

Heutzutage können wir uns das Leben ohne Computer nicht mehr vorstellen. Nachrichten an Freunde schreiben, im Internet surfen, Musik und Videos runterladen oder einfach Spiele spielen - das alles gehört zu unserem täglichen Leben dazu. Aber wissen wir auch, was alles dahintersteckt?



### Optische Datenübertragung

Die Photonik ist eine neue Technologie, die unser Leben stark beeinflusst. Ohne Photonik hätten wir unter anderem kein Facebook, Netflix und sogar das gesamte Internet funktioniert heute nur noch dank den Glasfasernetzen und der optischen Datenübertragung. Mit dieser Technologie kann durch das gleichzeitige Versenden optischer Signale mit verschiedenen Wellenlängen über eine einzelne Faser die Übertragungskapazität um ein Vielfaches erhöht werden. Das ist eine der vielen Vorteile dieser neuen Technologie.

### Das Internet verbindet die Menschen wie die Straßen

Das Internet ist ein riesiges Netzwerk, das Millionen von Menschen verbindet. Man kann sich es wie unser Straßennetz vorstellen. Häuser, wo wir wohnen, sind die Computer im Netzwerk und die Straßen verbinden die Häuser genauso, wie die Kabel alle Computer miteinander verbinden. Autos, die auf den Straßen fahren, sind Informationen, die wir versenden oder runterladen.



Abb.1.1: Straßennetz ist wie ein Netzwerk.

Das einfachste Netzwerk besteht aus zwei Computern, die miteinander mit einem elektrischen Kabel verbunden sind (Abb. 1.2). Alle Informationen (Daten) werden dann in Form von elektrischen Signalen zwischen den Computern übertragen. Egal ob eine E-Mail, ein Lied oder ein Foto, alle werden zuerst im Computer in sogenannte **Bits kodiert** (in Computersprache übersetzt), d.h. bestehen aus vielen **0** und **1** (so genannter **Binär-Code**). Jedem Bit wird dann ein elektrisches Signal (logische 1) oder kein Signal (logische 0) zugeordnet und über das Kabel verschickt. Den ersten Computer nennt man auch „**Sender**“, weil er die Daten sendet. Der zweite Computer, der „**Empfänger**“, **dekodiert** dann die empfangenen Daten wieder in einen Text, ein Lied oder ein Foto.

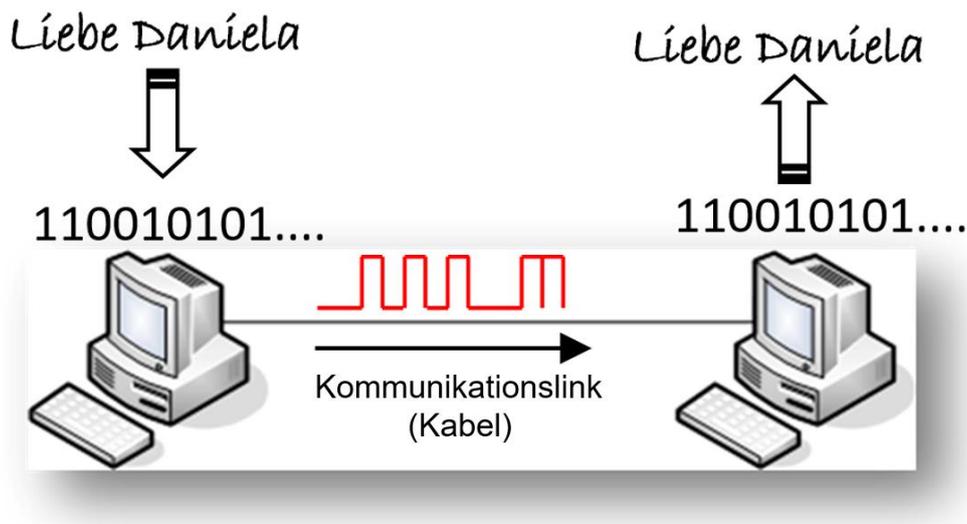


Abb. 1.2: Punkt-zu-Punkt Netzwerk.

Solange nur zwei Computer an einem Kabel „hängen“, ist die Datenübertragung sehr schnell. Wenn sich aber mehrere Computer ein Kommunikationskabel teilen müssen, wird die Übertragung immer langsamer. Die größte Herausforderung liegt aber in den Kommunikationskabeln, die Städte, Länder und sogar Kontinente verbinden. Dazu reicht nicht nur eine einfache „Straße“ – ein elektrisches Kabel, da muss eine Autobahn mit vielen Fahrspuren gebaut werden. So können viele Autos (Daten) gleichzeitig fahren (übertragen werden).

