

„Kopplungseffiziente Aufbaukonzepte für optische Transceiver“

Sabine Nieland*, Hans Kragl**

*AVT Center des CiS Institut für Mikrosensorik Erfurt

**DieMount GmbH, Erfurt

Die optische Datenkommunikation gewinnt mehr und mehr an Bedeutung. Ein hohes Innovationspotential, besonders im Kurzstreckenbereich, wird Systemen auf der Basis der optischen Polymerfaser (POF) zugeschrieben. Die Gründe dafür sind die spezifischen Vorteile der optischen Datenkommunikation wie schnelle Datenübertragung, Echtzeitfähigkeit, Unempfindlichkeit gegen elektromagnetische Störungen und elektrische Potentialtrennung. Aber auch durch erhebliche Vereinfachung in der Konfektionierung gegenüber konventionellen Kupfer- und Glasfaserkabeln können sich POF-Systeme neben den bestehenden LAN-Systemen etablieren. Basis dafür sind systemangepasste optische Transceiver, die zum einen die Funktionalität des Gesamtsystems bestimmen, nicht zuletzt aber auch der gegenüber Glasfasersystemen günstige Preis. Hierzu wird ein Ansatz vorgestellt, mit dem es gelingt, die Kopplungseffizienz zwischen POF und optischen Transceiver so zu verbessern, dass mit preiswerten optischen Komponenten eine überdurchschnittliche Leistung hinsichtlich Datenrate und Übertragungstrecke realisiert werden kann. Es wird speziell die Aufbau- und Verbindungstechnik für optische Transceiver vorgestellt und einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen und Trends gegeben.

Einleitung

In den vergangenen 30 Jahren hat sich optische Übertragungstechnik dank ihrer Vorzüge gegenüber der drahtgebundenen elektrischen Übertragungstechnik für mittlere und große Übertragungsentfernungen weitgehend durchgesetzt. Niedrige Dämpfung und Dispersion der Übertragungsfaser, schnell modulierbare Sendedioden und Empfänger sowie Unempfindlichkeit gegenüber elektromagnetischer Strahlung sind die wesentlichen Erfolgsfaktoren. Heute werden bereits hohe Datenkapazitäten von mehreren Gbits pro Sekunde über weite Distanzen international und überkontinental als GAN (global area network) umgesetzt.

Aber die lokale Anbindung an diese superschnellen Netze erfolgt in der Regel über konventionelle elektrische Kupferleitungen. Im Kurzstreckenbereich besteht daher ein dringender Bedarf an hochbitratigen und preisgünstigen Übertragungsmedien, wobei der optischen Datenkommunikation über optische Polymerfasern das höchste Potential hinsichtlich Kosteneffizienz eingeräumt wird.

Einsatzgebiete für die optische Datenkommunikationstechnik über POF liegen in Netzwerksystemen wie LAN (local area network) auf der Basis von Ethernet (Büro- und Industriekommunikation) oder IEEE1394/FireWire (Privatnetzwerke, automobilinterne Kommunikation), bei denen eine hochbitratige, preiswerte und vor allem sichere, im Sinne von „abhörsichere“, Datenübertragung gefordert ist. Für das Fast Ethernet-Protokoll werden heute 125 Mbit/s auf 50 m über POF gefordert /1/. Mit dem IEEE1394b-Bus wurden Übertragungsraten von 100 Mbit/s und 200 Mbit/s bei einer maximalen Übertragungslänge von 50 m für POF spezifiziert /2-4/.

Erste Ansätze zur Implementierung eines optischen Rings auf POF-Basis für die automobilinterne Datenkommunikation gehen auf das MOST-Konsortium zurück, das sich Ende der 90er Jahre formierte und dem mittlerweile 20 internationale Automobilhersteller angehören. Ziel des Gremiums ist die Spezifikation und Weiterentwicklung eines für den Einsatz im Automobil optimierten Multimedia-Buses. Als physikalisches Übertragungsmedium wird die POF verwendet, die eine absolute Datenrate von 24 Mbit/s netto zulässt. Jedes MOST-Gerät besitzt einen Tx/Rx-Port¹, mit dem die Geräteknöten in Form einer Ringanordnung verbunden sind. Für derzeitige „Infotainment“-Geräte ist die verfügbare Datenrate ausreichend. Derzeit sind neben DaimlerChrysler auch die BMW 7er-Reihe, der Audi A8 und andere Fahrzeuge der Oberklasse mit MOST ausgestattet /5,6/.

