, der stufenweise den Glasfaserkern scannt (es kommt kein VCSEL zum Einsatz, da die Leistung zu gering ist, um die Dämpfung der während der Herstellung getesteten Glasfaserrollen mit voller Länge zu überwinden). Auf jeder Stufe koppelt das System einen Laserimpuls in die Glasfaser ein und misst

die Verzögerungszeit der Ausgangsantwort, um ein wie in Bild 3 dargestelltes DMD-Ausgangsprofil zu erzeugen. Damit lässt sich die modale Verzögerungsstruktur der getesteten Glasfaser vollständig erfassen. An diesem Punkt analysiert ein Rechner alle Ausgangsantworten und normiert sie auf 25 Prozent der maximalen Impulsamplitude. Dabei

werden erfasste Daten, die Details der Ausgangsantwortinformationen mit Bezug zur Quelle enthalten, praktisch gelöscht (Bild 3, das diesen Vorgang durch die Quantisierung der Ausgangswellenform illustriert). Die normierte Antwort durchläuft anschließend eine Analyse bezüglich einer Reihe von bis zu sieben verschiedenen Maskengruppen,

Das „Ja/Nein“-Testkriterium für DMD-Masken liefert kein Maß des tatsächlichen Bandbreitenpotenzials der Glasfaser. Die Skalierung der DMD-Masken zum Testen von Mehrmodenfasern für längere Übertragungslänge (zum Beispiel 550m) kann unzuverlässig sein, da ein großer Teil der Ausgangsmessinformationen verloren geht und normierte DMD-Antworten die tatsächliche Kapazität der Glasfaser überschätzen können.

minEMBc stellt eine erhebliche Verbesserung gegenüber dem DMD-Testverfahren mit normierten Masken dar und misst im Gegensatz zum DMD-Maskenverfahren die tatsächliche Bandbreite der Glasfaser. Dies trägt der Tatsache Rechnung, dass die Bandbreite des Gesamtsystems eine Funktion sowohl der Bandbreiteneigenschaften der Glasfaser als auch der speziellen Eigenschaften der verschiedenen Laserquellen

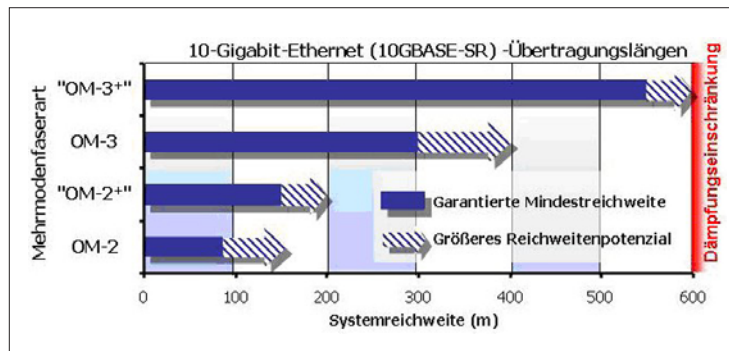


Bild 5. Höhere 10-GBit/s-Reichweite durch mit dem minEMBc-Verfahren gemessene Glasfasern

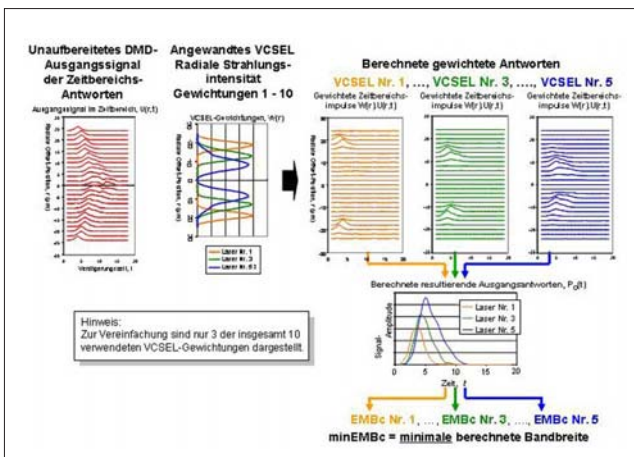


Bild 4. Illustration der minEMBc-Bandbreitenmessung

die alle empirisch vom 10GbE-Standard für die 10-GBit/s-Leistung über 300m abstammen.

