

Optische Nachrichtenübertragung

Mit der optischen Nachrichtenübertragung und der optischen Nachrichtentechnik ist die Übertragung von jeglichen Informationen wie der Sprache, der Musik oder anderen Daten mithilfe von elektromagnetischer Strahlung im geeigneten Frequenzbereich zwischen Sender und Empfänger gemeint.

Der gesendete Datensatz wird als Signal einer Welle aufgeprägt. Je höher die Frequenz desto höher wird die Übertragungsbandbreite. Bei konstantem Verhältnis zwischen Leistung und Signal und allen Störprozessen steigt die in einem Zeitraum übertragbare Menge. Um die richtige Trägerfrequenz zu bestimmen, muss Rücksicht auf Parameter wie: die Übertragungskapazität, Übertragungsstrecke, Fehlerrate, Signalverzögerung etc. genommen werden.

Um feststellen zu können wie viel übertragen werden kann, muss man einen Blick auf das Bandbreite-Reichweite-Produkt eines optischen Nachrichtenübertragungssystem werfen. Das dabei entstandene Produkt wird MHz oder auch in Mbit/s km angegeben.

Bestandteil eines o.N:

- Elektrische Signalquelle
- Die optische Quelle
- Der Modulator (optische Quelle wird moduliert)
- Der Übertragungskanal (vom Übertragungsmedium abhängig)
 - Weitere optisch-elektrische Komponenten wie z.B. Filter, Verstärker oder Regenerator zu finden
- Der Empfänger (wandelt das el. Licht in ein Signal um)
- Demodulator (Wandelt Information in ursprüngliche Form zurück)
- Die Signalsenke (verarbeitet die Empfangene Nachricht)
- Taktsystem (Zur Synchronisation von Komponenten)

Bei o. N. wird zwischen zwei Übertragungsarten, nämlich der Freiraumübertragung, bei welcher sich das Licht atmosphärisch oder im Weltall ausbreitet und der Lichtnachrichtenübertragung, bei der Licht in einen eigenen Lechleiter geführt wird unterschieden.

Freiraumübertragung:

Reguläre Freiraumübertragung

- Vorteile:
 - Gut geeignet für kurze Distanzen
 - Anwendungsbeispiele siehe Punkt Verwendung
- Nachteile:
 - Leistung nimmt pro Flächeneinheit mit dem Quadrat der Entfernung zwischen Quelle und Empfänger ab
 - Mögliche starke Begrenzung von Übertragungskapazität und Reichweite, bei ungerichteter Verbindung, bei der die Quelle in den gesamten Raum oder

zumindest in einem beträchtlichen Teil davon abstrahlt und der Empfänger diese Strahlung nur Teils empfängt

- Theoretisch erzielbare Bandbreite in Räumen mit Sonneneinstrahlung bei Wellenlängen in nahen Infrarot liegt bei 100MHz
- Dopplereffekt
- Anwendungsfälle:
 - Infrarotfernbedingungen mit einigen kBits Übertragungsraten/m
 - Drahtlose Verbindungen von Rechnerkomponenten
 - Zeitweilige Herstellung von Telekommunikations- oder Datenverbindungen über Strecken von einigen Kilometern.
 - Kommunikation zwischen Satelliten

Gerichtet Verbindungen bei Freiraumübertragungen

Um bei größeren Entfernungen Daten übertragen zu können, werden gerichtete Verbindungen verwendet. Die Divergenz der Strahlung zwischen Sender und Empfänger wird hierbei durch optische Elemente, wie Linsen oder Spiegel verringert. Je geringer die Divergenz der Empfänger, desto geringer ist das empfangene Umgebungslicht und desto geringer ist die Störanfälligkeit durch dieses. Jedoch ist durch die kleine Divergenz auch die erforderliche Genauigkeit der Ausrichtung von Sender und Empfänger höher.