Vorteile der POF

Für den LAN-Bereich werden derzeit überwiegend konventionelle, elektrische CAT5/CAT6 Kabel verwendet. Der große Nachteil der CAT5/CAT6 Kabel besteht in ihrer aufwendigen und teuren Konfektionierung (Bild 1), die aus dem komplizierten Aufbau resultiert. Die Ankopplung der Kabel an Standardstecker erfolgt bisher in 12 Arbeitsschritten unter Verwendung von 7 Steckerteilen /7-9/.

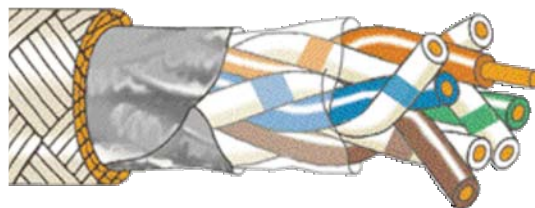


Bild 1: Konventionelles CAT6 Kabel für LAN Anwendungen /7/

Im Gegensatz zum konventionellen CAT5/CAT6 Kabel hat ein Lichtwellenleiter einen sehr einfachen Aufbau (Bild 2). Er besteht im wesentlichen aus einem lichtführenden Kern (core) und einem das Licht totalreflektierenden Mantel (cladding). Bei Glasfaser-LWL muss die empfindliche Glasfaser durch mehrere Kunststoffhüllen (vor allem mechanisch) geschützt werden. Für die Glasfaser-Konfektionierung sind daher auch diverse Werkzeuge und Arbeitsschritte notwendig, die die Konfektionierung sehr aufwendig machen und die Kosten einer Glasfaserverkabelung bestimmen.

Eine kostengünstige Alternative zu der relativ teuren Quarzglas-Lichtwellenleitertechnik stellen die polymer-optischen Fasern (POF) dar. Der Kern der POF besteht meist aus PMMA (Polymethylmethacrylat) oder Polycarbonat mit einem Mantel aus fluorierten Polymeren /10/.



Bild 2: Polymer-optische Duplex Faser /7/

Die Vorteile der polymer-optischen Faser sind neben der drastischen Reduktion der Herstellungskosten für das Kabel der große Durchmesser bis 1 mm, die große nume-

¹ Tx: Transmitter (Sendemodul), Rx: Receiver (Empfängermodul)

rische Apertur ($n = 0,5$) und die sich daraus ergebende leichte Verarbeitbarkeit, einfache Ankopplung und einfache Steckerkonstruktion. Durch ihre höhere Dämpfung und Dispersion, was sich besonders bei hohen Datenraten auswirkt, ist eine Anwendung auf nur wenige 10 Meter bis maximal 100 Meter sinnvoll /10/.

Polymeroptische Lichtwellenleiter aus PMMA können nicht mit jeder beliebigen Sendewellenlänge ein optimales Ergebnis bringen. Die spektrale Dämpfung der PMMA-POF in Bild 3 zeigt drei Bereiche, in denen sich Dämpfungsminima befinden und die damit für die verlustarme Signalübertragung geeignet sind. Die Dämpfungsfenster befinden sich im roten, grünen und gelben Wellenlängenbereich /10,11/.