Jede Maske beschreibt eine Gruppe von schnellen und langsamen Verzögerungszeitrandbedingungen entsprechend der Offset-Position der Lasereinkopplung relativ zur Mittelachse der Glasfaser. Wenn die normierten Verzögerungszeitausgangsantworten vollständig innerhalb der Randbedingungen mindestens einer der Masken liegen, dann erfüllt die Glasfaser die DMD-Kriterien des 10-Gigabit-Ethernet-Standards für die 300m-Strecke, und man geht von einer effektiven modalen Bandbreite (Effective Modal Bandwidth, EMB) von mindestens 2000 MHz.km aus.

ist. Normkonforme VCSELs decken einen weiten Bereich von Emissionseigenschaften ab, die für jede Mehrmodenfasern sehr unterschiedliche Bandbreitenergebnisse liefern können. Das minEMBc-Testverfahren enthält die Lasereigenschaften von zehn verschiedenen VCSEL-Quellen, deren Auswahl während der Entwicklung des IEEE 802.3ae Standards [7] von der TIA vorgenommen wurde, und repräsentiert den gesamten Bereich der 10G-standardkonformen VCSELs, um den möglichen Bereich der Faserlaserbandbreitenleistungen zu bestimmen.

minEMBc nutzt das DMD-Verfahren für die erste Phase des Messprozesses, bei der der Monomodelaser den Kern der Mehrmodenfasern scannt und eine Aufzeichnung der Laserausgangsimpulse stattfindet. Anschließend werden die Abstrahlprofile der zehn VCSELs mathematisch auf das DMD-Verzögerungszeitprofil angewendet,

minEMBc-Verfahren		DMD-Testverfahren mit normierten Masken
✓ Genauere Bandbreitenbeurteilung von Glasfasern auf Basis aller normkonformer Transceiver	✗	DMD-Verfahren kann die unterschiedlichen VCSEL-Charakteristiken nicht berücksichtigen
✓ Kann tatsächliche Laser-Bandbreiteninformationen messen – Laserbandbreitenwert	✗	Nur „Ja/Nein“-Test für prognostizierten EMBc-Wert von 2000 MHz.km
✓ Skalierbare Messung für alternative Datenraten oder längere/kürzere Übertragungsdistanzen	✗	Leistungsprognose nur für 300m, keine Standardmaskengruppen für etwa 550m.
✓ Ermöglicht die Darstellung der Systemreserve für Systemzuverlässigkeit und zukünftige Upgrades.	✗	Nur „Ja/Nein“-Test

Tabelle 1. Das minEMBc-Verfahren zur Bandbreitencharakterisierung hat Vorteile gegenüber dem DMD-Verfahren

um zehn verschiedene VCSEL-Ausgangsantworten zu generieren. Dieser Prozess ahmt eine Testreihe nach, in der der gesamte Bereich konformer VCSELs für die direkte Charakterisierung der Glasfaserleistung verwendet würde. Aus den zehn VCSEL-Ausgangsantworten leiten sich zehn separate Werte für die effektive modale Bandbreite (EMBc in MHz.km) für die Glasfaser ab. Die minEMBc-Spezifikation der Glasfaser ist durch den niedrigsten der zehn Werte festgelegt und garantiert damit die Anwendungsleistung über den gesamten Bereich standardkonformer Transceiver. Im Gegensatz zum DMD-Test lässt sich minEMBc für alle 10-Gbit/s-Übertragungsdistanzen skalieren (innerhalb des Betriebsbereichs standardkonformer Transceiver), die in realen Netzwerkanwendun-

gen zum Einsatz kommen. Das minEMBc-Verfahren lässt sich zudem so erweitern, dass verschiedene Datenraten und die Auswirkungen anderer Lasereigenschaften wie Wellenlänge und spektrale Breite mit einfließen. Dadurch ist eine schnelle Anpassung an die Weiterentwicklung der Transceiver- und Glasfasertechnik möglich.