Die bedingten Strahlungsverluste werden bei der Freiraumübertragung, als Freiraumverluste bezeichnet. Bei der Ausbreitung in der Erdatmosphäre kommen Absorptions- und Streuverluste hinzu.

Lichtleiternachrichtenübertragung:

Wird ein optisches Medium mit dem Brechungsindex n mit einem Material mit einem kleineren Brechungsindex umgeben, werden alle Strahlen, welche die Grenzfläche unter einem Winkel erreichen, der kleiner als der Grenzwinkel der Totalreflektion ist, vollständig reflektiert.

Optische Fasern sind dünn und flexibel und ermöglichen die Übertragung eines Lichtsignals über eine große Entfernung. Diese bestehen aus einem Kern mit dem Durchmesser d von der Größenordnung der Lichtwellenlänge λ und einem Mantel, wobei der Kern das Licht führt. Es gibt hierbei wieder einige Arten von diesen optischen Fasern wie, Stufenindexfasern und Gradientenindexfasern. Beide der genannten Fasern weisen unterschiedliche Brechungsindexprofile auf.

$$n(r) = n_1 \sqrt{1 - 2\Delta \left(\frac{r}{d/2}\right)^g} \quad \text{mit} \quad \Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$$

Klein $R(r)$ ist hierbei der Abstand der Fasern Achse.

Der Maximale Akzeptanzwinkel der Stufenindexfaser ist durch die Formel:

$$\sin \alpha_{\max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \text{ gegeben.}$$

Dämpfung in optischen Medien:

Die Dämpfung in optischen Medien, bei der Freiraumübertragung und der Lichtleiterübertragung, erfolgt durch verschiedene Mechanismen wie Absorption und der Streuung. Die Dämpfung wird in db/km angegeben.

- Bei der Freiraumübertragung in Luft spielt die Absorption durch Wasser, Kohlendioxid und Ozon eine Rolle, wie die Streuung an Molekülen, Rauch, Staub, Dunst und Hindernissen im Lichtweg.
- In Quarzglasfasern tritt die Rayleigh-Streuung aufgrund von Inhomogenitäten mit kleineren Abmessungen als die Lichtwellenlänge auf. Weitere Verluste treten durch Änderungen von Faserkerndurchmesser, exzentrizität oder vom Brechungsindex mit der Länge auf. Eine mechanische Belastungen und Faserkrümmungen wirken sich auch störend aus.
- Glasfaserübertragung
 - Bei Glasfasern müssen nicht lineare Effekte berücksichtigt werden, darunter die stimulierte Raman- und Brillouin-Streuung. Beide Effekte treten bei schmalbandigen Quellen und Leistungen über 1mW auf und führen zur Streuung von Licht. Ein weiterer nichtlinearer Effekt ist die Vierwellenmischung, bei der es zu einem Energieaustausch zwischen den Teilwellen kommt, wenn Licht mehrerer Wellenlängen in einer Faser übertragen wird

Definition Moden & dazugehörige Formel:

Eine optische Faser ermöglicht die Übertragung von Licht durch ihren Kern, und dabei können sich mehrere Moden ausbreiten. Diese sogenannten Moden können als verschiedene Pfade oder Wege betrachtet werden, auf denen das Licht durch die Fasern Reisen kann. Jedes Moden ist eine räumliche Lichtverteilung innerhalb des Faserkerns. Die verschiedenen Moden haben unterschiedliche Intensitätsmuster und Phasenverteilungen. Die letztliche Anzahl der Moden hängt von der Art der Faser und ihrer geometrischen Eigenschaften ab.

