

I.E.18

Optik

Das Potenzial der Glasfaser – Grundlagen und Anwendungen der Technologie

Maureen Reis



© Andrew Brookes/Image Source

Derzeit wird viel Werbung für den Ausbau der Glasfasernetze und damit verbunden für schnelles Internet gemacht. Aber was genau ist eine Glasfaser? Ist die Übertragung von Daten über Glasfaser so viel schneller als über Kupferleitungen? Und wie steht es eigentlich um den Glasfaserausbau in Deutschland? Das ist ein Thema, das vor viel diskutiert wird und der Ausbau die Digitalisierung vorantreiben soll. Es handelt es sich hierbei um ein Thema, mit dem sich auch die Schülerinnen und Schüler auseinandersetzen. Die Einheit liefert Grundwissen zur Glasfaser und zu den Anwendungen der Technologie.

KOMPETENZPROFIL

Klassenstufe: 10. Klasse

Dauer: 6 Unterrichtsstunden (Minimalplan: 3–4)

Kompetenzen: Glasfaseraufbau beschreiben, Brechungsindizes, Winkel und Geschwindigkeiten von Licht in verschiedenen Materialien berechnen, Lichtbrechungen und Reflexionen erkennen und beschreiben, Lichtführung in der Glasfaser bestimmen, Unterschied zwischen Single- und Multimode erklären

Inhalt: Glasfaser, Lichtbrechungen und Reflexionen, schnelles Internet, Breitband, Datenübertragung

M 2



Was ist eine Glasfaser?

Ein Glasfaserkabel besteht nicht nur aus der eigentlichen Glasfaser, über die Daten übertragen werden. Um die eigentliche Glasfaser, welche aus einem sogenannten **Kern** (Core) und einem **Mantel** (Cladding) aus Glas bzw. Quarzsand besteht, befindet sich ein erster Schutz (Primärcoating), welcher aus einer dünnen Kunststoffschicht besteht. Dieses **Primärcoating** schützt die eigentliche Glasfaser vor allem mechanisch vor dem Zerschneiden. Darüber hinaus schützt das Primärcoating die Glasfaser auch vor eindringender Feuchtigkeit. Um das Primärcoating herum folgt eine weitere Schutzschicht, die als **Sekundärcoating** oder **Buffering** bezeichnet wird. Diese zweite Schutzschicht schützt die Glasfaser vor Spannungen und Druck von außen. Für gewisse Anwendungen kann die Glasfaser so schon verwendet werden. Diese Ausführung wird auch als **Aderversion** bezeichnet. In den meisten Fällen folgt aber noch eine weitere Schutzschicht bzw. ein Schutzmantel. Dieser **Schutzmantel** (Jacket) besteht in den allermeisten Fällen ebenfalls aus Kunststoff und schützt die Faser ebenfalls vor mechanischen Belastungen, aber auch vor Schmutz und Feuchtigkeit. Da nach Kunststoff kann der äußere Schutzmantel auch Eigenschaften wie zum Beispiel "schwer entflammbar" besitzen.



Abbildung: Maunon Reis

Wie klein eine Glasfaser ist, wird oft unterschätzt. Der Kern der Glasfaser ist bei den Standardausführungen nur wenige Mikrometer groß. Bei den sogenannten **Singlemode-Glasfasern** ist der Kerndurchmesser so klein, dass man diese nicht einmal mit einem Bleistift auf ein Blatt Papier aufzeichnen könnte. Bei den sogenannten **Multimode-Glasfasern** ist der Kerndurchmesser zwischen 50 µm und 62,5 µm groß. Das ist ungefähr so dick wie ein normales menschliches Kopfhaar. Eine Singlemodefaser ist damit in etwa so dünn wie ein menschliches Haar, das längs in fünf Teile geteilt wird.

