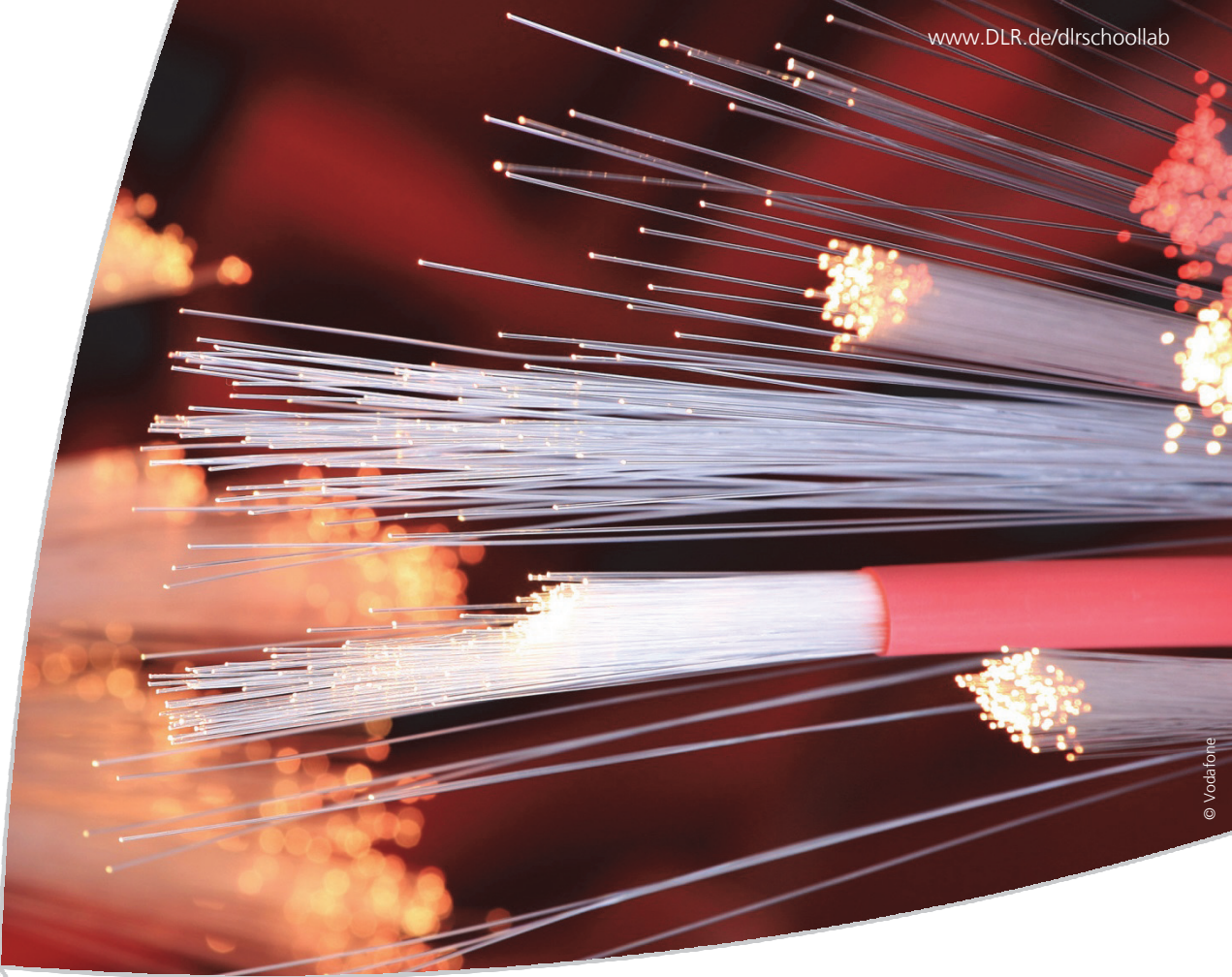




Lichtwellenleiter

Informationsübertragung
so schnell wie das Licht

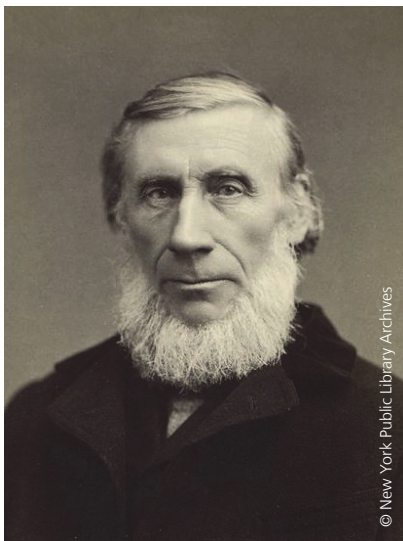
Schon aus der Geschichte gibt es Beispiele für optische Informationsübertragungen. Den damaligen Verfahren lagen vorher vereinbarte Rauch- und Blinkzeichen oder Flaggensignale zugrunde. Im 19. Jahrhundert wurde sogar mit Telegraphenmasten experimentiert, an denen verstellbare Signalfügel angebracht waren. Die Vorzüge schneller und sicherer Kommunikation mittels Licht konnten jedoch erst mit der Entwicklung von modulierbaren, intensitätsstarken Lichtquellen, schnell reagierenden, empfindlichen Strahlungsempfängern sowie verlustarm lichtleitenden Stoffen genutzt werden.

Der Einsatz der Lichtleitkabel- oder Lichtwellenleitertechnik in der Raumfahrt erfolgt aufgrund ihrer Vorteile gegenüber der klassischen drahtgebundenen Informationsübertragung. Im Nationalen Bodensegment des DLR in Neustrelitz werden die von den Satelliten mittels Parabolantennen empfangenen Fernerkundungsdaten durch Lichtwellenleiter (LWL) in den Empfangsraum des Echtzeitdatenzentrums zur weiteren Verteilung und Verarbeitung übertragen. Auch die für die Experimente im Schülerlabor aufgenommenen Daten (z. B. NOAA 19) kommen über einen Lichtwellenleiter ins DLR_School_Lab und können dort ausgelesen und bearbeitet werden.

Lichtwellenleiter – Informationsübertragung so schnell wie das Licht

Der lange Weg zur Lichtwellenleitertechnologie