Die angeführte Formel wird verwendet um die mögliche Anzahl der Moden in einer optischen Faser zu berechnen.

$$M = \frac{1}{2} \frac{g}{g+2} \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right)^2 (n_1^2 - n_2^2) = \frac{1}{2} \frac{g}{g+2} \left(\frac{\pi d \text{NA}}{\lambda} \right)^2$$

- NA → numerische Apertur
- d → Dicke des Faserkerns
- n(r) → lokale numerische Apertur
- λ → Größenordnung der Lichtwellenlänge

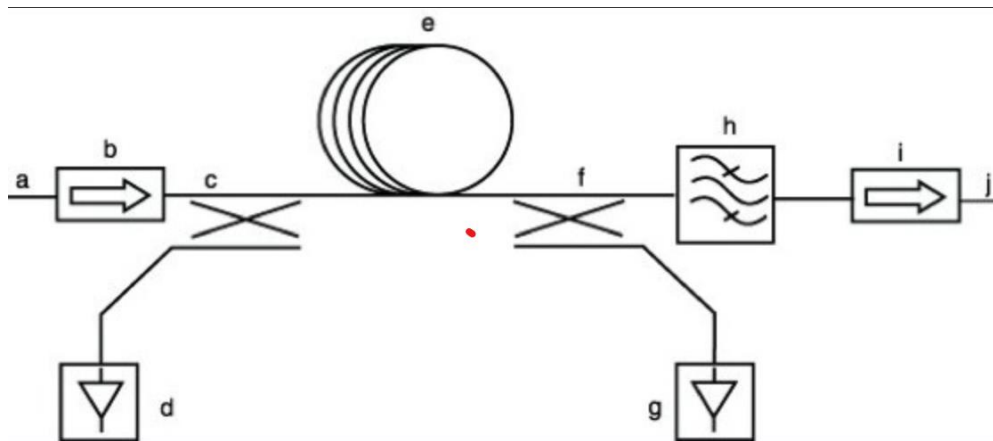
Heutige Telekommunikationsnetze und Zukünftiges:

Heut zu Tage sind die Telekommunikationsnetze im Fernnetz komplett digital realisiert. Dazu wird die Synchrone-Digitale-Hierarchie Technologie verwendet. Bei dieser können Datenraten von 155Mbit/s bis zu 2.5Gbit/s erreicht werden. Die Daten werden dabei in einzelne Blöcke zusammengefasst werden. Es wird zwischen Datenströmen einer niedrigeren Stufe und Datenströme einer höheren Kategorie unterschieden. Mehrere Datenströme einer niedrigeren Kategorie werden zu einem Datenstrom der höheren Kategorie zusammengefasst. Um die Reichweite bei der Übertragung zu erhöhen werden Regeneratoren und EDFA-Verstärker eingesetzt.

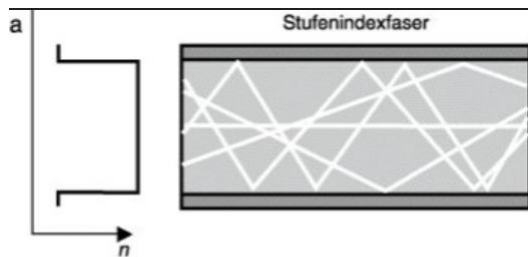
Um interkontinental Daten übertragen zu können werden Unterseekabel mit Übertragungslängen von 10000 km verwendet. Um die Daten so weit übertragen zu können werden mehrere EDFA-Verstärker verwendet.

Zukünftig will man ein transparentes optisches Netz realisieren. Bei diesem optischen Netz werden jegliche Vermittlungsstellen über ein voll vermaschtes Glasfasernetz verbunden. An den Vermittlungsstellen sind Schalteinrichtungen, die Signale eingehender Fasern beliebig auf abgehende Fasern umschalten können. Bei einer typischen Ausdehnung wird vermutet über 1000 km bist Datenübertragungsraten bis zu 10 Gbits/s erreichen zu können. Das Besondere an dieser o.N. ist, dass alle Prozesse rein optisch also ohne Signalverarbeitung erfolgen sollen.