Der Mantel ist von dem Kern mit dem bloßen Auge nicht zu unterscheiden, da beide aus Glas (Quarzsand) bestehen und zu einem Ganzen verschmolzen sind. Allerdings ist die Zusammensetzung des Glases etwas unterschiedlich, wodurch sich Kern und Mantel unter dem Mikroskop doch voneinander unterscheiden lassen. Der Mantel im Durchmesser ist 125 µm groß, unabhängig davon, ob es sich um eine Singlemode- oder Multimodefaser handelt. Der Kern und der Mantel ergeben die Glasfaser an sich. Durch den Kern und den Mantel wird Licht geschickt, welches unter bestimmten Bedingungen so Daten und Informationen von einem Sender zu einem Empfänger senden kann. Das Primärcoating, das sich um die eigentliche Glasfaser herum befindet, vergrößert den

Durchmesser auf $250\ \mu\text{m}$. Die anschließende sekundäre Schutzschicht vergrößert den Durchmesser der nun so genannten Glasfaserader auf $900\ \mu\text{m}$, also auf $0,9\ \text{mm}$. Die Glasfaser ist nun so dick wie in etwa ein menschlicher Fingernagel pro Woche wächst. Die weiteren Schutzschichten sind unterschiedlich dick, meistens vergrößern sie den Durchmesser des Glasfaserkabels auf etwa $2\ \text{mm}$. Es gibt jedoch auch Kabel, in denen sich mehrere Glasfasern befinden, dann sind meistens mehrere $900\ \mu\text{m}$ Glasfaseradern zusammen in einem dicken Kabel mit einem Durchmesser von $1\ \text{cm}$ oder auch größer zusammengefasst.

Die Glasfaser wird genutzt, um **Daten in Form von Licht zu übertragen**. Genauso wie Strom Daten übertragen kann, kann das Licht auch. Dafür können verschiedene Wellenlängen (Frequenzen) verwendet werden. Ähnlich wie bei Strom gibt es auch beim Licht eine Codierung, diese ist typischerweise durch *Licht an* und *Licht aus* gegeben. Das Licht wird durch den Kern der Glasfaser geleitet. Wenn das Licht in den Mantel gelangt, kann es, je nach Art des Mantels, ggf. wieder zurück in den Kern gelenkt werden. Sobald das Licht aber aus dem Mantel austritt und in die Schutzschichten geht, kann es nicht zurückgelenkt werden und ist somit quasi verloren. Die verlorene Lichtleistung wird dann in Wärme umgewandelt und an die Umwelt abgegeben.

Es ist wichtig, zwei Typen von Glasfasern zu unterscheiden. Das sind die schon erwähnten Single-mode- und die Multimode-Glasfasern. Beide sollen das Licht im Inneren der Glasfaser übertragen. Jedoch gibt es Unterschiede zwischen den beiden Typen, wie etwa die Größe des Kerns. Single-mode-Glasfasern hat der Kern standardmäßig einen Durchmesser von $9\ \mu\text{m}$. Multimode-Glasfasern ist der Kerndurchmesser $50\ \mu\text{m}$ groß (die älteren Multimode-Glasfasern haben einen Kerndurchmesser von $62,5\ \mu\text{m}$). Daneben gibt es noch sogenannte Dickkernfasern, die noch größere Kerndurchmesser haben, allerdings handelt es sich hierbei dann um Spezialanfertigungen, die nicht den Standard abbilden.

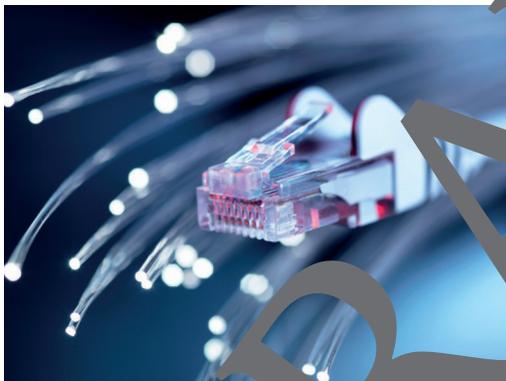


Foto links: Rafe Swan/Image Source



Foto rechts: Ian Hayhurst/Moment

Aufgabe

Vervollständige auf Basis der im Text gegebenen Informationen deine Mindmap, die du im Material Mentimeter erstellt hast.



