

# **Konzeption eines optischen Übertragungssystems mit Wellenlängenmultiplex-Technologie und polymeren Lichtwellenleitern als Lehr- und Laborsystem**

**ORT 06, Siegen, 2006**

**Ulrich Fischer, Jens-Uwe Just, Christian Reinboth**  
Hochschule Harz, Friedrichstraße 57-59, 38855 Wernigerode  
HarzOptics GmbH, Dornbergsweg 2, 38855 Wernigerode

## **Abstract**

Die Bedeutung der optischen Technologien für die Zukunft des Wirtschaftsstandorts Deutschland wächst zusehends. Eine fundierte Vermittlung von optischem Fachwissen durch Universitäten, Fachhochschulen und berufsbildende Einrichtungen ist nur durch den Einsatz optischer Versuchs- und Experimentiersysteme möglich, mit denen Studierende und Auszubildende die theoretischen Inhalte in der Praxis nachvollziehen können. Dieses Paper stellt Aufbau und Funktionsweise eines solchen Systems dar, welches im Verlauf der letzten beiden Jahre an der Hochschule Harz entwickelt wurde, und gibt einen Ausblick auf künftige Entwicklungsperspektiven.

## **1 Einführung**

Optische Technologien gehören zu den zukünftigen Schlüsseltechnologien in einer Vielzahl produzierender Branchen – und haben damit eine enorme Bedeutung für die weitere Entwicklung des Wirtschaftsstandorts Deutschland. Schon heute sind mehr als 15% aller Arbeitsplätze im verarbeitenden Gewerbe direkt im Bereich der optischen Technologien angesiedelt oder werden von diesen beeinflusst. Licht ist damit eines der wichtigsten Werkzeuge der nahen und mittleren Zukunft: es ist universell und äußerst flexibel einsetzbar, kosteneffizient, umweltschonend sowie gesundheitsneutral – und beinahe monatlich eröffnen sich neue Perspektiven in der technischen und industriellen Anwendung [1].

Der durch diese Entwicklung bedingte hohe Innovationsdruck hat insbesondere auf dem Infotainment-Markt zu stark gestiegenen Ansprüchen an den maximalen Datendurchsatz von optischen Übertragungssystemen geführt. Der aktuelle Markt fordert schnelle Sende- und Empfangskomponenten, mit denen sich der Transport

von Informationen mit Übertragungsgeschwindigkeiten im Tbit/s-Bereich technisch realisieren lässt [2].

Solche fortschrittlichen Systeme basieren zumeist auf optoelektronischen Verfahren wie dem Multiplexing, wobei sich insbesondere das Zeitmultiplexing (TDM, Time Division Multiplex) und das Wellenlängenmultiplexing (WDM, Wavelength Division Multiplex) als zukunftssträchtige Übertragungsmethoden herauskristallisiert haben [3]. Als Medium für die Übertragung der optischen Signale kommen dabei neben Glasfasern auch immer häufiger optische Polymerfasern (POF, Polymer Optical Fibre) zum Einsatz, die aufgrund ihres einfachen Handlings und ihrer kostengünstigen Herstellung zunehmend an Bedeutung gewinnen und mittlerweile als zukünftiger Quasi-Standard im Inhouse- und im Automotive Bereich gelten [4].

Die Vermittlung sowohl von theoretischen als auch praktischen Kenntnissen an der WDM-POF-Kombination wird daher eine der zukünftigen Schwerpunktaufgaben von Universitäten, Fachhochschulen und berufsbildenden Einrichtungen mit Lehrangeboten im Bereich der optischen Nachrichtentechnik sein. Für die zukunftsorientierte und praxisnahe Ausbildung der Technikergeneration von morgen werden insbesondere Versuchs- und Experimentiersysteme benötigt, mit denen die in den Vorlesungen vermittelten theoretischen Inhalte in der praktischen Ausführung nachvollzogen werden können. Das vorliegende Paper stellt ein solches optisches Lehrsystem – „OPTOTEACH“ – vor, welches im Verlauf der letzten beiden Jahre im Fachbereich Automatisierung und Informatik der Hochschule Harz entwickelt wurde und mittlerweile auch anderen Bildungseinrichtungen zur Verfügung steht.

## **2 Wissenschaftliche Grundlagen**

### **2.1 Wellenlängenmultiplex-Verfahren**

Beim Wellenlängenmultiplex-Verfahren oder WDM handelt es sich um ein optoelektronisches Frequenzmultiplexverfahren, welches bei der Übertragung von Daten über Lichtwellenleiter (Glasfasern oder POF) zum Einsatz kommen kann. Dabei wird für jeden Übertragungskanal, d.h. für jedes zu übertragende Einzelsignal, Licht einer anderen Wellenlänge eingesetzt – jeder dieser einzelnen Kanäle kann also separat mit einem Sendersignal moduliert werden. Eine Übersicht der verwendeten Frequenzbereiche bei Glas- und Polymerfasern findet sich in Abb. 1. Deutlich ist zu erkennen, dass die Dämpfung in den beiden Lichtwellenleitern deutliche Unterschiede aufweist und daher auch jeweils ein anderes Wellenlängenspektrum zur Übertragung genutzt werden sollte.