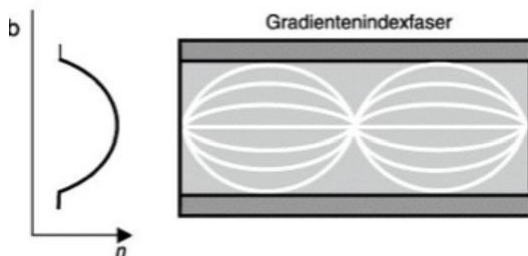
Optische Nachrichtenübertragung Tabelle 1: Kenngrößen moderner Fasern.				
	Einmoden-Glasfaser	Mehrmoden-Glasfaser	Mehrmoden-Glasfaser	Mehrmoden-Polymerfaser
typische Wellenlänge	1550 nm	1300 nm	850 nm	650 nm
Kerndurchmesser	10 µm	50 µm	62,5 µm	980 µm
Indexprofil	Gradienten- und Stufenindex	Gradientenindex	Stufenindex	Stufenindex
Modenzahl	1	160	2000	2 500 000
NA	0,12	0,21	0,27	0,47
kleinste Dämpfung	0,17 dB/km	0,30 dB/km	7 dB/km	125 dB/km
Materialdispersion	17 ps/nm · km	≈ 0	50 ps/nm · km	300 ps/nm · km
Modendispersion	–	0,3–0,9 ns/km	0,4–0,9 ns/km	22 ns/km

Aufbau eines EDFA Faserverstärkers:

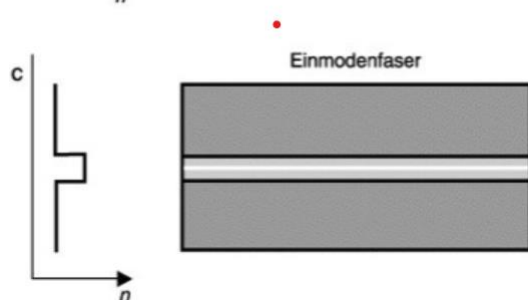
Das Signal wird in a) eingekoppelt. Über den Koppler c) wird vom Laser d) Pumplicht hinzugefügt. Die Störungen werden mithilfe der Faraday-Isolatoren b) und i) verringert. Der Bandpassfilter h) unterdrückt die spontan emittierte Lichtleistung. Das verstärkte Signal verlässt den Faserverstärker durch den Ausgang j). g) und f) sind weitere Laser.



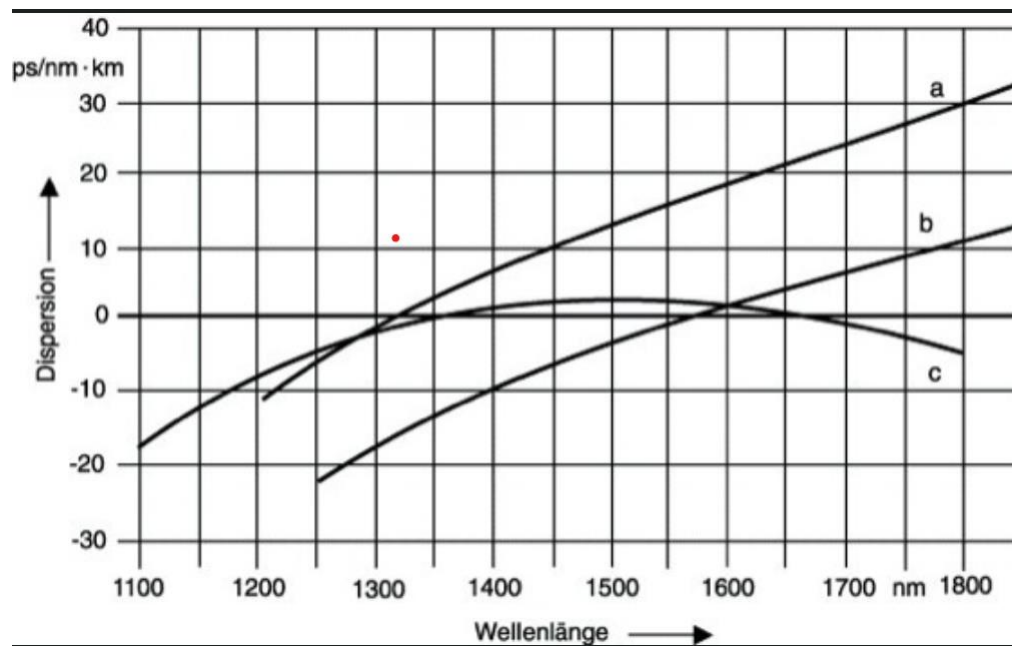
Beim Mehrmodenfasern mit Stufenprofil lassen sich der Brechungsindexverlauf und der Strahlverlauf in verschiedenen Lichtleitfasern anhand der Abbildung a) erkennen. Eckdaten (100 μm Kern und einen 140 μm Mantel)