M 3



Vergleich der Übertragung von Daten über Funk, Kupfer und Glasfaser

Daten, wie z. B. eine E-Mail oder Internetanfragen, können über verschiedene Arten übertragen werden. Noch vor 30 Jahren wurden Daten zum Großteil über Kupfer und über Funk übertragen.

Die Übertragung über **Funk** funktioniert über sogenannte **elektromagnetische Wellen**, die sich in der Luft frei bewegen können. Es wird also kein Kabel für die Übertragung benötigt. Beispiele für die Datenübertragung über Funk sind Bluetooth, WLAN und 5G.



Foto: iStock/Getty Images Plus

Bei der Übertragung von **Daten über Kupfer** werden Kupferkabel benötigt. Die Übertragung an sich erfolgt **elektrisch über Wechselstrom**. Kupfer wird z. B. bei Telefonkabeln und TV-Kabeln verwendet, aber auch für die Datenübertragung für das normale Internet, wie z. B. LAN, werden noch sehr häufig Kupferkabel verwendet, also vor allem im sogenannten Telekommunikationsbereich.



Foto: Fertnig/E+

In den letzten Jahren wurde die **Datenübertragung über Glasfaser** immer beliebter und in Deutschland weiter ausgebaut. Bei der Übertragung von Daten über Glasfaser werden Glasfaserkabel benötigt. Die **Übertragung** an sich erfolgt hierbei **optisch über Licht**. Glasfaser wird zur Datenübertragung schon seit einigen Jahrzehnten im sogenannten Backbone eingesetzt. Als Backbone werden Datenübertragungsgesetze bezeichnet, die besonders große Datenmengen übertragen, wie z. B. Netze, die Städte miteinander verbinden. Diese sogenannten Backbones wurden schon vor mehreren Jahrzehnten verlegt und beenden sich in Deutschland größtenteils aus Glasfaserkabeln.

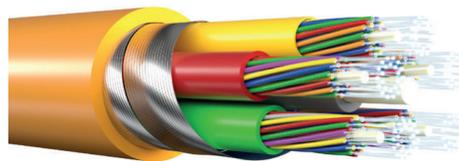


Foto: tiero/iStock/Getty Images Plus

Es werden also noch alle **drei Übertragungsarten**, nämlich **Funk, Kupfer und Glasfaser**, verwendet. Jede der drei Übertragungsarten hat Vor-, aber auch Nachteile, die je nach Anwendungsgebiet abgewogen werden müssen. Diese Vor- und Nachteile werden im Folgenden vorgestellt:

Durch die **steigende Digitalisierung** werden immer mehr Daten übertragen, wodurch größere Datenmengen als noch vor z. B. 25 Jahren mit großer Geschwindigkeit übertragen werden müssen. Über die Glasfaser sind heutzutage theoretisch Datenmengen von mehreren Gigabit pro Sekunde möglich. Es wird davon ausgegangen, dass in Zukunft auch mehrere Terabit pro Sekunde über Glasfaser übertragen werden könnten. Aktuell werden meistens Verträge mit etwa 1 Gigabit pro Sekunde an Übertragungsraten mit Glasfaser angeboten. Bei den gängigen Kupferkabeln, durch die

Die **Geschwindigkeit**, mit dem sich das Licht in den Medien bewegt, ändert sich ebenfalls bei einem Medienübergang. In einem optisch dichten Medium bewegt sich das Licht langsamer voran als in einem optisch dünneren Medium. Man kann sich vorstellen, dass das optisch dichtere Medium mehr Widerstand im Material besitzt und Licht das Medium somit langsamer durchqueren kann.