Bereits aus dem 19. Jahrhundert sind Versuche bekannt, Informationen mittels Licht zu übertragen. Der englische Wissenschaftler John Tyndall versuchte erstmalig 1870, Licht in einem Wasserstrahl gezielt weiterzuleiten. Das nach ihm benannte Tyndall-Experiment kann im DRL_School_Lab mit modernen Geräten durchgeführt werden. Alexander Graham Bell und Charles Sumner Tainter übertrugen 1880 mit dem von ihnen erfundenen Photophon die menschliche Sprache mittels Lichtstrahl als Träger des Schalls. Die überbrückte Entfernung zwischen zwei Häusern betrug damals jedoch nur ca. 200 Meter.



John Tyndall (1820-1893)

In der Humanmedizin werden seit 1955 optische Fasern zur Beleuchtung innerer Organe während der Untersuchung (z. B. Magenspiegelung) genutzt. Für andere Anwendungszwecke war damals der Intensitätsverlust des übertragenen Lichtes noch zu groß. Charles Kao und Georg Hockham entdeckten 1966, dass solche Verluste auf Unreinheiten im Glas zurückzuführen sind. Sie wiesen jedoch die prinzipielle Möglichkeit einer Informationsübertragung per Lichtwellenleiter nach. Im Jahr 1970 produzierte dann das amerikanische Unternehmen „Corning Glass“ Glasfasern, die sich zur Übertragung von Telefonsignalen eigneten. Der erste Einsatz von Lichtwellenleitern in

Deutschland erfolgte 1978 zwischen zwei 4,3 Kilometer voneinander entfernten Ortsvermittlungsstellen in Berlin. Dafür wurde ein aus acht Fasern aufgebautes Lichtleitkabel verwendet. Seit Ende des 20. Jahrhunderts sind weltweit Übertragungssysteme mit Lichtwellenleitertechnik im Einsatz. Heute werden die noch vielfach vorhandenen Kupferkabel systematisch ausgetauscht, um den Anforderungen der Hochgeschwindigkeitsdatenübertragung in der modernen Informationsgesellschaft gerecht zu werden.

