

# Glasfasern als Lichtwellenleiter

Autor(en): **Vögtli, K.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **70 (1979)**

Heft 15

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-905400>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



### Informationsübertragung mit Glasfasern

Referate der SEV-Informationstagung vom 13. Juni 1979 in Bern

### Glasfasern als Lichtwellenleiter

Von K. Vögtli

681.7.068

*Jede homogene, durchsichtige Faser mit glatter Oberfläche hat einen Lichtleiteneffekt, sofern sie von Luft umgeben ist. Damit die Oberfläche nicht durch Verschmutzung und absorbierende Materialien ihr Reflexionsvermögen verliert, muss eine für optische Übertragungen geeignete Faser aus mindestens zwei verschiedenen Glasschichten aufgebaut sein; einer zentralen mit einem etwas grösseren Brechungsindex und einer peripheren. Mit Gläsern höchster Reinheit gelingt es so, Licht über viele Kilometer zu übertragen.*

*Chaque fibre de verre homogène et transparente, à surface lisse, est capable de conduire de la lumière, si elle est entourée d'air. Pour que la surface ne perde pas son pouvoir de réflexion par suite d'encrassement et de matières absorbantes, une telle fibre doit être constituée au moins par deux couches différentes: une couche centrale d'un indice de réfraction un peu plus grand et une couche périphérique. Avec des fibres de verre d'une très grande pureté, de la lumière peut être transmise à plusieurs kilomètres.*

#### 1. Die Übertragung von Lichtwellen

Soll Licht von einem Punkt A zu einem Punkt B geführt werden und befindet sich in der geradlinigen Verbindung von A nach B ein lichtundurchlässiges Hindernis, so wird man versuchen, einen Punkt C zu finden, von dem aus sowohl A als auch B sichtbar sind, und dort einen Spiegel aufstellen. Existiert in vernünftigem Abstand kein solcher Punkt C, so wird ein hindernisfreier Weg über mehrere Spiegelpunkte gesucht werden müssen. Nötigenfalls wird man eine ganze Spiegelkette verwenden. Um von einer diskreten Lichtquelle in A möglichst viel Licht übertragen zu können, wird man das Licht bündeln, ähnlich wie dies bei den bestehenden Richtstrahlnetzen der Fall ist. Trotzdem wird die übertragene Lichtintensität stark abnehmen, wenn zwischen den Reflexionspunkten ein lichtabsorbierendes Medium vorhanden ist. Deshalb sind solche Übertragungssysteme zwar im Weltraum geeignet und in Diskussion; für terrestrische Zwecke ist dagegen eine derartige Übertragung unmöglich, wenn Nebel, Schnee oder Regen die Sicht behindern.

Verfeinert man die Spiegelkette, indem die Spiegelflächen immer näher aneinandergerückt werden, so kann man schliesslich einen allseitig verspiegelten Kanal bilden, in welchem der Lichtstrahl in einer von der Umwelt geschützten Atmosphäre geführt wird. Ein im Innern verspiegeltes Rohr wäre zum Beispiel in der Lage, das Licht auch dann weiterzuleiten, wenn es nicht gradlinig, sondern gekrümmt verlegt ist. Natürlich dürften die Biegeradien nicht zu klein sein, weil sonst Licht gegen die

Quelle zurückgespiegelt wird; aber dies würde bei einem Rohr mit glatter Wandung eigentliche Knickungen voraussetzen. Trotzdem nimmt die Lichtmenge im Rohr in jedem Fall mit zunehmender Distanz von der Quelle ab, da bei jeder Reflexion ein Teil des Lichtes vom Spiegelmaterial absorbiert wird.

Viel günstiger als eine normale Spiegelfläche verhält sich diesbezüglich eine glatte Fläche zwischen zwei optisch durchlässigen Medien mit unterschiedlichem Brechungsindex. Falls das Licht, das weitergeleitet werden soll, in einem genügend flachen Winkel auf die Trennfläche auftrifft, erfolgt Totalreflexion mit nur ganz kleinen Absorptionsverlusten. Diese tritt allerdings nur auf, wenn das Licht im optisch dichteren Medium (d.h. dem Medium mit dem höheren Brechungsindex) läuft. An Stelle eines verspiegelten Rohres kann man also mit Vorteil eine Glasfaser benutzen, welche z.B. von Luft umgeben ist. Mit Hilfe der Grenzfläche des höher brechenden Glases mit der Luft kann eingestrahktes Licht in der Faser weitergeleitet werden. Dabei ist für annähernd achsenparallele Lichtstrahlen die Grenzfläche Glas-Luft ein viel besserer Reflektor als die beste Silberschicht. Je grösser der Unterschied der Brechungsindices der beiden Medien an der Grenzfläche ist, um so schiefer einfallende Strahlen unterliegen der Totalreflexion.

Da Luft praktisch denselben Brechungsindex wie Vakuum hat (d.h. angenähert den kleinstmöglichen Wert 1), wäre eine Anordnung von Glas in Luft bezüglich der Menge Licht,

welche von einer ausserhalb der Glasfaser liegenden Quelle durch das polierte Faserende in die Faser eingestrahlt und weitergeleitet werden kann, besonders günstig. An jeder Stützstelle der Glasfaser sind aber die Reflexionsbedingungen gestört. Auch die freie Glasoberfläche innerhalb einer Spannweite wird mit der Zeit verstauben oder sonstwie verschmutzen und in der Folge nicht mehr ideal reflektieren.

