

Anwendungen Optischer Polymerfasern

Applications of Polymer Optical Fibers

Olaf Ziemann, Hans Poisel
Polymer Optical Fiber Application Center, FH Nürnberg,
Wassertorstraße 10, 90489 Nürnberg, Tel./Fax. 0911-5880-1060/5060,
mail: olaf.ziemann@pofac.fh-nuernberg.de; web: www.pofac.de

Übersicht:

Seit vielen Jahren ist die Glasfaser aus der Welt der Telekommunikation unverzichtbar geworden. Längst sind alle langen Übertragungstrecken optisch realisiert. Seit einigen Jahren werden auch immer mehr Haushalte mit Glasfasern an die Telekommunikationsnetze angeschlossen (FTTH). Auch wenn Deutschlands größter Netzbetreiber bislang nur auf DSL setzt, werden in einigen Jahren Datenraten zwischen 100 und 1000 Mbit/s zum Standard werden.

Für die Verkabelung innerhalb von Wohnungen und Gebäuden hat die Glasfaser diverse Nachteile, insbesondere im Bereich der Montage. Mit biege-unempfindlichen Fasern (BIF) kann eines der Probleme gelöst werden, der Nachteil des kleinen Kerndurchmessers bleibt aber bestehen.

Optische Polymerfasern (POF) mit 1 mm Kerndurchmesser können von jedem Nutzer ohne technische Vorkenntnisse und speziellem Werkzeug selber installiert werden. Lange Zeit wurden diese Fasern nur für niedrige Bitraten bis 25 Mbit/s verwendet (z.B. in Fahrzeugnetzen oder der Automatisierung). Inzwischen bieten ca. 2 Dutzend Hersteller Fast-Ethernet-Komponenten (125 Mbit/s) kommerziell an. Der vorliegende Beitrag zeigt, daß auch für 1 Gbit/s die Kapazität der Standard-POF ausreichend ist, und entsprechende Systeme unmittelbar vor der Markteinführung stehen. Damit bildet die POF die ideale Ergänzung für die schnellen Zugangsnetze auf Glasfaserbasis.

Abstract:

The glass fiber becomes indispensably in the telecommunications world since many years. All long distance transmission lines are optical connections now. More and more households are connected to the communication networks by glass fibers (FTTH) in the last years. Even if Germany's largest network provider offers only DSL connections up to now, data rates between 100 and 1000 Mbit/s will become a standard in the next years.

The glass fiber has several disadvantages for the cabling inside of apartments and buildings, mainly in the installation process. Using bend insensitive fibers (BIF), one of these problems can be solved, the disadvantage of the small core diameter remains.

Polymer Optical Fibers (POF) with 1 mm core diameter can be installed by the every customer itself without any experience and special tools. Over a long time, this fiber was used for low data rates up to 25 Mbit/s only (e.g. in car networks and automation). About 2 dozen manufacturers offer commercially Fast-Ethernet components (125 Mbit/s) in the meantime. This paper will show, that the capacity of the standard POF is sufficient 1 Gbit/s too, and that corresponding systems are just before the market introduction. The POF can be the perfect addition to glass fiber based high speed access networks.

1. Die 1 mm Standard-POF

Der Begriff Standard-POF hat sich seit vielen Jahren eingebürgert. Generell versteht man darunter 1 mm-Fasern in „Data Grade“ Qualität. Typische Parameter dieses Fasertyps sind:

- Kerndurchmesser: 980 μm
- Kernmaterial: PMMA
- optischer Mantel: 10 μm , Fluorpolymer
- Schutzmantel: 2,2 mm (2,3 mm bei MOST)
- Numerische Apertur: $0,50 \pm 0,045$
- Indexprofil: Single Step Index

- Dämpfung 650 nm: < 150 dB/km
- Dämpfung 520 nm: < 110 dB/km
- Bandbreite (EMD): 40 MHz · 100m
- Biegeradius: 20 mm
- Arbeitstemperatur: $-40^{\circ}\text{C} .. +85^{\circ}\text{C}$

In der internationalen Standardisierung (IEC-60793-2-40, [1]) gehörte diese Faser zur Klasse A4a, in die allerdings auch qualitativ minderwertigere Fasern der Beleuchtungstechnik fielen. Seit Beginn 2008 gibt es eine enger spezifizierte Subklasse A4a.2, die speziell für Heimverkabelung vorgesehen ist. Alle großen Hersteller erfüllen diese Anforderungen bereits.