Zwischen den Brechungsindizes zweier Medien und den Geschwindigkeiten des Lichts in diesen besteht folgender Zusammenhang:

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Neben dem **Brechungsindex** gibt es auch noch die Brechzahl. Die **Brechzahl** gibt Aufschluss darüber, wie unterschiedlich optisch dicht zwei Medien zueinander sind. Aus dem Wert der Brechzahl kann auch darauf geschlossen werden, ob der Lichtstrahl von einem optisch dichten Medium in ein optisch dünneres Medium hineinbricht oder umgekehrt. Ist die Brechzahl größer als 1, bricht der Lichtstrahl von einem optisch dünnen Medium in ein optisch dichteres Medium ein. Ist die Brechzahl kleiner als 1, bricht der Lichtstrahl von einem optisch dichten Medium in ein optisch dünneres Medium ein. Die Brechzahl berechnet sich folgendermaßen:

$$n = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Um ein Gefühl für die Brechzahl und die Brechungsindizes zu bekommen, sind im Folgenden die Brechungsindizes mehrerer Medien genannt:

- Brechungsindex von Vakuum: 1,0
- Brechungsindex von Luft: 1,0003
- Brechungsindex von Wasser: 1,33
- Brechungsindex von Quarzglas: 1,46
- Glasfaserkern typisch: 1,47
- Glasfasermantel typisch: 1,45

Bei der Lichtbrechung an einem Medienübergang bricht nicht der gesamte Lichtstrahl in das zweite Medium. Ein kleiner Anteil des Lichtstrahls wird auch an der Grenzfläche der Medien reflektiert und verbleibt in dem ersten Medium. Hierbei gilt stets: Einfallswinkel (α) gleich Ausfallswinkel bzw. reflektierter Winkel (α).

In der folgenden Abbildung ist der Fall dargestellt, dass ein Lichtstrahl von einem optisch dichten in ein optisch dünneres Medium eintritt.

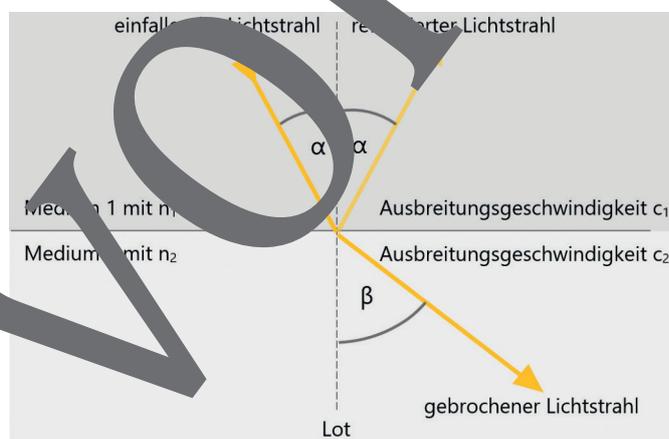


Abbildung: Maureen Reis

Wird ein Lichtstrahl von einem optisch dünneren Medium in ein optisch dichteres Medium gebrochen, wird die Richtung des Lichtstrahls in dem zweiten Medium ebenfalls geändert. Dafür wird erneut rechtwinklig (90°) zu dem Medienübergang ein Lot gezeichnet. Der Lichtstrahl, der mit dem Winkel α auf den Medienübergang trifft, wird in dem dichteren Medium mit dem Winkel β gebrochen. Dabei werden die Winkel α und β auf das Lot bezogen. Bei der Lichtbrechung von einem optisch dünneren in ein optisch dichteres Medium ist der Winkel β kleiner als der Winkel α . Man sagt auch, der Lichtstrahl wird zum Lot hin gebrochen.

In der folgenden Abbildung ist der Fall dargestellt, dass ein Lichtstrahl von einem optisch dünneren Medium in ein optisch dichteres Medium eintritt.