Beim Mehrmodenfasern mit Indexprofil lassen sich der Brechungsindexverlauf und der Strahlverlauf in verschiedenen Lichtleitfasern anhand der Abbildung b) erkennen. Eckdaten (mehrere 100 Moden, 62.5 μm Kern und 125 μm Durchmesser)



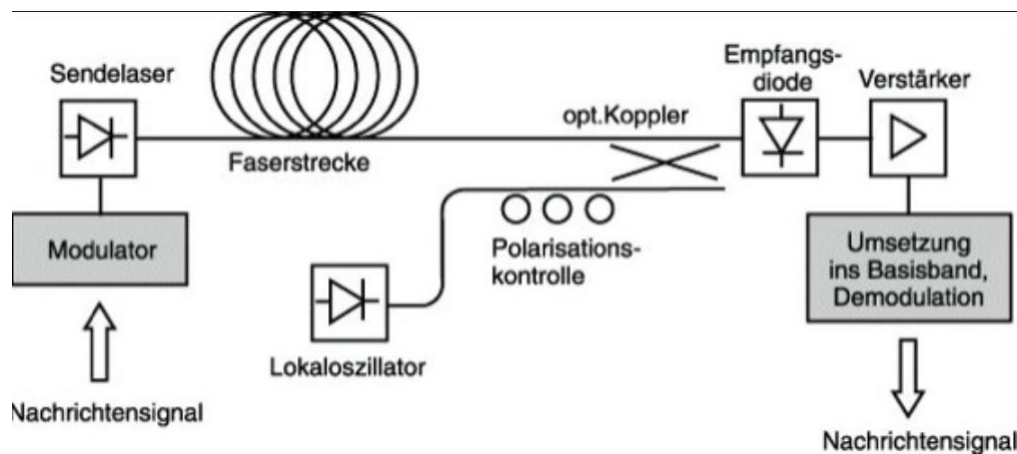
Beim Einmodenfasern lassen sich der Brechungsindexverlauf und der Strahlverlauf in verschiedenen Lichtleitfasern anhand der Abbildung c) erkennen. Hierbei ist auch zu erkennen, dass sich das Licht nur in Richtung der Kernachse ausbreitet. Eckdaten (10 μm Kern und 125 μm Mantel)



Chromatische Dispersion in typischen Fasern.

- Standard-Einmodenfaser,
- dispersionsverschobene Einmodenfaser,
- dispersionsgeglättete Einmodenfaser.