*Aber wie geht es?*

### Lichtsignale bringen die Lösung

Die Lösung dieses Problems liegt in der Anwendung einer neuen Technologie, die anstatt elektrischer Signale optische Signale zur Übertragung verwendet. Dafür muss unser Kommunikationssystem, das nur aus zwei Computern besteht (Abb. 1.2), erweitert werden (Abb. 1.3). Zuerst müssen **elektrische Signale** (die aus dem elektrischen Teil des Netzwerks kommen) in **optische Signale** konvertiert werden. Dazu verwendet man **Lichtquellen** wie eine **Lichtemittierende Diode (LED)** oder ein **Laser (Sender)**. Diese Quelle wird moduliert, das heißt, ein- oder ausgeschaltet, um die binären Ziffern (1 und 0) vom elektrischen Teil des Netzwerks darzustellen. Eine **Glasfaser** in einem **Lichtleitkabel** überträgt dann die optischen Signale (**Lichtpulse**) über weitere Strecken. Und weil Computer nur mit elektrischen Signalen arbeiten können, werden empfangene optische Signale wieder in elektrische Signale umgewandelt. Dafür benötigt man **Photodetektoren (Empfänger)**. Als Photodetektoren werden lichtempfindliche Dioden – **Photodioden** verwendet. Die Ausgabe sind wieder elektrische Impulse zur Weitergabe von Informationen in Form von Bits. Der letzte Teil

unseres optischen Kommunikationssystems ist der **Regenerator**. Wenn das Lichtsignal in einer Glasfaser über längere Strecken übertragen werden muss, wird es gedämpft und beginnt seine Form zu verlieren. Das führt dazu, dass das Signal am Empfangsende nicht zu erkennen ist. Hier kommen sogenannte Regeneratoren zum Einsatz, die das Signal nur verstärken können (Verstärker) oder komplett regenerieren, das heißt das optische Signal wird wieder in ein elektrisches Signal konvertiert, neu dargestellt und dann wieder in ein optisches Signal konvertiert.

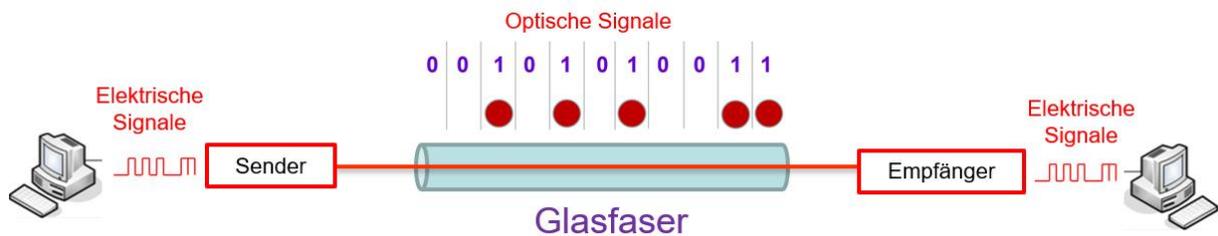


Abb. 1.3: Optisches System.

### Fiber Optics: eine neue Technologie revolutioniert das Internet

Diese neue Technologie nennt man „**Fiber Optics**“: „Optics“ – weil man Lichtsignale als Informationsmedium verwendet und „Fiber“, weil Glasfasern in den Lichtleitkabeln als Übertragungsmedium dienen. Im Modellbild unserer Straßen sind Lichtsignale fahrende Autos und die Glasfaser wie eine „virtuelle Autobahn“, in welcher man die Anzahl der Spuren erhöhen kann, ohne neu dazu bauen zu müssen (Abb. 1.4). Man nutzt dabei die Tatsache, dass das Licht farbig ist. Jede Farbe ist wie eine Spur auf der Autobahn (ein eigener Übertragungskanal). Je mehr Farben man verwendet, umso mehr Daten kann man gleichzeitig durch eine einzige Glasfaser verschicken, ohne sich gegenseitig zu stören. Schon bei zwei verschiedenfarbigen Lichtsignalen verdoppeln wir die Übertragungskapazität. Das ist einer der vielen Vorteile dieser neuen Technologie.