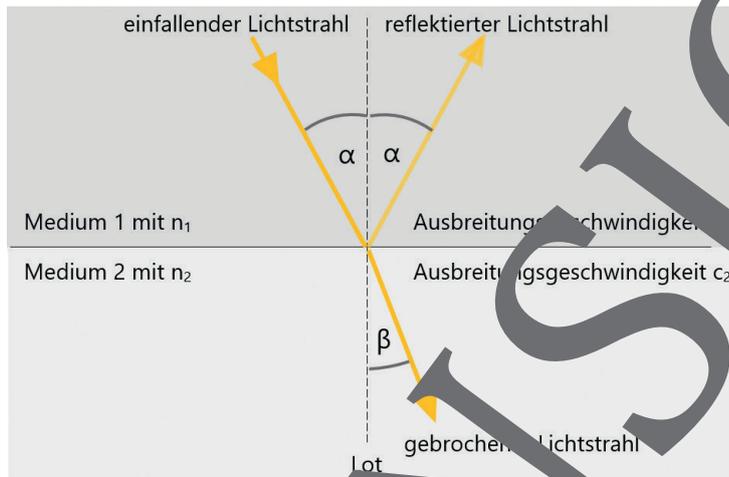


Abbildung: Maureen Reis

Aus den obigen Formeln kann auch der Zusammenhang zwischen den Winkeln α und β und den Geschwindigkeiten des Lichts in den Medien hergeleitet werden. Es gilt:

$$\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \frac{c_1}{c_2}$$

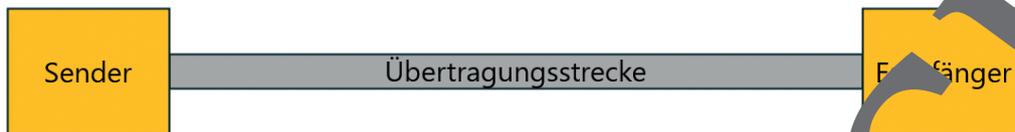
Wenn die beiden vorgestellten Fälle der Brechungen auf den Kern und den Mantel der Glasfaser bezogen werden, stellt der Kern das optisch dichtere Medium und der Mantel das optisch dünnere Medium dar. Damit möglichst viel Lichtleistung vom Sender beim Empfänger ankommt, sollte kein Licht in den Mantel der Glasfaser gelangen. In der folgenden Abbildung ist ein Beispiel dargestellt, bei dem ein Großteil des Lichtstrahls vom Kern in den Mantel bricht, da der Einfallswinkel α sehr klein ist. Es wird nur ein kleiner Teil des Lichtstrahls an der Grenzfläche reflektiert und bleibt im Kern. Dieses Beispiel ist ein Fall der Lichtführung dar, der bei der Glasfaser vermieden werden sollte.



Abbildung: Maureen Reis

Wie werden die Daten über die Glasfaser übertragen?

Ganz simpel betrachtet gibt es bei der Datenübertragung einen Sender, eine Übertragungsstrecke und einen Empfänger. Ein Sender, zum Beispiel Datenpakete aus einem Rechenzentrum, wird über die Übertragungsstrecke, welche in diesem Fall eine Glasfaser darstellt, an einen Empfänger gesendet. Der Empfänger kann zum Beispiel ein **Router** sein, der die Datenpakete als Lichtsignale empfängt und anschließend über Funk an ein Smartphone sendet.



Ein Nachteil bei der Übertragung mit Glasfaser ist, dass Daten nur in Form von Licht gesendet werden. In unserer Welt ist jedoch alles auf elektrische Signale ausgelegt. Daher müssen meistens sogenannte Wandler zwischengeschaltet werden, die die Signale umwandeln. Liegen dem Sender die Datenpakete in elektrischer Form vor, müssen diese vor der Übertragungsstrecke mit Glasfaser von elektrisch in optische Daten gewandelt werden (E/O-Wandler). Wenn der Empfänger Daten nur in elektrischer Form empfangen kann, müssen die Daten nach der Übertragungsstrecke wieder von optisch in elektrisch gewandelt werden (O/E-Wandler). Die obige Abbildung wird somit um diese beiden Wandler in der nachfolgenden Abbildung ergänzt.