2. Gigabit über POF

Mit einer typischen Bandbreite von 40 MHz für eine 100 m lange Faser ist eine direkte Übertragung von Fast-Ethernet mit NRZ-Modulation nur mit einer gewissen Penalty möglich, eine Gigabit-Übertragung ist zunächst unmöglich. Dies gilt aber auch für andere Übertragungsmedium, beispielsweise für symmetrische Datenkabel.

In den letzten 2 Jahren wurde die Übertragung von 1 bis 2 Gbit/s über 100 m Standard-POF von verschiedenen Instituten realisiert. Ein bedeutender Teil der aktuellen Arbeiten erfolgte dabei im Rahmen des von der EU geförderten Projektes POF-ALL (www.ist-pof-all.org). Nachfolgend werden einige der wichtigsten Ergebnisse vorgestellt.

2.1 Gigabit mit DMT

Bei W-LAN, PLC und DSL werden hohe Datenraten durch optimale Ausnutzung des verfügbaren Kanals erreicht. Die nutzbare Bandbreite wird in viele Unterträger aufgeteilt, auf denen dann Datenübertragung mit QAM unterschiedlicher Modulationstiefe erfolgt.

Erstmalig wurde DMT (Discrete Multi Tone) Methode von Siemens realisiert ([2]). Bei einem Frequenzbereich von 200 MHz wurde eine Brutto-Datenrate von 1.008 Mbit/s (nach FEC: 945 Mbit/s) über 100 m St.-POF erzielt. Bild 1 zeigt das Sendespektrum.

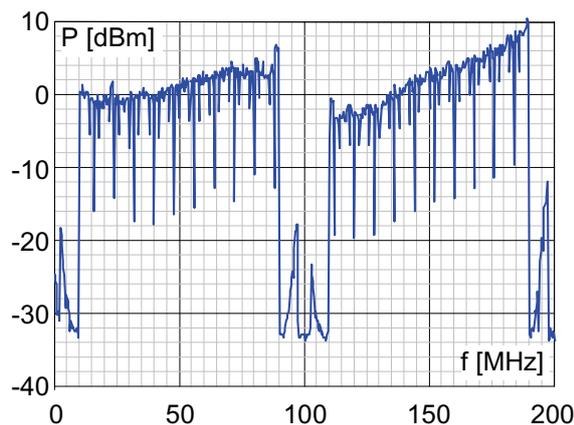


Bild 1: Sendespektrum für 1.008 Mbit/s über 100 m St.-POF (Siemens 2006)

Da für so hohe Datenraten noch keine kommerziellen Komponenten verfügbar sind, erfolgte die Signalerzeugung mit einem AWG, die Detektion mit einem schnellen DSO und die Demodulation wurde offline auf einem PC durchgeführt. Bild 2 zeigt zwei typische Unterträger.

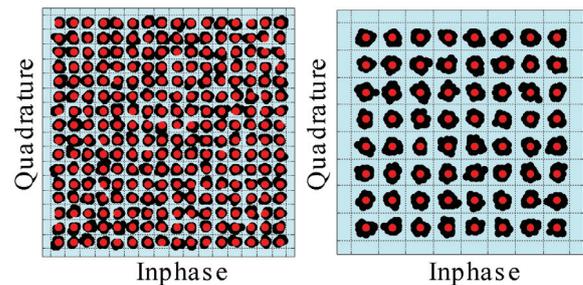


Bild 2: Konstellationsdiagramme für 1.008 Mbit/s über 100 m St.-POF (Siemens 2006)

Der Vorteil der DMT-Technik liegt auch darin, daß relativ langsame optische Komponenten verwendet werden können. Für die Übertragung von 1 Gbit/s werden eigentlich relativ teure und schwierig zu betreibende Laserdioden benötigt. Mit DMT können problemlos auch verschiedene LED verwendet werden.