Übertragungsdistanz aus Laserbandbreitenmessungen

Die Reichweite von Mehrmodenfasern hängt von vielen Faktoren ab, die mit den Eigenschaften jeder Glasfaser, der Anzahl der Verbindungsstellen und den Transceiver-Eigenschaften korrelieren. Die minimale Bandbreite, gemessen mit dem minEMBc-Verfahren, ermöglicht zusam-

men mit den zusätzlich notwendigen Glasfaser- und Transceivereigenschaften die Berechnung der Systemstreckenlänge auf der Grundlage der veröffentlichten IEEE-Modelle [8], die von zentraler Bedeutung für die Entwicklung sowohl des „Gigabit-“ als auch des „10-Gigabit-Ethernet“-Standards waren). Die durch das minEMBc-Verfahren gelieferten tatsächlichen Werte der Glasfaserbandbreite übertreffen oft die von den relevanten Glasfaserstandards geforderten Mindestspezifikationen. In einem solchen Fall kann die überschüssige Bandbreite mit Hilfe des IEEE-Modells in zusätzliche Systemreichweite oder eine höhere Systemreserve für optimale Systemleistung übersetzt werden. Höhere Systemreserven durch Glasfasern mit höherer Bandbreite können den Einsatz zusätzlicher Verbinder oder von Multifasersteckverbinder erlauben, was eine schnellere Installation oder größere Installationsflexibilität ohne Beeinträchtigung der Systemreichweite ermöglicht (Bild 5). Die Laserbandbreitenspezifikationen von nicht mit dem minEMBc-Verfahren gemessenen Mehrmodenfasern können weniger genau sein und somit dem Systementwickler weniger Möglichkeiten zur Maximierung der Systemleistung geben.

Fazit

Eine maximierte, zuverlässige und kosteneffektive Multi-Gigabit-Systemleistung erfordert den Einsatz von minEMBc, einem Verfahren zur Laserbandbreitenmessung für die zuverlässige Charakterisierung von laseroptimierten Mehrmodenfasern. Das minEMBc-Verfahren bietet eine Glasfaserbandbreitenspezifikation, die das tatsächliche Bandbreitenpotenzial der Glasfaser beschreibt, und ist für alternative Distanzen skalierbar. minEMBc ist zudem nach Einschätzung des Autors das einzige Verfahren zur Laserbandbreitencharakterisierung, das die unterschiedlichen Abstrahleigenschaften der VCSEL-Quellen berücksichtigt.

Dr. Russell Ellis/jos

Dr. Russell Ellis ist bei Corning Optical Fiber tätig.

Info: Corning Cable Systems GmbH & Co. KG
kostenlose Nummer: 00 800 2676 4641
www.corningcablesystems.com

Referenzen

- [1] TIA Task Force for Modal Dependence of Bandwidth during development of IEEE 802.3 1998 (TIA-Arbeitsgruppe zu „Modale Abhängigkeit der Bandbreite“ während der Entwicklung von IEEE 802.3 1998)
- [2] RML laser bandwidth measurement as per TIA-EIA 455-204 and IEC 60793-1-41 (RML-Laser-Bandbreitenmessung gemäß TIA-EIA 455-204 und IEC 60793-1-41)
- [3] „10 Gigabit Ethernet standard“ IEEE 803.2ae 2002 („10 Gigabit-Ethernet-Standard“ IEEE 803.2ae 2002)
- [4] minEMBc DMD based high-performance laser bandwidth measurement as per TIA/EIA 455-220A and IEC 60793-1-49 (minEMBc-Hochleistungslaser-Bandbreitenmessungen auf DMD-Basis gemäß TIA/EIA 455-220A und IEC 60793-1-49)
- [5] DMD Normalized-mask test method for 10 Gigabit Ethernet as per TIA/EIA 455-220 and IEC 60793-1-10 (DMD-Testverfahren mit normierten Masken für 10-Gigabit-Ethernet gemäß TIA/EIA 455-220 und IEC 60793-1-10)
- [6] Structured Cabling Standards for Premises Cabling Applications ISO/IEC 11801 2nd Edition (Standards zur strukturierten Verkabelung für Gebäudeverkabelungsanwendungen ISO/IEC 11801, 2. Ausgabe)
- [7] http://www.ieee802.org/3/ae/public/adhoc/serial_pmd/documents/10GEPBud3_1_16a.xls
- [8] Encircled Flux measurement for laser sources as per TIA FOTP 203 and IEC 61280-1-4 (Messung des radialen Strahlungsflusses für Laserquellen gemäß TIA FOTP 203 und IEC 61280-1-4)
- [9] Corning white paper, „Application Link Lengths for Standardized Fiber Types“ (Corning White Paper: „Streckenlängen für Anwendungen standardisierter Glasfaserarten“)