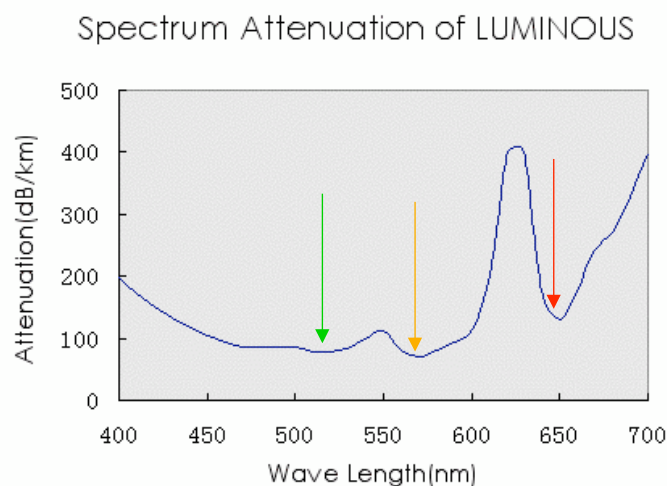


Bild 3: Darstellung der Dämpfungsminima über Wellenlänge bei Verwendung einer PMMA-POF/10/

Für die Verlegung und Verarbeitung der POF ist von zentraler Bedeutung, dass der Dämpfungsverlust an den Koppelstellen so gering wie möglich gehalten wird. Die wichtigen Faktoren hierfür sind die Oberflächenqualität der Stirnfläche und die eingesetzte Verbindungstechnik.

Kopplungseffizienz

Beim Aufbau optischer Transceiverkomponenten für die POF-Datenübertragung haben sich Aufbautechniken mit ebenen Substraten wie die COB-Technik (Chip-on-Board) oder die Lead-Frame-Technik bewährt. Der nackte Chip (z. B. LED) wird mittels Klebtechnik auf dem Substrat befestigt und mittels Drahtbondtechnik elektrisch kontaktiert. Zum Schutz der Drahtbrücke/Drahtbrücken schließt sich ein Verguss an, wobei bei optisch aktiven Aufbauten ein angepasstes optisches Klarharz verwendet wird. Zur Kopplung von optischer Komponente und Faser werden über den COB-Aufbau Kopplungselemente gestülpt. Einige Hersteller setzen transparente Kunststoffgehäuse ein, die über einen Faseradapter verfügen. Zur Strahlformung bei Sendern mit weitem Strahlwinkel, wie z. B. LEDs, werden zusätzlich Linsen zur Strahlformung vor dem Emitter platziert. Dies ist am Beispiel der Transceiverprodukte L7726 (reine LED) und H9020 (LED und Treiberchip) der Firma Hamamatsu in Bild 4 dargestellt. Andere Hersteller verzichten auf die Strahlformung und setzen nur die

einfache Stoßkopplung ein, so dass die die damit verbundenen Einkopplungsverluste akzeptiert werden müssen /12/.

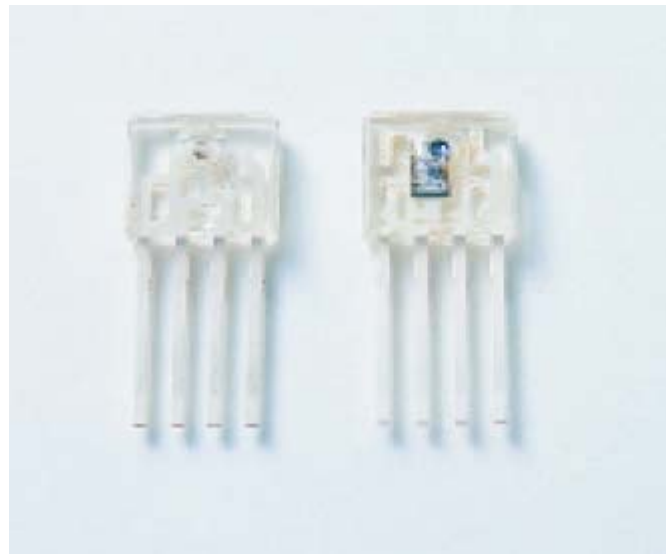


Bild 4: Produkte L7726 (LED) und H9020 (LED und Treiber) für IEEE1394.b (FireWire) der Fa. Hamamatsu hergestellt mit COB-Technik und durch Transfermolden vergossen/12/