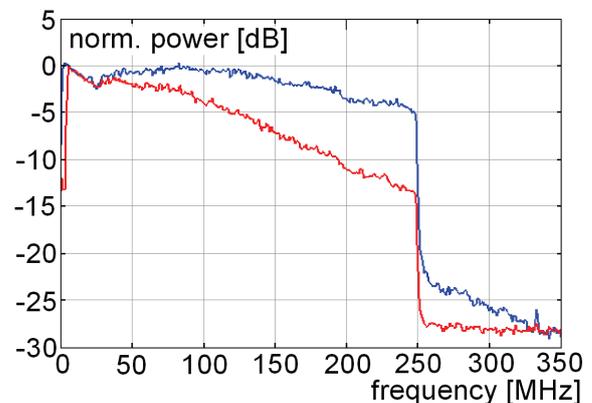


Bild 3: Sende- und Empfangsspektrum für 1.106 Mbit/s über 50 m St.-POF mit roten LED (Siemens 2007)

Bild 3 zeigt das Sende- und Empfangsspektrum für die Übertragung mit einer roten LED ([3]). Die genutzte Bandbreite war hier auf 250 MHz erweitert worden. Auch mit blauen LED konnten weit über 1 Gbit/s übertragen werden.

Weitere Optionen für Sender in POF-Systemen mit DMT sind RC-LED oder rote VCSEL, wie sie z.B. Firecomms anbietet ([4]). In der Gruppe bei Siemens wurde die Kapazität des Systems durch Nutzung verbesserter Sende- und Empfangskomponenten über 1,25 Gbit/s ([5]) inzwischen auf 1,51 Gbit/s erweitert ([6]). Im Bild 4 wird die Belegung der Unterträger bis ca. 312 MHz bei der 1,5 Gbit/s-Übertragung dargestellt. Im Maximum kann hier QAM-128 verwendet werden. Bild 5 zeigt das frequenzabhängige SNR dieses Experiments.

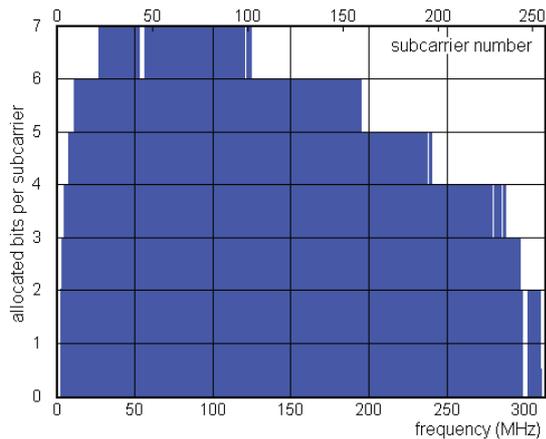


Bild 4: bit/Träger bei Übertragung von 1,51 Gbit/s über 100 m St.-POF, DMT (Siemens 2008)

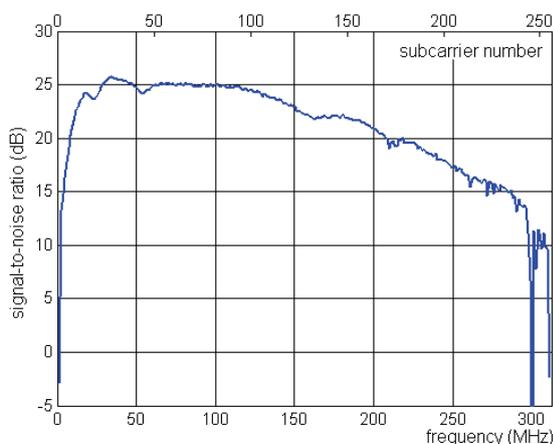


Bild 5: SNR bei Übertragung von 1,51 Gbit/s über 100 m St.-POF mit DMT (Siemens 2008)

Um das tatsächliche Potential einer DMT-basierten Übertragung einschätzen zu können, müssen einige Punkte beachtet werden:

- Weder die verwendeten Laserdioden (typisch für Laserpointer, DVD-Spieler oder Barcodescanner entwickelt), noch die großflächigen Photodioden sind für die Erfordernisse der POF angepasst. Insbesondere sind die Bauteile nicht HF-optimiert aufgebaut.
- Mit Hilfe einfacher optischer Adaptionen lassen sich die Koppeffizienzen noch bedeutend steigern.
- Der POF-Übertragungskanal weist gegenüber Kupferkabeln oder dem Funkkanal weder schmalbandige Einbrüche noch schnelle zeitliche Änderungen auf. Der Aufwand der digitalen Signalverarbeitung kann also viel geringer sein, als z.B. bei DSL oder WLAN.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß DMT für die Übertragung von Gigabit-Ethernet über 100 m St.-POF ein sinnvolles Verfahren ist. Bei Verfügbarkeit optimierter Komponenten sind noch deutlich bessere Werte zu erwarten.