Um verschiedene optische Signale in einer Glasfaser gleichzeitig übertragen zu können, werden sogenannte **optische Multiplexer (MUX)** verwendet. Auf der Empfangsseite werden alle optischen Signale wieder in einzelne Signale, mit Hilfe von **optischen Demultiplexern (DeMUX)**, aufgeteilt. Diese Technik ist als **Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)** bekannt.

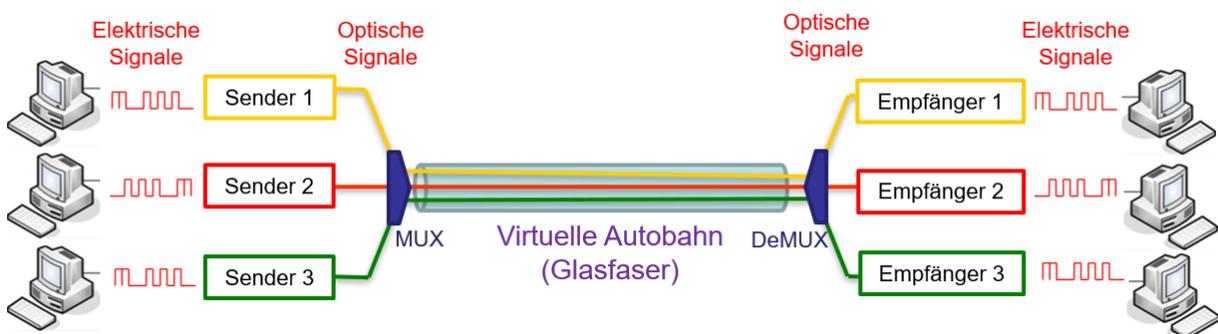


Abb. 1.4: DWDM System.

Der nächste wichtige Vorteil bei dieser Technologie ist, dass man optische Signale über Hunderte Kilometer schicken kann. Aber wie ist es möglich, dass das Licht in der Glasfaser gefangen bleibt und nicht verloren geht?

### Dünn wie ein menschliches Haar, leiten Glasfasern die Lichtsignale über hunderte Kilometer

Die Tatsache, dass das Licht in einer Glasfaser (auch Lichtleitfaser genannt) fast ohne Verluste über Hunderte Kilometer geführt werden kann, basiert auf so genannter **Totalreflexion**.

*Und was steckt dahinter? ... nur ein Bisschen Physik!*

Eine Glasfaser besteht aus 2 Teilen: einem **Kern (Core)** und einer **Ummantelung (Cladding)** (Abb. 1.5-links). Der Kern ist der innere Teil der Faser, der das Licht leitet (**Lichtleiter**). Die Ummantelung umhüllt den Kern vollständig und dient als ein **Spiegel**, der das Licht in den Kern immer wieder ohne Verluste zurückreflektiert (Abb. 1.5-rechts). Dabei gilt, dass der Kern ein optisch dichteres Material ist als die Ummantelung ( $n_c > n_{cl}$ ). Der Schutzmantel (Overcoat) außen herum dient nur als Schutz für die Glasfaser und beteiligt sich nicht am Lichtleiten.

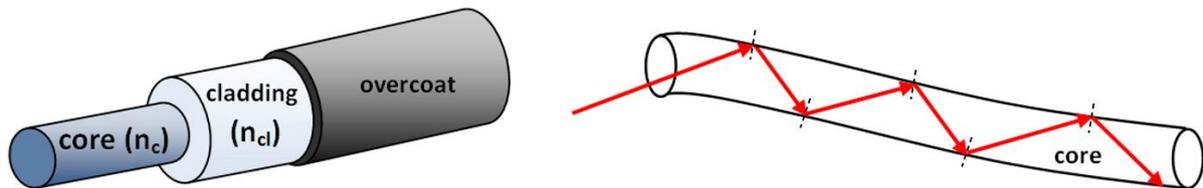


Abb. 1.5: Wie funktioniert eine Glasfaser.

Abbildung 1.5-rechts zeigt die Ausbreitung des Lichts in der Glasfaser (der rote Lichtstrahl). Wie dargestellt, wird ein Lichtstrahl in die Glasfaser auf der linken Seite eingekoppelt. Wenn der Lichtstrahl auf die Kern-Ummantelung Grenzfläche unter einem Winkel trifft, der größer als der kritische Winkel ( $\theta_c < \theta$ ), sind beide Bedingungen ( $n_c > n_{cl}$ ,  $\theta_c < \theta$ ) für Totalreflexion erfüllt, und der Strahl wird vollständig zurück in den Kern reflektiert. Da der Einfallswinkel immer gleich dem Winkel der Reflexion ist, wird das reflektierte Licht immer wieder zurück in den Kern reflektiert. Der Lichtstrahl folgt dem ZIK-ZAK Weg über die gesamte Länge der Glasfaser.