Abbildungen: Maureen Reis

Je nach Länge der Übertragungsstrecke müssen auch noch **optische Verstärker** eingesetzt werden, die die optischen Signale erneuern bzw. verstärken, damit diese noch stark genug beim Empfänger ankommen. Denn wie bei jeder Übertragungsform gibt es auch bei der optischen Übertragung auf langen Strecken Verluste bzw. Störungen der ursprünglichen Signale.



Foto: pinginz/iStock/Getty Images Plus

Schauen wir uns die aus Glasfaser bestehende Übertragungsstrecken in Deutschland genauer an, ist festzustellen, dass es **Singlemode- und Multimode-Glasfaserstrecken** gibt. Vom Aufbau her unterscheiden sich Singlemode- und Multimode-Glasfasern durch die Größe ihres Kerns. Singlemodefasern haben einen Kern von etwa $9\ \mu\text{m}$ und Multimodefasern von $50\ \mu\text{m}$ bis $62,5\ \mu\text{m}$. Schauen wir bei den Übertragungen mit Singlemode- und Multimodefasern in den Kern bzw. auf die Übertragung des Lichts, stellen wir fest, dass es Unterschiede in der Übertragungsform gibt. Das Licht als Welle breitet sich in sogenannten Moden aus. Eine Mode ist eine bestimmte Form der Ausbreitung einer Lichtwelle. Bei **Singlemode** wird die Ausbreitung von Licht nur in einer einzigen Form ermöglicht. Man sagt daher, dass Singlemode nur eine Mode zulässt. In **Multimodefasern** kann sich

Über Singlemodedfasern wird das Licht typischerweise mit einer Wellenlänge von 1310 nm oder 1550 nm übertragen. Das liegt daran, dass das Licht bei diesen Wellenlängen weniger Verluste aufweist. Die Verluste werden bei der Glasfaserübertragung in Dezibel angegeben und als Dämpfung bezeichnet. **Singlemodedfasern** haben bei 1310 nm und 1550 nm eine Dämpfung von kleiner als 1 dB pro Kilometer Übertragungsstrecke.

Bei **Multimodedfasern** wird das Licht typischerweise mit einer Wellenlänge von 850 nm oder 1300 nm übertragen. Auch hier liegt der Grund darin, dass das Licht bei diesen Wellenlängen weniger Dämpfung bzw. Verluste aufweist. Multimodedfasern haben bei 850 nm eine Dämpfung von 3,0–3,5 dB pro Kilometer und bei 1300 nm eine Dämpfung von etwa 1,0–1,5 dB pro Kilometer Übertragungsstrecke.

In der folgenden Abbildung ist das **Lichtspektrum** dargestellt. Das für den Menschen sichtbare Licht deckt dabei nur den Wellenlängenbereich von 380 nm bis 740 nm ab. Das bedeutet, dass weder das verwendete Licht in Multimodedfasern noch in Singlemodedfasern für den Menschen sichtbar ist. Die Wellenlängen, mit denen das Licht in der Glasfaser typischerweise übertragen wird, befinden sich bereits im **Infrarotbereich**. In Laboranwendungen können aber auch Wellenlängen von bis zum **UV-Bereich** vorkommen. Somit kann das Licht aufgrund seiner Wellenlänge für das menschliche Auge gefährlich sein.