Als Sender stehen diverse optoelektronische Emitterdioden zur Verfügung, wobei sich für die optische Datenübertragung LED und Laserdioden durchgesetzt haben. LED sind vor allem in preiswerten Systemen dank niedriger Kosten und einfacher elektronischer Ansteuerbarkeit sehr beliebt. Da LED als Lambert-Strahler das Licht in den gesamten Halbraum abgeben, und nur das unter einem Winkel von $\pm 29^\circ$ in die POF eingekoppelte Licht von der POF auch geführt wird, versucht man durch Fokussierung eine bessere Kopplungseffizienz zu erreichen. Bild 5 zeigt die Abstrahlcharakteristik einer 5 mm großen LED in Standardbauform. Die Kopplungseffizienz zu einer POF mit 1 mm Kerndurchmesser ist sehr schlecht. Üblicherweise versucht man die Kopplungseffizienz mittels einer Kunststofflinse zu erhöhen.

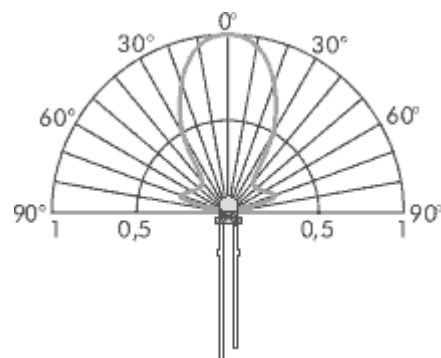


Bild 5: Abstrahlcharakteristik Lambert-Strahler (3mm LED) /5/

Ein großer Teil der optischen Verluste entsteht schon bei der Einspeisung des optischen Signals in die POF. Bei einfacher Stoßkopplung gehen aufgrund der geometrischen und optischen Randbedingungen 89 % des von einer LED abgestrahlten Lichtenergie verloren. Das heißt, dass der Wirkungsgrad bei nur 11 % liegt, was ei-

ner Koppeldämpfung von 9,5 dB entspricht (siehe Bild 6a). Durch Verwendung von Strahlformungselementen, z. B. durch Einsatz eines Reflektors um den LED-Chip, kann der Einkopplungswirkungsgrad erheblich verbessert werden (siehe Bild 6b). Der theoretisch erreichbare Wirkungsgrad liegt bei 58 % (2,4 dB), was einem Gewinn gegenüber dem Verzicht auf Strahlformung von 7,1 dB entspricht [7].

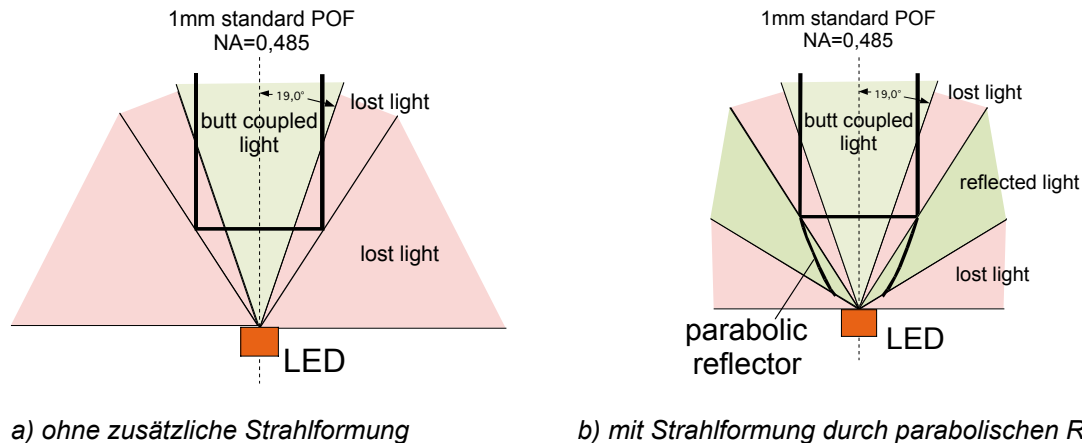


Bild 6: Verhältnisse bei der Faser-Chip Kopplung zwischen POF-Faser und LED mit Lambert-Charakteristik: (a) mit und (b) ohne Strahlformung [7]

