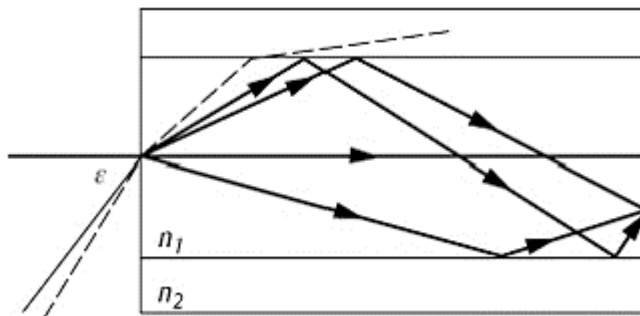


6. Optische Kommunikation über Lichtwellenleiter (LWL, Glasfasern)

IT-Handbuch ca. Seite 291-295

Statt Kupferkabel werden vermehrt LWL für die Informationsübertragung verwendet.



Sie funktionieren nach dem Prinzip der **Totalreflexion**. Dank der Totalreflexion an der Mediengrenze bleibt der Lichtstrahl im inneren optischen Leiter eingeschlossen. Totalreflexion ist ein Spezialfall der **Brechung** und tritt dann auf, wenn Licht von einem optisch dichteren Medium in ein optisch weniger dichtes Medium übertreten will und dabei der Winkel „flach genug ist“, gegenüber dem Lot also ein stumpfer, grosser Einfallswinkel auftritt. **n1** und **n2** nennt man die **Brechzahl** oder den **Brechungsindex** des Stoffes.

Damit Totalreflexion vorkommt, muss gelten: **n1 > n2**.

Wenn die Strahlen schief „fliessen“, machen sie einen längeren Weg.

Der innere Kern sollte also möglichst dünn sein, damit die Strahlen möglichst gerade „fliessen“.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Licht in einem Medium ist immer deutlich langsamer als die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum.	Das Brechungsgesetz gilt genau gleich: Die Beziehung zwischen Ausbreitungsgeschwindigkeit und Brechzahl lautet:
Und zwar genau proportional langsamer zum Brechungsindex! Der Brechwert ist also quasi ein Bremsfaktor für das Licht. Der Brechungsindex des Vakuums ist 1.	$\frac{v_2}{v_1} = \frac{n_1}{n_2}$

Siehe Aufgabe über Laufzeitunterschiede!

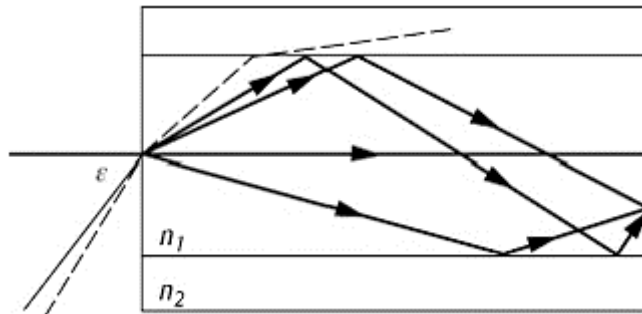
Vorteile von Lichtleitern gegenüber elektrischen Leitern

- Hauptvorteile sind die erheblich höheren möglichen Übertragungsraten (Gigabit- bis Terabit-Bereich)
- sehr grosse mögliche Reichweiten (bis zu mehreren hundert Kilometern ohne Zwischenverstärker)
- keine Signaleinstreuung auf benachbarte Fasern (Nebensprechen)
- keine Beeinflussung durch elektromagnetische Störfelder, was u. a. die Kombination mit Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungskomponenten möglich macht
- keine Erdung oder elektrische Abschirmung erforderlich
- sichergestellte galvanische Trennung (elektrische Nicht-Verbundenheit) der verbundenen Komponenten
- keine Brandauslösung durch Blitzeinwirkung oder Kurzschluss und geringere Brandlast, sowie verwendbar auch in explosionsgefährdetem Umfeld
- höhere Abhörsicherheit

Nachteile

- Konfektionierungsaufwand ist grösser (das Einpacken und Schützen)
- Präzision und Sorgfalt bei der Verlegung und Installation, was teure Gerätetechnik und komplexe Messtechnik erfordert. Diese höheren Kosten werden aber durch die oben genannten Vorteile und damit verbundenen Einsparungen mehr als kompensiert
- empfindlich gegenüber mechanischer Belastung (Druck, Zug)
- Einschränkungen bei der Verlegung, da keine starken Krümmungen möglich sind
- Power over Ethernet ist nicht möglich (nicht für Energieübertragung vorgesehen)

Aufgaben:



Gegeben ein LWL.