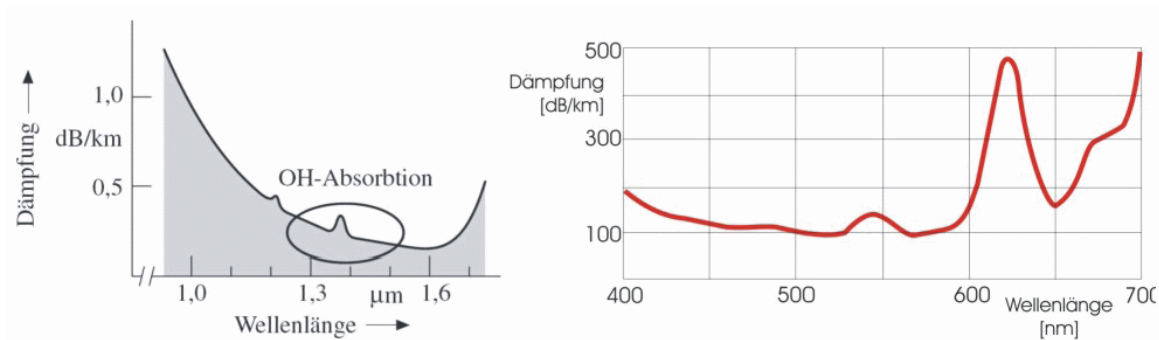


Abb. 1: Wellenlängenabhängigkeit der Dämpfung bei Glasfaser (links) und POF (rechts)

Die auf diese Weise modulierten Signale werden anschließend über ein geeignetes Koppellement – den optischen Multiplexer (MUX) – zusammengeführt und können so parallel auf einem einzigen Lichtwellenleiter übertragen werden. Am Ende der Übertragungsstrecke werden die einzelnen Signale mit Hilfe eines optischen Demultiplexers (DEMUX) wieder voneinander separiert [5].

Für spezielle Anwendungen im WDM-Bereich existieren zudem zwei Sonderlösungen:

- Dichtes Wellenlängenmultiplex (DWDM, Dense Wavelength Division Multiplex): Bei der Datenübertragung mit diesem Verfahren liegen die Wellenlängen der einzelnen Kanäle vergleichsweise dicht beieinander (0,8nm bis 1,6nm).
- Grobes Wellenlängenmultiplex (CWDM, Coarse Wavelength Division Multiplex): Dieses Verfahren stellt eine preisgünstige Alternative zum Standard-WDM-Verfahren dar. Die Kanalabstände sind hier eher grob gewählt (bis zu 50nm), wodurch die Anforderungen an die Sende- und Empfangskomponenten geringer ausfallen.

## 2.2 Optische Polymerfasern

Optische Polymerfasern bestehen aus einem Kern aus Polymethylmethacrylat (PMMA, auch als Plexiglas oder Acrylglas bekannt) umgeben von einem dünneren Mantel mit geringerer Brechzahl. Wird Licht in die POF gestrahlt, kommt es aufgrund des Brechzahlunterschieds zur sogenannten Totalreflexion, d.h. das Licht wird beim Auftreffen auf die Innenseite des Mantels nicht gebrochen, sondern vollständig reflektiert. Zur Totalreflexion kommt es immer dann, wenn Licht aus einem optisch dichteren Stoff (in diesem Falle das PMMA) kommend auf die Grenzfläche zu einem optisch dünneren Stoff (in diesem Falle die Mantelinnenseite) trifft, solange der Grenzwinkel nicht größer als der Eintrittswinkel ausfällt. Die

Größe der Differenz zwischen den beiden Brechzahlen wirkt sich dabei direkt auf den maximalen Austrittswinkel des Lichts aus.

Die Dämpfung, d.h. die Verringerung der Amplitudenhöhe und damit der Signalverlust über die Streckenlänge, ist beim Einsatz von POF bei 450nm (blau), 520nm (grün) und 560nm (gelb) am geringsten, so dass sich insbesondere diese Farben aus dem sichtbaren Spektralbereich (450nm bis 700nm) für die Datenübertragung eignen, wobei der OPTOTEACH-Sender aus wirtschaftlichen Gründen auch eine rote LED (660nm) enthält (siehe 3.2). Die maximale Länge der Übertragung wird durch die Dämpfung auf 100-120m beschränkt, die maximale Einsatztemperatur der Fasern liegt bei etwa 75°C.