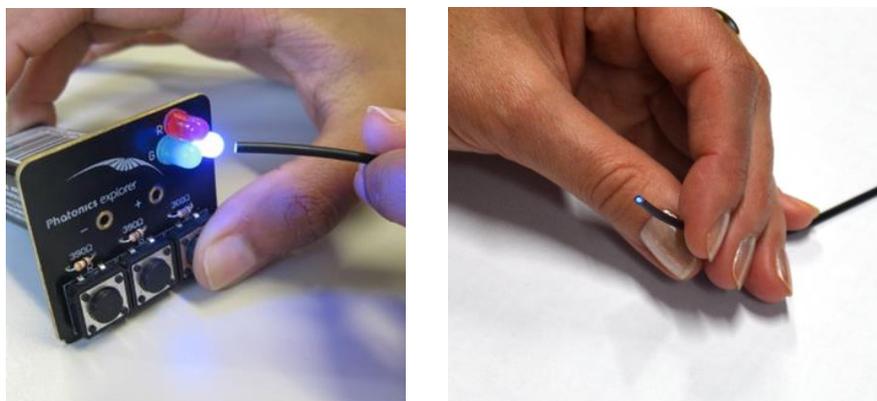


Abb. 1.6: Lichtausbreitung in einer Glasfaser: Einkopplung von Licht in die Glasfaser (links) und Auskoppeln (rechts).

### Mit Lichtgeschwindigkeit um die ganze Welt!

Eine Glasfaser kann heute bis zu 80 verschiedene Lichtsignale (Wellenlängen) gleichzeitig übertragen. Packt man mehrere Glasfasern in ein Glaskabel zusammen, kann man damit unglaublich schnell enorme Mengen an Daten um den Globus senden. Zu Verdanken ist es dem Jean-Daniel Colladon, einem Schweizer Professor an der Universität Genf, der im Jahr 1842 erstmals Totalreflexion demonstrierte (Abb. 1.7). Niemand hat damals geahnt, dass ein so einfacher und schöner Effekt später die Grundlage für eine Revolution in der Kommunikation bilden würde.

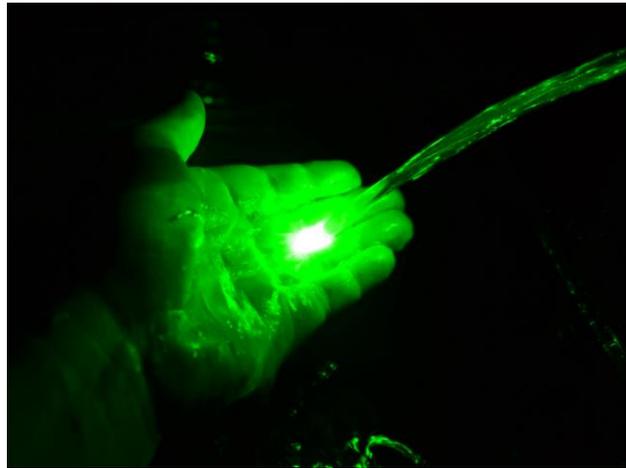
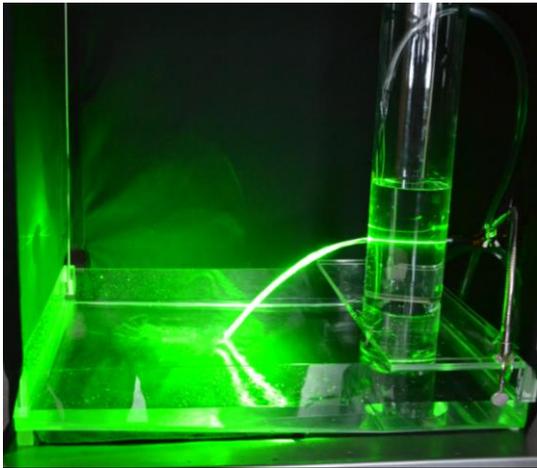


Abb. 1.7: Daniel Colladon hat mit einem einfachen Experiment gezeigt, dass man das Licht, basierend auf Totalreflexion, in einem Wasserstrahl leiten kann.