Besonderheiten beim Aufbau von LWL-Systemen

Die Möglichkeit der Informationsübertragung mittels Licht wird in zunehmendem Maße praktisch genutzt. Einhergehend mit dieser Entwicklung finden immer stärker neue Technologien und Materialien Anwendung. Das bezieht sich auch auf Geräte und Bauelemente, die mit den Lichtwellenleitern verknüpft sind, wie Halbleiterlaser oder Lichtsensoren. Gegenüber traditionellen Kupferleitungen haben Lichtleitkabelsysteme folgende Vorteile:

- geringere Übertragungsverluste
- größere Übertragungsstrecken ohne Zwischenverstärker
- geringere Masse und kleinere Abmessungen der Kabel
- größere Anzahl von Übertragungskanälen pro Leitungsquerschnitt
- galvanisch voneinander getrennte Empfänger und Sender
- keine elektromagnetische Beeinflussung der Infrastruktur
- hohe Abhörsicherheit
- Einsparung von immer teurer werdenden Nichteisenmetallen
- geringere Gesamtkosten pro Übertragungskanal und Kilometer

Heute noch vorhandene Nachteile optischer Übertragungssysteme, wie z. B. die strikte Einhaltung vorgeschriebener tech-

nologischer Prozeduren oder höhere Kosten für die zur Installation erforderlichen Geräte, werden kontinuierlich durch einen steigenden Anteil an automatisierten Herstellungsverfahren kompensiert.

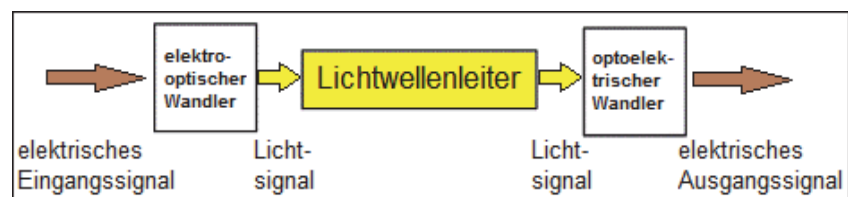
Bei der Installation von Lichtleitkabeln gelten strenge Standards, um Beschädigungen durch starke mechanische Belastungen vorzubeugen. Maximal zulässige Kräfte dürfen nicht überschritten werden. Vorgeschriebene minimale Krümmungsradien sind einzuhalten und Beschädigungen der Beschichtung des Kabels zu vermeiden. Die Ausführung von Kabelanschlüssen und -verbindungen muss in vergleichsweise hoher Qualität erfolgen, damit an den betreffenden Kontaktstellen ein weitgehend verlustfreier Lichtübergang gewährleistet ist.



Die in Neustrelitz von den Parabolantennen empfangenen Satellitendaten werden per Lichtwellenleiter in den Empfangsraum und ins DRL_School_Lab übertragen

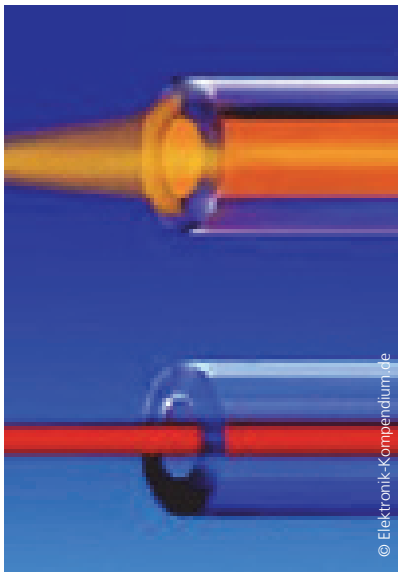
Übertragungstechniken

Die Informationsübertragung per Licht erfolgt prinzipiell nach folgendem einfachen Schema: Am Anfang befindet sich eine Lichtquelle (elektrooptischer Wandler). Das kann entweder eine lichtemittierende Diode (LED) oder ein Laser sein. Die