Schematische Darstellung eines Systems mit Überlagerungsempfang



Fragen:**1) Nenne Sie drei Anwendungsfälle für die Freiraumübertragung**

- Infrarotfernbedingungen
- Drahtlose Verbindungen von Rechnerkomponenten
- Satellitenkommunikation

2) Lückentext:

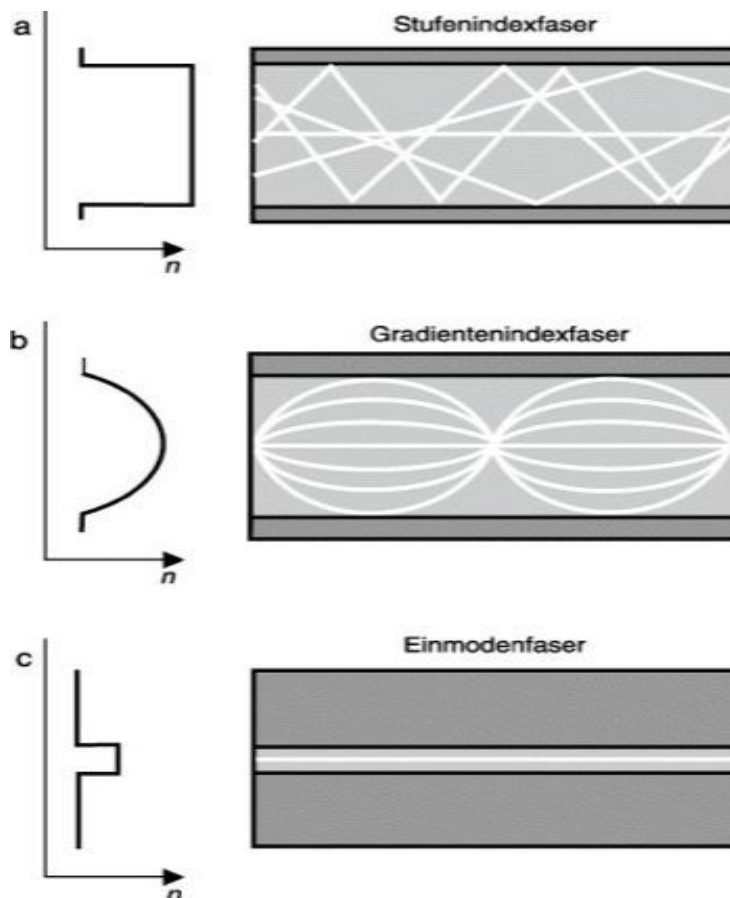
Je die der , desto geringer ist das empfangene und desto geringer ist die durch dieses.

Auswahl (2 Wörter kommen nicht vor):

Divergenz, Störanfälligkeit, Umgebungslicht, geringer, Empfänger, Sender, Satellitenkommunikation

Lösung:

Je geringer die Divergenz der Empfänger, desto geringer ist das empfangene Umgebungslicht und desto geringer ist die Störanfälligkeit durch dieses.

3) Zuordnen (3 falsch, 3 richtig)

Ordnen Sie folgende Definition den einzelnen Abbildungen zu.

1) Mehrmodenfaser mit Stufenprofil. Es bilden sich typischerweise mehrere 100 Moden aus. Gebräuchliche Durchmesser sind 100 μm für den Kern und 140 μm für den Mantel

2) Es werden Datenraten zwischen 155 Mbit/s und 2,5 Gbit/s realisiert. Die Daten werden dabei zu Blöcken zusammengefaßt. Die verschiedenen Bitraten sind so gewählt, daß mehrere Datenströme einer niedrigeren Stufe in einen Datenstrom der höheren Kategorie zusammengefaßt werden können

3) Einmodenfaser. Das eingestrahlte Licht breitet sich nur in Richtung der Kernachse aus. Gebräuchliche Durchmesser sind 10 μm für den Kern und 125 μm für den Mantel.

4) Mehrmodenfaser mit Indexprofil. Die Modenzahl liegt auch hier typischerweise bei mehreren 100 Moden. Gebräuchliche Durchmesser sind 62,5 μm für den Kern und 125 μm für den Mantel.

5) Polymerfaser auf der Basis von PMMA

6) Quarzglas-Mehrmodenfaser mit Kunststoffmantel

Lösung:

- 1) \rightarrow a)
- 4) \rightarrow b)
- 3) \rightarrow c)