2.2 Gigabit mit NRZ

DMT wird nur sinnvoll sein, wenn dafür eigene Chipsätze entwickelt werden, was sich erst bei Millionenstückzahlen lohnt. Viel einfacher ist dagegen die Übertragung mit NRZ. Schon 1993 bzw. 2000 wurde die Übertragung von 500 und 1000 Mbit/s über 1 mm SI-POF demonstriert ([7], [8]). Im POF-ALL-Projekt wurde gezeigt, daß mit geeigneten Empfängerschaltungen Bitraten bis 1,25 Gbit/s auch mit sehr großen Photodioden problemlos verarbeitet werden können. Bild 6 zeigt ein Augendiagramm für 1 Gbit/s nach 50 m PMMA-GI-POF (OM-Giga). Die verwendete Photodiode war 1,6 mm groß. Bei optimierter Ankopplung würde auch eine 0,5 mm große Photodiode ausreichend, die dann ca. 10 dB empfindlicher wäre (wegen des größeren möglichen Arbeitswiderstandes, siehe [9] für eine umfassende Beschreibung).

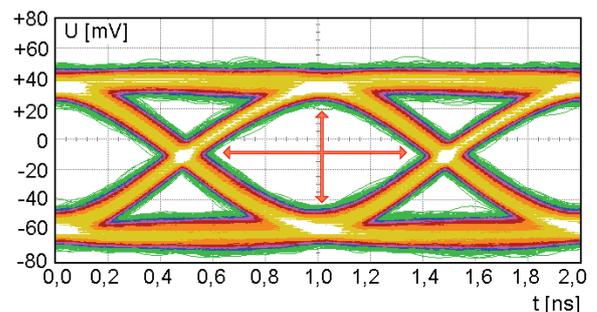


Bild 6: Augendiagramm für 1 Gbit/s über 50 m GI-POF mit 1,6 mm Photodiode

In 2007 stellte das POF-AC die bislang gültige Bestmarke für NRZ-Übertragung auf 100 m St.-POF auf ([10], [11]). Zur Vergrößerung der Kapazität wurde lediglich ein passives Entzerrfilter mit 16 dB Dynamik verwendet. Bild 7 zeigt das Augendiagramm ($BER > 10^{-9}$).

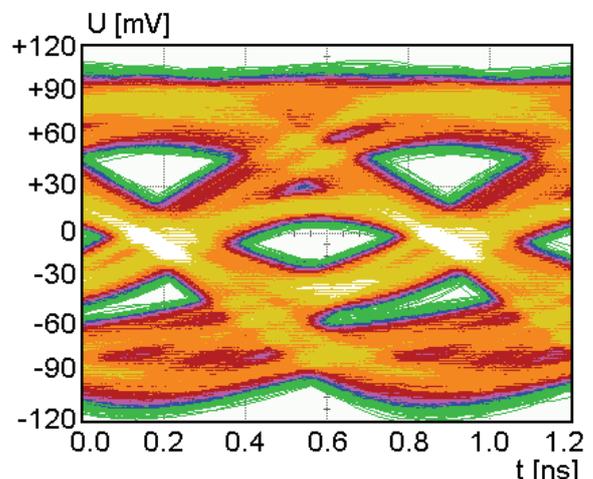


Bild 7: Augendiagramm für 1,39 Gbit/s über 100 m GI-POF mit passiver Entzerrung

Der Vorteil dieser Methode ist, daß keinerlei digitale Signalverarbeitung notwendig ist. Der Empfänger kann kostengünstig mit verfügbaren Bauelementen aufgebaut werden. Sehr wahrscheinlich werden die ersten Generationen von POF-Gbit/s-Systemen auf diesem Verfahren basieren.

Auch der Einsatz von adaptiven Entzerrern sollte nicht allzu schwierig werden. Theoretisch weit leistungsfähiger sind digitale Entzerrfilter, wie sie noch in diesem Jahr vorgestellt werden. Dabei wurden schon 2000 Mbit/s über 100 m POF übertragen.