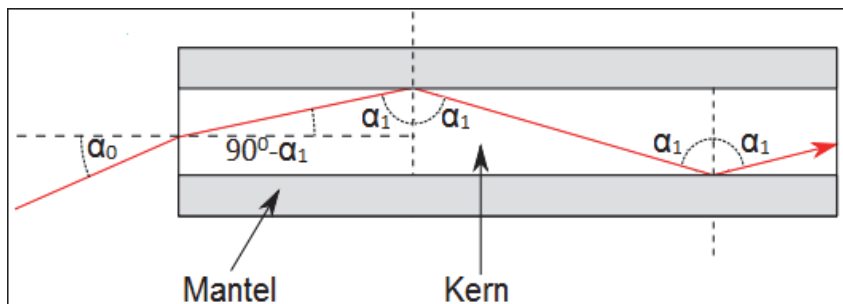
Signalwandlung bei der Informationsübertragung per Licht

Lichtquelle wird gepulst (rhythmische Schwankungen der Lichtintensität). Der lichtempfindliche Empfänger (optoelektrischer Wandler) am anderen Ende des Lichtleitkabels (z.B. Fototransistor oder Fotodiode) wandelt die Lichtimpulse wieder in die ursprünglichen digitalen



Lichtdurchgang durch eine Multimoden-Faser (oben) und eine Monomoden-Faser

Signale zurück. Selbst Laserlicht, welches einen Lichtwellenleiter durchläuft, erfährt eine Intensitätsschwächung (Dämpfung) und Signalformveränderung. Ursachen dafür sind Lichtstreuung und -absorption sowie Mikrorisse auf der Oberfläche der im LWL verwendeten Glasfasern. Lichtverstärker (engl. „repeater“) sind darum ggf. erforderlich, um das Signal zu „regenerieren“. Lichtwellenleiter bestehen prinzipiell aus einem zylindrischen, optisch durchlässigen Kern und einem Mantel mit einer geringeren Brechzahl, der den Kern konzentrisch umschließt.



Lichtweg beim Durchgang durch einen Lichtwellenleiter

Dabei wird zwischen sogenannten Multi- oder Mehrmoden-Fasern und Mono- oder Einmoden-Fasern unterschieden. Im Gegensatz zu den im Kern ca. neun Mikrometer dicken Monomoden-Fasern werden bei den 50 bis 100 Mikrometer dicken Multimoden-Fasern sehr viele diskrete Lichtwellen (Moden) zur Signalübertragung genutzt. Die Lichtanteile verschiedener Farben (Wellenlängen) werden dabei mit unterschiedlichen Einfallswinkeln in diese Faser eingekoppelt (Multiplex-Verfahren). Die Lichtweiterleitung innerhalb einer Faser erfolgt nach dem Prinzip der Totalreflexion.

Die Experimente

Im DLR_School_Lab können die Schülerinnen und Schüler in verschiedenen Versuchen die Funktionsweisen und Anwendungen von Lichtwellenleitern erforschen. Dabei wird ein Bogen vom historischen Experiment von Tyndall bis hin zur analogen und digitalen Datenübertragung gespannt. Die Jugendlichen untersuchen, wie das Licht durch den Lichtwellenleiter übertragen wird, welchen Einfluss der Biegeradius oder eine unzureichende Glätte und Sauberkeit der Kabelenden auf die Übertragung hat. Sie lernen an praktischen Beispielen die Anwendung von Reflexion und Brechung und den Einfluss der Lichtfarben bzw. der Wellenlängen kennen. Hierbei erleben sie das Zusammenwirken von elektronischen Komponenten mit optischen Bauteilen. Die Besucher erstellen selbst aus vorgegebenen Baugruppen die einzelnen Versuchsanordnungen, nehmen Messungen daran vor, werten diese aus und experimentieren mit verschiedenen Datenquellen. So erkunden sie beispielsweise im Teilversuch „Tonübertragung über einen optischen Leiter“ Signalformen und

Frequenzen sowie deren Einfluss auf die Übertragung. Dazu kommen akustische, für den Menschen hörbare Signale (Audiosignale) im Frequenzbereich zwischen 15 Hz und 20 kHz zum Einsatz. Folgende Signalübertragungen und -umwandlungen werden untersucht:

Schall → elektrisches Signal → optisches Signal → Übertragung im LWL → optisches Signal → elektrisches Signal → Schall

Die anschauliche Darstellung auf einem Oszilloskop ermöglicht den Vergleich der auftretenden Signalformen und die Analyse der stattgefundenen Veränderungen. In weiteren Experimenten können die Jugendlichen Lichtleitkabel unterschiedlicher Längen, mehrere Kabeltypen sowie den Einfluss verschiedener Biegeradien und Abstände zwischen zwei Faserenden auf die Signalübertragung genauer untersuchen.