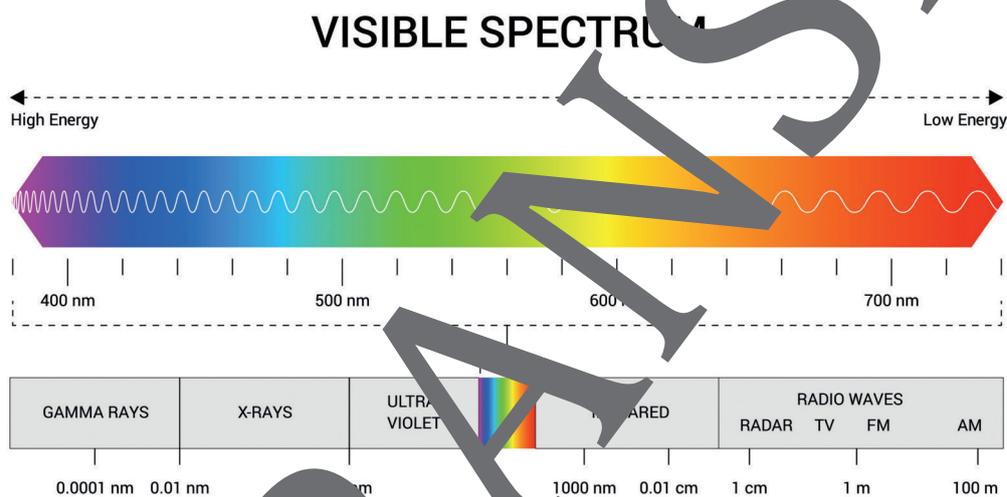


Abbildung: Designer_things/Stock/Getty Images Plus

Aufgabe

Fasse in eigenen Worten zusammen, welche Daten über die Glasfaser übertragen werden.

Zusatzaufgabe

Sieh dir die Physik zum Lichtspektrum an. Recherchiere, was man unter dem „Elektromagnetischen Spektrum“ versteht.



Auffallend ist jedoch nicht nur die niedrige Glasfaseranschlussrate in Deutschland, sondern auch, wie viele vorhandene Glasfaseranschlüsse gar nicht genutzt werden.



Quelle: DIALOG CONSULT/VATM, Grafik

Heutzutage werden in der Telekommunikationsbranche fast nur noch **Singlemodeglasfasern** verwendet. Früher wurden aus Kostengründen vorwiegend **Multimodeglasfasern** verwendet, weshalb es eben doch vorkommen kann, dass in bestimmten Gebäuden Multimodeglasfasern verlegt werden. Es ist aufgrund zu hoher Verluste nicht ratsam, das Licht von einer Multimodefaser auf eine Singlemodefaser oder von einer Singlemodefaser auf eine Multimodefaser zu wechseln. Wenn bereits in einem Gebäude eine Glasfasernetz verlegt ist, wird bei Reparaturen oder einem Austausch meistens auch wieder auf diese zurückgegriffen, da sonst die gesamte Verkabelung auszutauschen und auf eine Glasfaserart zu ändern wäre. Während früher Multimodefasern günstiger waren als Singlemodefasern sind heutzutage beide Glasfaserarten ungefähr gleich teuer.



1. Siehe die Infografiken zum Glasfaserausbau im internationalen Vergleich und zum Glasfaserpotential in Deutschland an. Fasse die Kernaussagen der Statistiken zusammen.
2. Recherchiere, wie weit der Glasfaserausbau in deiner Stadt vorangeschritten ist.

M 8



Glasfaseranwendungen außerhalb der Telekommunikation

Neben dem klassischen Einsatz zur Datenübertragung in der Telekommunikation findet Glasfaser auch immer mehr Einzug in der Industrie, der Medizin und sogar im Weltall.

Ein Beispiel für den Einsatz von Glasfaser in der **Industrie** sind **Glasfaser-Sensoren** der **Messtechnik**. So werden Glasfasersensoren eingesetzt, um die Temperatur an Stromkabeln zu messen. Die Glasfaser ist gegenüber Temperatur empfindlich und ändert entsprechend ihrer Eigenschaften bei Temperaturwechsel. Wird Licht durch die Glasfaser des Sensors geschickt, verändert sich das Licht beispielsweise in der Intensität bei einer wärmeren Temperatur. Auch gegenüber Dehnungen sind Glasfasern empfindlich. Wird eine Glasfaserstrecke gedehnt, ändert sich ebenfalls das Licht am Empfänger. Ein solcher Sensor kann somit beispielsweise auf Brücken oder in Tunneln eingesetzt werden. So können Dehnungen und Temperaturschwankungen schnell erkannt und es kann ein entsprechender Alarm ausgelöst werden, wenn eine Brücke zu sehr beansprucht wird, sich die Tunneldecke mit der Zeit absenkt oder eine zu hohe Temperatur entwickelt wird.