Aufbau- und Verbindungstechnik

Eine Verbesserung des Koppelwirkungsgrades zwischen Sender- bzw. Empfängerchip und POF wird nicht nur durch Verwendung eines Strahlformungskörpers erreicht, sondern auch durch Erhöhung der Positioniergenauigkeit des optoelektronischen Chips gegenüber der POF in x-, y- aber auch in z-Richtung. Aus diesem Grund ist der Reflektorträger so ausgelegt, dass er eine hochpräzise Kavität zur Aufnahme der LED aufweist. Der Reflektorträger stellt somit einen mikrostrukturierten Chipträger (mikrostrukturierter Submount) dar, der neben der Präzisionsjustage von Chip zu Faser gleichzeitig auch die Strahlformung zur Erhöhung der Koppelleffizienz übernimmt. Aus optischen Gründen wird der mikrostrukturierte Submount aus Silber mit hohem Reflexionsfaktor hergestellt. Er wird in die Leiterplatte eingelötet. Die Ankopplung der LED-Katode erfolgt über eine Leitklebeverbindung in der Kavität des Submounts. Die Anode wird über eine Drahtbondverbindung aus dem Submount heraus auf die Leiterplatte realisiert. Zur Durchführung des Bonddrahtes weist der Submount einen Schlitz auf. Ein kurzes Stück Faser, das sog. Micro-Pigtail, koppelt das Licht zum Sender- bzw. Empfängerchip ein und aus und stellt die Verbindung zur Übertragungsfaser her. Der Submount positioniert das Micro-Pigtail optimal in allen drei Achsen, ohne dass die offene Drahtbrücke der LED beschädigt werden kann. Um optische Verluste durch Luft-Kunststoff-Grenzflächen zu vermeiden, wird der Submount anschließend mit einem optischen Harz ausgefüllt und das Pigtail im POF-Koppler verklebt (Bild 7).

Die jeweiligen Tx- und Rx-Module werden auf einer Leiterplatte mit standardisierter 1x9-Schnittstelle montiert (Bild 8), so dass ein kompletter optischer Transceiver vorliegt. Die POF-Konfektionierung und Verbindung mit dem optischen Transceiver erfolgt über Ablängen der POF mittels einfachster Schneidetechnik und Einsetzen der POF in die Führungshülse des Transceivers. Eine Konfektionierung der POF mit einem optischen Stecker und die aus der Glasfasertechnik bekannte Stirnflächenpolitur sind nicht erforderlich. Durch die Führungshülse wird die Übertragungsfaser präzise

zu dem Micropigtail justiert; zur mechanischen Fixierung wird die POF mittels einer Rändelschraube verschraubt.

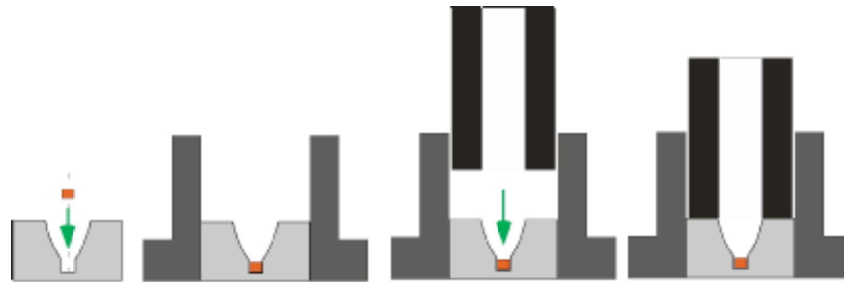


Bild 7: Schematische Darstellung des kopplungseffizienten Aufbaues optischer Transceiver-Komponenten auf der Basis mikrostrukturierter Submounts /7/



Bild 8: Optischer Transceiver mit standardisierter 1x9-Schnittstelle der Fa. DieMount