### **3 Technisches Konzept**

#### **3.1 Aufbau des Systems**

Die aktuellen OPTOTEACH-Systeme der ersten Generation bestehen aus zwei Sendern für die Videoübertragung, einer LED und einem Laser die im cw-Betrieb arbeiten sowie zwei Empfängern. Das System ist in der Lage, zwei analoge FBAS-Videosignale oder entsprechende Testsignale (siehe 3.2) mit einer maximalen Bandbreite von 10MHz zu übertragen. Als Sender dienen LEDs im sichtbaren Wellenlängenbereich, deren Einsatz die preiswerte Fertigung des Systems gestattet und das Verständnis der WDM-Technologie fördert, da der WDM-Effekt (siehe 2.1) visuell direkt nachvollzogen werden kann. Das Licht der beiden Sender wird durch einen konventionellen Y-Koppler der Firma Ratioplast Optoelectronics GmbH zusammengefasst, die Aufteilung am Ende der Übertragungstrecke erfolgt mittels eines Ratioplast-Splitters sowie roter und blauer Farbfilter. Die Signale werden über von Versuch zu Versuch variierende Streckenlängen von 5m bis 50m POF übertragen, wobei die Strecke durch einen µm-Verschiebetisch unterbrochen werden kann, mit dem sich Koppelverluste an geschnittenen oder polierten Faserflächen sowie lateraler, longitudinaler und Winkelversatz analysieren und vermessen lassen. Die einzelnen hier genannten Systemkomponenten werden in den nachfolgenden Abschnitten im Detail dargestellt. Der generelle Aufbau des Systems kann Abb. 2 entnommen werden.

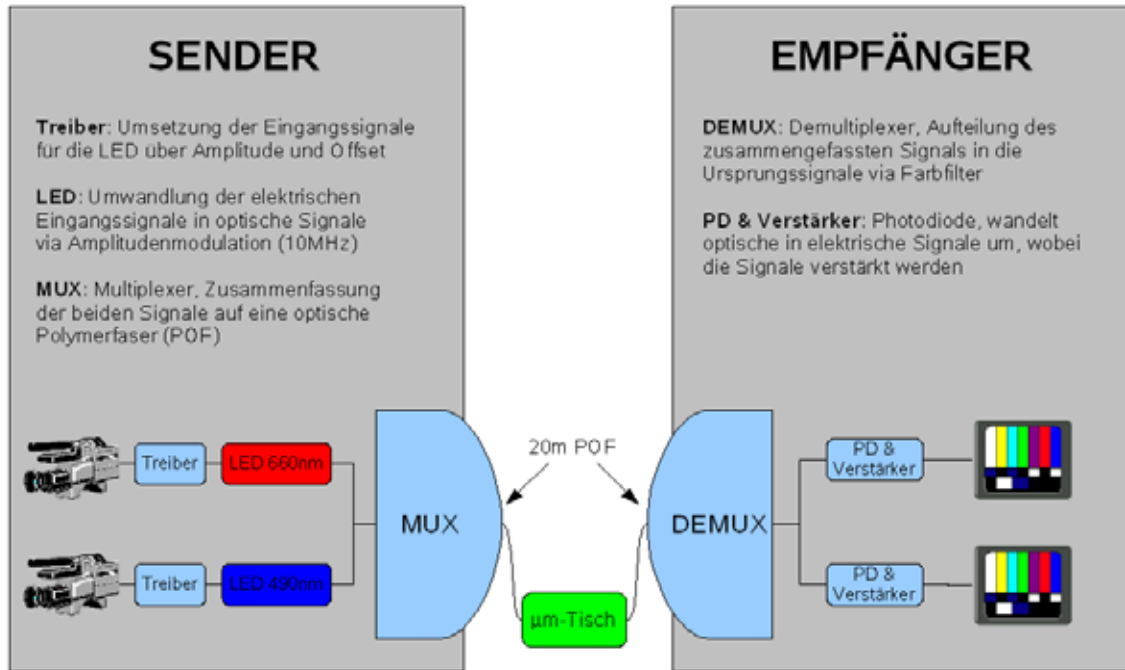


Abb. 2: Layout des OPTOTEACH-Lehrsystems

### 3.2 Der Sender

Zur Umwandlung der elektrischen Ausgangssignale in optische Signale werden zwei verschiedenfarbige LEDs verwendet (blau bei 470nm und rot bei 660nm). Obwohl die Dämpfung bei 660nm vergleichsweise groß ist (siehe Abb. 1), lohnt sich der Einsatz der roten LEDs, da diese für CD- und DVD-Player in großen Mengen von der Industrie hergestellt werden und demzufolge zu niedrigen Stückpreisen eingekauft werden können.

Das eingehende elektrische Signal wird zunächst durch eine hochohmige Operationsverstärkerschaltung angepasst. Die Spannungsverstärkung ist direkt regelbar, um einerseits eine Anpassung der verschiedenen Eingangssignale an die nachfolgende Schaltung zu gewährleisten und andererseits den Lernenden die Möglichkeit zu geben, die Auswirkungen verschieden starker Spannungsverstärkungen in einer gegebenen Situation auf die Qualität der Übertragung experimentell zu untersuchen. Zur Einstellung der Spannungsverstärkung dient ein in das Sendergehäuse integriertes hochauflösendes Potentiometer. Im Anschluss an die Signalverstärkung wird dem Signal ein Gleichspannungs-anteil aufgeprägt, der ebenfalls direkt manipuliert werden kann.