Im Bild 8 wird die Entwicklung der Kapazität der Datenübertragung über 100 m St.-POF dar-

gestellt. Alleine die Aktivitäten in einem einzigen Projekt haben in 2½ Jahren zu einem rapiden Anstieg geführt. Dabei hatte noch 2001 das „Spektrum der Wissenschaft“ die POF in den Bereich der Anwendungen bis maximal 2 Meter verbannt ([12]).

Nicht dargestellt sind hier die Einsatzmöglichkeiten von optimierten POF. Gradienten- und Vielkern-PMMA-POF erlauben 1..2 Gbit/s über 100 m ohne weitere Maßnahmen. Dünnere POF aus Fluorpolymeren erlauben bis 40 Gbit/s über 100 m Entfernung.

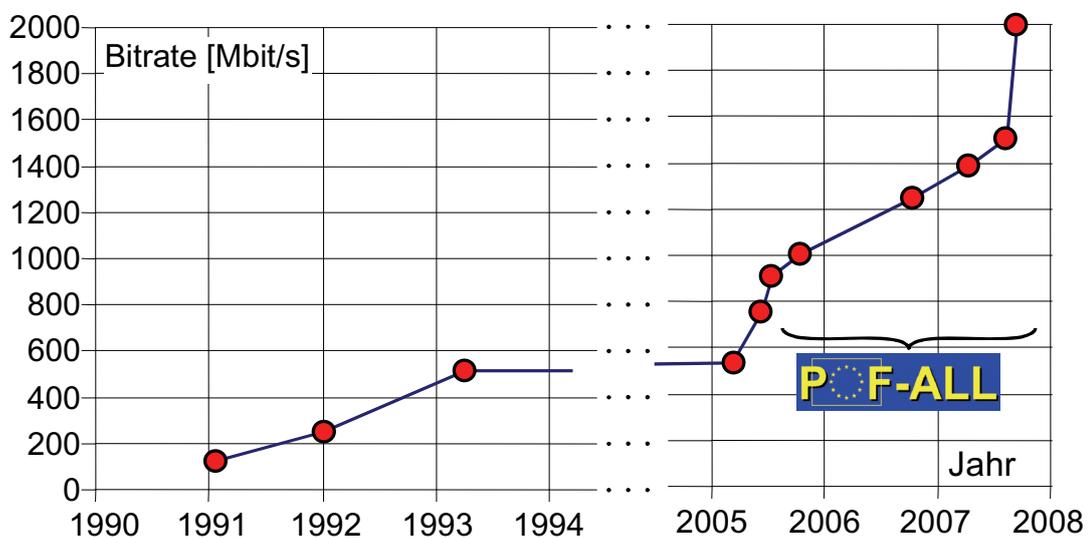


Bild 8: Entwicklung der maximalen Bitraten über je 100 m der 1 mm SI-Standard-POF

3. Produkte mit Gbit/s über POF

In den Bildern 9 und 10 werden zwei bereits kommerziell erhältliche Gigabit-POF-Transceiver gezeigt. Vom Hersteller Firecomms wurde bereits eine VCSEL-basiertes Produkt vorgestellt ([13]).

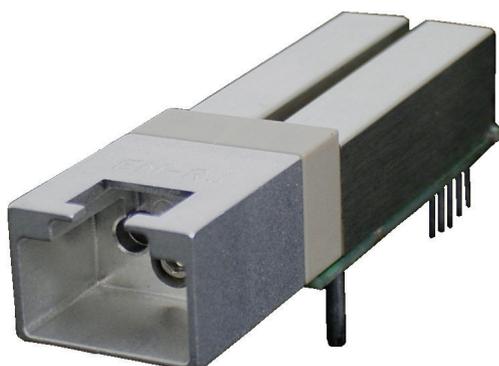


Bild 9: POF-Gigabit-Transceiver (DieMount)



Bild 10: POF-Gigabit-Transceiver (IIS)

Die heute verfügbaren Produkte verwenden noch keine optimierte Entzerrung und können deswegen mit St.-POF nur etwa 15 m Länge sicher überbrücken, was in den meisten Wohnungen ausreichend ist. Will man bis zu 50 m Länge erreichen, kann z.B. die GI-POF OM-Giga des südkoreanischen Herstellers Optimedia verwendet werden.