## 2. Die Glasfaser als Lichtwellenleiter

Man muss also versuchen, die Reflexionsfläche von der Umwelt zuverlässig zu isolieren. Dies lässt sich dadurch erreichen, dass man Glasfasern herstellt, die einen geschichteten Aufbau besitzen, mit einem etwas höher brechenden Kern und einem niedriger brechenden Mantel. Man verlegt so die Reflexionsfläche (Glas/Luft) ins Faserinnere zwischen den zentralen Glasfäden mit höherem und den Glasmantel mit niedrigerem Brechungsindex.

Häufig werden heute Glasfasern mit einem Kerndurchmesser von 50  $\mu\text{m}$  und einem Gesamtdurchmesser (inkl. Mantelglas) von 120  $\mu\text{m}$  hergestellt. Man wäre wohl geneigt anzunehmen, dass ein möglichst grosser Unterschied der Brechungsindices anzustreben ist, damit noch möglichst schiefe Lichtstrahlen weitergeleitet werden können. Fasern mit grosser Differenz der Brechungsindices von Kern und Mantel sind in der Lage, Licht in engerem Zickzackweg weiterzuleiten als Fasern mit nur kleiner Differenz der Brechungsindices. An sich stimmt dies, aber für die Signalübertragung darf die Laufzeit eines Lichtstrahles, der praktisch parallel zur Faserachse läuft, nicht stark verschieden sein von der Laufzeit des gerade noch total reflektierten Strahls mit dem engsten Zickzackweg. Bei den tatsächlich verwendeten Fasern ist deshalb der Brechungsindex des Kernmaterials nur wenig verschieden von demjenigen des Mantelmaterials. Ein typischer Wert dafür ist z. B. 2%. Bei einer derartigen Faser ist für gerade noch weitergeführtes Licht die Schiefe zur Achse etwa  $14^\circ$ .

Man kann die Laufzeiten verschiedener Strahlengänge noch weiter annähern, indem man den Kern nicht aus einer homogenen Glasmasse herstellt, sondern selber wieder in achsenparallele Schichten unterteilt, wobei die Brechungsindices mit dem Abstand von der Fasermitte nach aussen abnehmen. Schief laufende Lichtstrahlen verfolgen dann nicht mehr einen Zickzackweg, sondern werden laufend gebrochen. Der Vorteil liegt darin, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit zunehmendem Abstand von der Faserachse ansteigt und damit der längere Weg sich nicht (oder weniger stark) in einer Laufzeiterhöhung auswirkt. An Stelle der *Stufenindexfaser* erhält man so eine *Gradientenfaser*.

Verringert man den Durchmesser der Kernzone auf einige wenige Mikron, so wird die Faser zum optischen Wellenleiter, und nur noch eine Art der Lichtausbreitung wird möglich.

Derartige *Monomodefasern* bieten keinerlei Laufzeitprobleme. Dafür wird es sehr schwierig, genügend Licht einzukoppeln, und die bei den Multimodefasern schon grossen Probleme beim Herstellen von Steckern und Spleissungen werden noch weit komplizierter. Deshalb wurden bisher bei praktischen Einsätzen nur *Multimodefasern*, vorwiegend Gradientenfasern verwendet.

Nicht erwähnt wurde bisher das Problem der Schwächung des Lichtes auf seinem Weg durch eine Glasfaser, wegen der nicht idealen Lichtdurchlässigkeit des Glasmaterials. Als man vor rund 10 Jahren erste Versuche der Signalübertragung mittels Glasfasern unternahm, hoffte man, einmal Glasfasern mit weniger als 8 dB/km Dämpfung herstellen zu können. Heute haben die Fasern typische Dämpfungen von etwa 4 dB/km. Wenn einmal die angelaufene Technologie für Licht im Infrarotbereich bei 1100–1300 nm praktisch einsetzbar ist, wird man Dämpfungen von weniger als 1 dB/km realisieren können. Dann werden die ohne Zwischenverstärkung überbrückbaren Distanzen mehrere 10 km betragen. Dass hierzu ausserordentlich reine Ausgangsmaterialien und hochentwickelte Herstellungsverfahren verwendet werden müssen, liegt auf der Hand.

## 3. Ausblick

Selbst wenn Reinheitsgrade erforderlich sind, die diejenigen der Halbleitertechnik beträchtlich übersteigen, bildet die Tatsache, dass 1 km Faser mit 0,01 mm<sup>2</sup> Querschnitt nur 10 cm<sup>3</sup> Glasmaterial beansprucht, einen Hinweis dafür, dass Glasfasern trotzdem eine wirtschaftliche Alternative zum Kupferleiter und vor allem zu den leistungsmässig vergleichbaren Koaxialleitern werden können. Die viel kleineren Dimensionen und das geringere Gewicht sind weitere Vorteile der neuen Technik. Weil die Information im Innern der Glasfasern vor jeder Störung von aussen geschützt ist, ergeben sich bei Glasfasern auch keinerlei Nebensprech- oder Beeinflussungsprobleme, und eine unerwünschte Informationsanzapfung ist praktisch ausgeschlossen. Der Umstand, dass Lichtsignale sehr energiearm sind, bringt dagegen neben Vor- auch gewichtige Nachteile. Bei Aderbruch können zwar keinerlei Funken entstehen (z. B. interessant in explosiver Atmosphäre), und auch bei Berührung sind in keinem Fall elektrische Schläge zu befürchten, aber die Lichtsignale sind andererseits nicht in der Lage, in der gewohnten Art problemlos eine Mikrofonmembran, eine Glocke oder einen Zähler zu betätigen. Glasfasern sind zurzeit ausgesprochene Informationszubringer. Stärkere Lichtquellen und bessere optisch-elektrische Wandler lassen noch weitere Möglichkeiten offen.

### Adresse des Autors

Dr. sc. nat. Kurt Vöggtli, Abteilung Forschung und Entwicklung, Generaldirektion PTT, 3030 Bern.