Ergebnisse mit dem neuartigen Aufbau

Mit Standardaufbauten ohne mikrostrukturierte Submounts können nach heutigen Erkenntnissen im Betrieb mittlere optische Leistungen von etwa -8dBm ($160\ \mu\text{W}$) in die POF eingekoppelt werden. Bei Datenraten von $125\ \text{Mbit/s}$ sind Empfängerempfindlichkeiten von $-20\ \text{dBm}$ bis $-22\ \text{dBm}$ typisch. Bei $3\ \text{dB}$ Systemreserve können somit Entfernungen von nicht mehr als $50\ \text{m}$ überbrückt werden. Durch die Verwendung der Mikroreflektoren im Submount erhöht sich die Sendeleistung um $4\ \text{dB}$, was einer Vergrößerung der maximalen Übertragungsentfernung von mehr als $20\ \text{m}$ entspricht. Der Einsatz des mikrostrukturierten Submounts am Empfänger erhöht gleichfalls die Koppeffizienz zwischen POF und PIN-Detektor um 1 bis $2\ \text{dB}$, wichtiger ist jedoch die Reduzierung der Toleranzen des Empfängers durch die präzise Justierung von Faser zu Chip.

Werden statt roter LED blaue (ggf. auch grüne) LED eingesetzt, können bedingt durch die niedrigere Dämpfung der POF im kurzwelligen Spektralbereich Übertragungsentfernungen von $120\ \text{m}$ und mehr bei $125\ \text{Mbit/s}$ erreicht werden. Wenn es gelingt, die Empfängerempfindlichkeit auf $-27\ \text{dBm}$ oder mehr zu erhöhen, wird die POF bei allen Wellenlängen in einem Dämpfungsminimum mindestens $100\ \text{m}$ überbrücken können.

Mit dem vorgestellten Ansatz, mikrostrukturierte Submount zur Faser-Chip-Kopplung zu verwenden, kann gezeigt werden, dass die Verbesserung der Kopplungseffizienz

einen erheblichen Beitrag zur Leistungssteigerung von POF-Übertragungssystemen leisten kann.

Ausblick

Um die Sendeleistung von POF-Systemen weiter zu erhöhen, können die in CD oder DVD-Playern als Massenprodukt eingesetzten kantenemittierenden Laserdioden eingesetzt werden. Bislang ist es jedoch nicht gelungen, die Lebensdauer dieser Laserdioden so zu erhöhen, dass ein im Datenbetrieb geforderter Langzeitbetrieb möglich wäre. Laserdioden würden auch problemlos die Erhöhung der Datenrate auf mindestens 1 Gbit/s erlauben. Eine weitere Option zur Verbesserung der Systemleistungsfähigkeit ist die Erhöhung der Empfängerempfindlichkeit durch Einsatz von Dioden mit geringerem Bahnwiderstand und geringer Sperrschichtkapazität und die Optimierung der Empfängerelektronik. Die Voraussage, dass POF basierende Systeme künftig deutlich verbesserte Leistungsparameter haben werden, falls daher nicht schwer.

Eine Anwendung aus dem Automobilbau (Byteflight-System in BMW-Fahrzeugen) basiert auf der Idee, statt zweier POF-Fasern im Kabel (jeweils eines für Sender und Empfänger, sog. Duplexkabel) nur einadrige Fasern (Simplex-Kabel) zu verwenden. Für Übertragungstrecken von wenigen 10 m bietet die Simplex-Faser einige Vorteile vor allem für die Konfektionierung. Das Simplex-Kabel hat keine bevorzugte Biegerichtung, es besteht keine Gefahr der Verwechslung von Hin- und Rückleitung und statt 4 Faserendflächen müssen nur 2 Endflächen präpariert werden. Wie die Transceiveraufbauten für das Byteflight-Protokoll zeigen, ist es aus AVT-Sicht nicht trivial, den Sender- und den Empfängerchip ohne elektrisches Nebensprechen aufeinander zu setzen /14/. Wegen dieser Schwierigkeiten kann das Byteflight-System nur im Halbduplex-Betrieb arbeiten. Vollduplex-Betrieb auf einer Simplex-POF wird möglich, wenn der optische Sender und Empfänger lokal getrennt werden und über einen optischen Splitter im Transceiver verbunden werden. Bild 9 zeigt einen Simplex Vollduplex-Transceiver der Fa. DieMount. Mit diesem Modul ist die Übertragung von Fast Ethernet Daten über mehr als 40 m Simplex-POF möglich.