Die beiden gezeigten Transceiver verwenden als physikalische Schnittstelle des EM-RJ bzw. den SMI-Stecker. Jüngst entschied die IEC gegen die Vorschläge aller Experten den LC-Stecker für POF zu standardisieren. Dieser ist allerdings für 1 mm dicke physikalisch unmöglich. Somit wird sich sehr wahrscheinlich die Installation der POF völlig ohne Stecker durchsetzen. Sogenannte optische Klemmen werden u.a. von DieMount, Ratioplast und Firecomms erfolgreich verwendet. Um eine Gigabit-Strecke mit POF selber zu installieren braucht ein Endanwender also nur einen höchst simplen POF-Schneider (Bild 11).



Bild 11: Werkzeugsatz zur POF-Installation

4. POF und/oder Funk und Powerline

Gerade in Deutschland haben die Funktechnologien wie WLAN, PLC oder UWB eine extrem starkes politisches Ansehen. So gibt das BMBF nach eigenen Angaben ([14]) ca. 80% der Fördermittel für Funktechnologien aus. Mit neuesten Funksystemen lassen sich schon über 1 Gbit/s übertragen, bei PLC sind bis zu 400 Mbit/s im Gespräch. Scheinbar gelangen diese Systeme also in einen ähnlichen Leistungsbereich wie POF-Systeme. Für einen korrekten Vergleich muß man aber berücksichtigen:

- Bei Funknetzen wird immer die maximal erreichbare Summenkapazität angegeben. Ein Fast-Ethernet-POF-Switch mit 8 Schnittstellen hätte also vergleichbar 2.000 Mbit/s Kapazität.
- Ein optischer Link garantiert Bitrate und Reichweite, beim Funk wird beides i.d.R. nur unter idealen Bedingungen erreicht, und der Nutzer hat keinerlei Qualitätsgarantie (das eben bedeutet lizenzfrei).
- Bitraten über 100 Mbit/s sind bei Funk praktisch nur innerhalb eines Raumes erreichbar, während optische Verbindungen auch bis zu 100 m Verbindungslänge erlauben.

- Die Kapazität und Qualität von Funkverbindungen sinkt dramatisch mit steigender Anzahl der aktiven Knoten innerhalb des Gebäudes, optische Links können in beliebiger Zahl parallel betrieben werden.

Im Bild 12 wird gezeigt, wie die Vorteile eines optischen Netzes (Reichweite, Kapazität und Qualität) mit denen von Funk (Mobilität) in einem hybriden Gebäudenetze optimal verbunden werden können. Über ein Handover im aktiven Knoten können breitbandige mobile Endgeräte hier im gesamten Netz bewegt werden. Fest installierte Geräte mit hohem Bandbreitebedarf (> 100 Mbit/s) werden über Patchkabel angeschlossen.

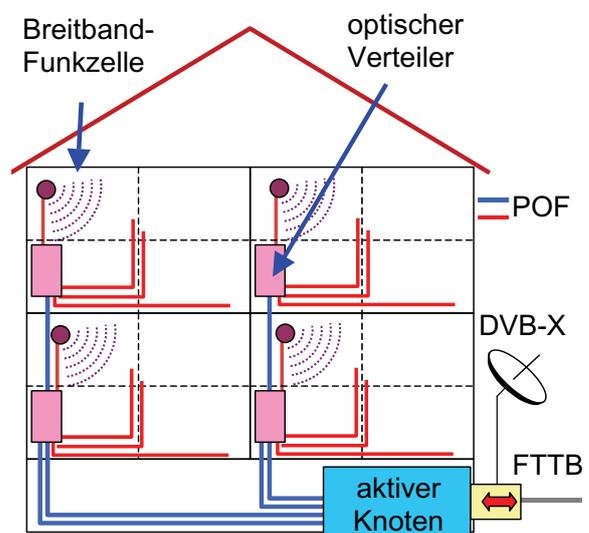


Bild 13: Kombinierte POF-Funk-Gebäudevernetzung

Danksagung

Das POF-AC Nürnberg ist ein Projekt der "High Tech Offensive Bayern".

Das Projekt "POF-ALL" (Paving the Optical Future with Affordable Lightning-fast Links) wird durch die Europäische Kommission gefördert (IST-FP6 STREP project n. 027549).