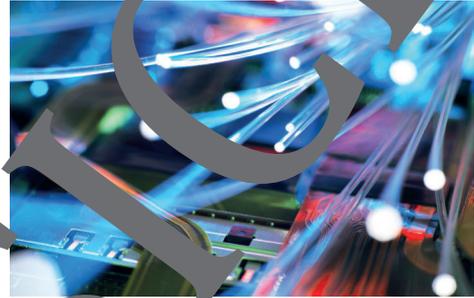


Foto: iStockphoto.com/Markus Brookes/Image Source

Auch für die Übertragung von reiner Lichtleistung werden Glasfasern in der Industrie und in der Medizin verwendet. In der Industrie wird das Licht von Lasern über die Glasfaser übertragen, um ein Material mit Laserlicht zu schneiden. In der Medizin wird ebenfalls Laserlicht über Glasfaser übertragen. Dies ist zum Beispiel notwendig, um einen Tumor im Gewebe mit Infrarotstrahlung zu zerstören. Aber auch bei Augenoperationen werden Glasfasern eingesetzt, wenn am Auge mit UV-Laser operiert wird.

In der **Medizin** wird Glasfaser auch genutzt, um die Datenübertragung von Kamerabildern eingesetzt. Häufig müssen sich Ärzte mit Kameras in menschlichen Körper Organe oder Gewebe anschauen. Mit Glasfasern können die Bilder aus dem menschlichen Körper deutlich farbereicher übertragen und auf dem Bildschirm für den Arzt dargestellt werden.

Auch im **Weltraum** wird Glasfaser eingesetzt. Zur Kommunikation eignen sich Glasfaser vor allem zwischen Militärsstützpunkten, da Glasfaser nur sehr schwierig abgehört werden kann, ohne dass es der Empfänger mitbekommt. In mobilen Umgebungen bleibt aber nach wie vor Funk das Übertragungsmedium, da für Glasfaser eine Kabelverbindung notwendig ist und die Daten nicht über die Luft übertragen werden können.



Foto: Science Photo Library – PASIEKA/Brand X Pictures

Ein wichtiger Anwendungsbereich von Glasfaser ist das **Weltall**. Bei allem, was ins Weltall gebracht wird, wird genau auf das Gewicht geachtet, da Raketen und Satelliten enormen Kräften ausgesetzt werden müssen, um die Erdanziehung zu überwinden. Je leichter die Raketen und Satelliten sind, desto weniger Kraft und desto weniger Treibstoff

Mehr Materialien für Ihren Unterricht mit RAAbits Online

Unterricht abwechslungsreicher, aktueller sowie nach Lehrplan gestalten – und dabei Zeit sparen.
Fertig ausgearbeitet für über 20 verschiedene Fächer, von der Grundschule bis zum Abitur: Mit RAAbits Online stehen redaktionell geprüfte, hochwertige Materialien zur Verfügung, die sofort einsetz- und editierbar sind.

- ✓ Zugriff auf bis zu **400 Unterrichtseinheiten** pro Fach
- ✓ Didaktisch-methodisch und **fachlich geprüfte Unterrichtseinheiten**
- ✓ Materialien als **PDF oder Word** herunterladen und individuell anpassen
- ✓ Interaktive und multimediale Lerneinheiten
- ✓ Fortlaufend **neues Material** zu aktuellen Themen



Testen Sie RAAbits Online
14 Tage lang kostenlos!

www.raabits.de