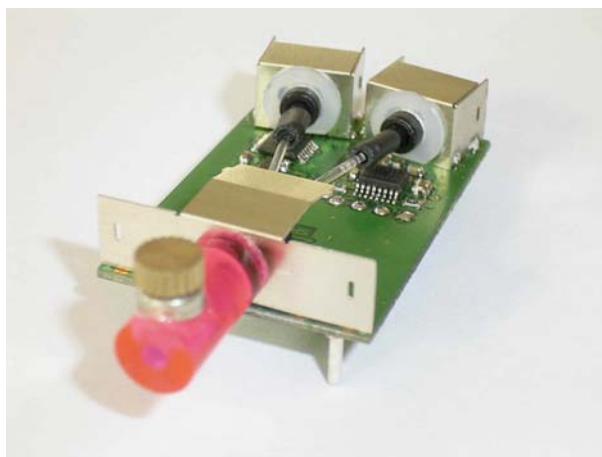


Bild 9: Optische Transceiver-Module mit Splittertechnik der Fa. DieMount

Neben Bemühungen zur drastischen Preisreduzierung durch Einsatz von Standard-elementen geht ein Teil der weltweiten Entwicklungen in Richtung Erhöhung der Datenrate bis hin zum Gigabit-Bereich auch über POF. Ansätze gehen sowohl vom

Einsatz sogenannter Gradientenindex-Fasern (z. B. Cytop® von Fa. Asahi Glas) über Einsatz von roten Laserdioden bis hin zu der Entwicklung hochempfindlicher und schneller Fotodioden /15/.

Quellenangabe

- /1/ www.intel.com/network/communications/emea/deu/technologies/ethernet/about_ether_net.htm, Stand 22.02.05
- /2/ <http://developer.apple.com/devicedrivers/firewire/index.html> Stand 20.02.05
- /3/ Abschlussbericht zur Studie "Optische Empfängerschaltungen mit Lichtwellenleiterkopplung über mikrostrukturierte Submounts für die Datenübertragung mit Polymerfasern unter Verwendung kommerzieller Elektronikbausteine" 03/03, STIFT e.V. Erfurt
- /4/ www.1394automation.org, Stand 20.06.03
- /5/ www.3soft.de/_content/presse/_pdf/IDB1394MOST.pdf , Stand 01.09.04
- /6/ www11.informatik.tu-muenchen.de/lehre/seminare/seminarSS01/Ausarbeitungen/Netze.pdf, Stand 22.02.05
- /7/ H.Kragl : "Polymerfaser Transceiver für Anwendungen in den Bereich LAN und Industriekommunikation" Vortrag GMM-Fachtagung, München 4.6.03
- /8/ http://www.2cool4u.ch/basics/lwl_einfuehrung/lwl_einfuehrung.pdf, Stand 22.02.2005
- /9/ <http://www.harting.com/en/en/de/sol/verbtech/prod/foptic/index.de.html>, Stand 21.02.05
- /10/ W. Daum; J. Krauser, P.E. Zamzow; O. Ziemann: „POF- optische Polymerfasern für die Datenkommunikation“, Springer-Verlag 2001
- /11/ Protokoll zum 3. Meeting der AG „Industrial Ethernet über POF“ 09.09.03, POF-Ac, Nürnberg
- /12/ <http://usa.hamamatsu.com/de/produkte/solid-state-division/optical-communication-device/lan.php>, Stand 15.02.05
- /13/ http://www.led-info.de/grundlagen/l_abstca.htm, Stand 21.02.05
- /14/ „What is bytflight“, <http://www.bytflight.com/whitepaper/default.htm>, Stand 21.02.05
- /15/ http://www.pofac.de/downloads/itgfg/fgt03/FGT03_Koeln_Folien_Ziemann.pdf, Stand 15.02.05