Literatur

- [1] IEC 60793-2-40 Ed. 2.0: „Optical Fibres - Part 2-40: Product specifications - Sectional specification for category A4 multi-mode fibres“, 2004
- [2] S. Randel, J. Lee, B. Spinnler, F. Breyer, H. Rohde, J. Walewski, A. M. J. Koonen, A. Kirstädter: „1 Gbit/s Transmission with 6.3 bit/Hz Spectral Efficiency in a 100 m Standard 1 mm Step-Index Plastic Optical Fiber Link Using Adaptive Multiple Sub-Carrier Modulation“, ECOC 2006, post deadline
- [3] S. C. J. Lee, F. Breyer, S. Randel, O. Ziemann, H. P. A. van den Boom, A. M. J. Koonen: „Low-Cost and Robust 1-Gbit/s Plastic Optical Fiber Link Based on Light-Emitting Diode Technology“, OFC'2008, OWB3, San-Diego 23.-28.02.2008
- [4] B. Charbonnier, P. Urvoas, M. Ouzzif, J. Le Masson, J. D. Lambkin, M. O'Gorman: „Gigabit transmission over 50 m of Step-Index Plastic Optical Fibre“, submitted to the POF'2008, Santa Clara 25.-28.08.2008
- [5] F. Breyer, S. C. J. Lee, S. Randel, N. Hanik, „1.25 Gbit/s Transmission over up to 100 m Standard 1 mm Step-Index Polymer Optical Fibre using FFE or DFE Equalisation schemes“, ECOC 2007, Berlin, paper 9.6.6
- [6] J. Lee, F. Breyer, S. Randell, H. van den Boom, T. Koonen: „Gigabit Ethernet Over Standard Step-Index Polymer Optical Fiber“, submitted to the POF'2008, Santa Clara 25.-28.08.2008
- [7] M. Yaseen, S.D. Walker, R.J.S. Bates "531 Mbit/s, 100 m all-plastic optical fiber data link for customer-premises network application", OFC/IOOC'93, pp. 171-172
- [8] H. Steinberg, P. E. Zamzow, O. Ziemann, L. Giehmann: „Gbps POF Systems for Automotive Applications“, POF-World 2000, San Jose, July 2000
- [9] O. Ziemann, J. Krauser, P. E. Zamzow, W. Daum: „POF-Handbuch - Optische Kurzstrecken-Übertragungssysteme“, Springer, Sept. 2007
- [10] O. Ziemann, J. Vinogradov, O. Lednický: „Ganz viele Bit mit ganz dicken Fasern“, 23. Fachgruppentreffen der ITG-Fachgruppe 5.4.1 „Optische Polymerfasern“, IIS Erlangen, 17.07.2007
- [11] O. Ziemann, H. Poisel, S. Randel, J. Lee: „Polymer Optical Fibers for Short, Shorter and Shortest Data Links“, OFC invited paper OWB1, 24.-28.02.2008, San Diego
- [12] U. Eberl: „Glasfasern“ aus Kunststoff“, Spektrum der Wissenschaft, Juni'01, S. 89
- [13] H. Hennessy: „In home POF networks“, 25. Treffen der ITG-FG 5.4.1 „Optische Polymerfasern“, 30.06.2008, Krems
- [14] V. Dietz (BMBF): „Förderung neuer Netztechnologien durch das BMBF“, Breitband-Workshop, Berlin 07./08.03.2007



Prof. Dr.-Ing. Olaf Ziemann studierte Physik an der Universität Leipzig. Zwischen 1990 und 1995 promovierte er an der Technischen Universität Ilmenau auf dem Gebiet der optischen Nachrichtentechnik. Seine Arbeitsgebiete waren der optische Überlagerungsempfang und optisches Kodemultiplex. Zwischen 1995 und März 2001 arbeitete er im Forschungszentrum der Deutschen Telekom (T-Nova) auf den Themengebieten hybride Zugangsnetze und Gebäudenetze. In den letzten 10 Jahren leitete er die ITG-Fachgruppe „Optische Polymerfasern“ und inzwischen den Fachausschuß „Kommunikationskabelnetze“. Seit Anfang 2001 ist er wissenschaftlicher Leiter des POF-AC der FH Nürnberg und Mitglied im International Committee of Polymer Optical Fibers. Im Jahr 2007/2008 publizierte er das „POF-Handbuch / POF-Handbook“.