Untersuchung des Lichtübergangs an der Kontaktstelle zweier Lichtwellenleiter im DLR_School_Lab Neustrelitz

Die quantitative Beschreibung der in einem Lichtwellenleiter auftretenden Verluste erfolgt mit der physikalischen Größe Dämpfung **A**.

$$A = 10 \cdot \lg(P_A/P_E) \text{ dB}$$

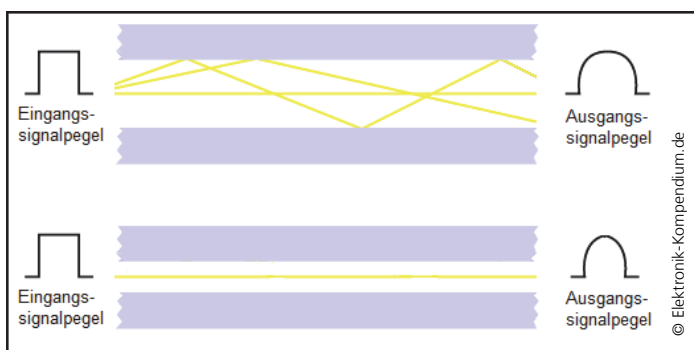
P_A Signalleistung **vor** der Übertragung
 P_E Signalleistung **nach** der Übertragung

Das „**dB**“ (Dezibel) ist dabei eine in der Praxis verwendete „Hilfseinheit“ für den eigentlich einheitenlosen Term auf der rechten Seite der Gleichung. Die Maßeinheit Bel ist nach Alexander Graham Bell benannt.

Glossar

In der modernen Datenkommunikation werden zunehmend **Lichtwellenleiter** (LWL) – auch Lichtleitkabel genannt – eingesetzt. Lichtwellenleiter sind entsprechend VDE 0888 in der Lage, modulierte Licht zu übertragen. Sie können aus Glasfasern oder lichtdurchlässigen Kunststoffen bestehen und müssen sich u.a. durch eine extrem hohe Signalübertragungsrate auszeichnen, die bis zu mehreren Milliarden Bits pro Sekunde betragen kann.

Lichtdurchgang und Signalveränderung an einer **Multimoden**-Faser (oben) bzw. **Monomoden**-Faser (unten):



Die **Dämpfung** kennzeichnet die zwischen Ein- und Ausgang einer Signalübertragungskette stattfindende Abschwächung des ursprünglichen Signalpegels. Sie ist der mit zehn multiplizierte dekadische Logarithmus aus dem Verhältnis von Eingangspegel durch Ausgangspegel. Dieser Wert wird in Dezibel (dB) angegeben.

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 16 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 8.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington D.C.

DLR Neustrelitz

Der DLR-Standort Neustrelitz liegt etwa 100 Kilometer nördlich von Berlin im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern. Hier arbeiten über 70 Wissenschaftler, Ingenieure und Angestellte.

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten am Standort sind den Themenbereichen satellitengestützte Erdbeobachtung, Navigation und Ionosphärenerkundung zugeordnet und gliedern sich in verschiedene Forschungsprogramme ein.

Hinweise zum Experiment:

Alter: 15 bis 19 Jahre

Gruppengröße: 3 bis 5

Dauer: 60 bis 120 Minuten

Inhaltlicher Bezug: Optik, Elektronik, Informatik



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt**

DLR_School_Lab Neustrelitz

Kalkhorstweg 53
17235 Neustrelitz

Telefon: 03981 237 862
oder 03981 480 220
Telefax: 03981 237 783
E-Mail: schoollab-neustrelitz@dlr.de

www.DLR.de/dlrschoollab/neustrelitz