Ein Lichtstrahl breitet sich idealerweise gradlinig aus. Hier nehmen wir aber einen, der mit 30 Grad Winkel zur geraden Leiter-Achse durch den Leiter „strömt“.

n_1 sei **1,5** (n_2 muss einfach kleiner sein)

- a) Um wieviel % länger ist der Zickzackweg? Unabhängig von der Kabellänge!
- b) Welcher **Laufzeitunterschied** ergibt sich zwischen diesem Strahl und einem, der sich ideal gradlinig im Leiter ausbreitet, wenn wir einen **1km** langen LWL nehmen?
- c) **Impulsverbreiterung:** Angenommen, wir senden einen Rechteck-Lichtimpuls auf die Leitung (digitale 1-Bit-Information). Was kommt ungefähr auf der anderen Seite an? (Skizze)
- d) Welches ist die maximale Frequenz, die wir über ein 1km langes solches Kabel schicken können, wenn der letzte Teil des ersten Impulses (sagen wir jener von einem Strahl mit 30 Grad) noch vor dem Beginn des zweiten Impulses am Ende ankommen soll?

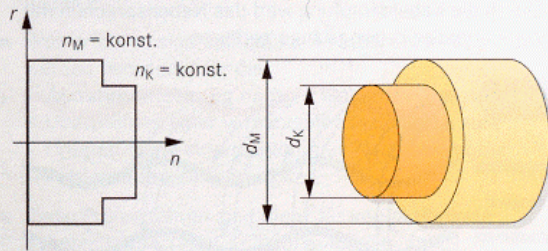
Als **Bandbreite** bezeichnet man jene maximale Ein-/Ausschaltfrequenz, bei der die **Lichtleistung** – verglichen mit Frequenz null – um **50 %** bzw. **3 dB** abgefallen ist.

e) Welches ist diese maximale Frequenz, falls das Kabel **10km** lang wäre?

f) Somit gibt es eine Grösse, welche die Übertragungskapazität eines LWLs zuverlässig charakterisiert:

Mehrmoden-Stufenfaser

Stufenindex-Profil



Typische Werte:
 $n_M = 1,517$ (Mantel)
 $n_K = 1,527$ (Kern)

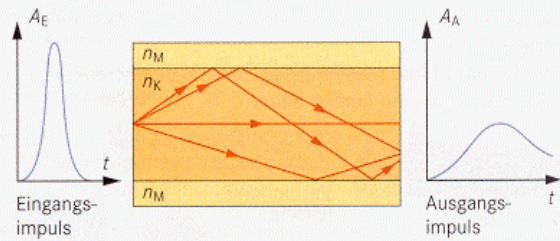
n : Brechzahl

Typische Werte:

d_K $\left\{ \begin{array}{l} 100 \mu\text{m} \\ 200 \mu\text{m} \\ 400 \mu\text{m} \end{array} \right.$

d_M $\left\{ \begin{array}{l} 200 \mu\text{m} \\ 300 \mu\text{m} \\ 500 \mu\text{m} \end{array} \right.$

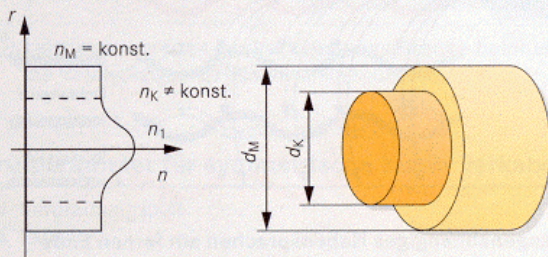
Multimode



- Große Laufzeitunterschiede der Lichtstrahlen
- Starke Impulsverbreiterung
- Bandbreite-Reichweite-Produkt $B \cdot l > 100 \text{ MHz} \cdot \text{km}$
- Einsatzbereich: Kurzstrecken, in Gebäuden

Mehrmoden-Gradientenfaser

Gradientenindex-Profil

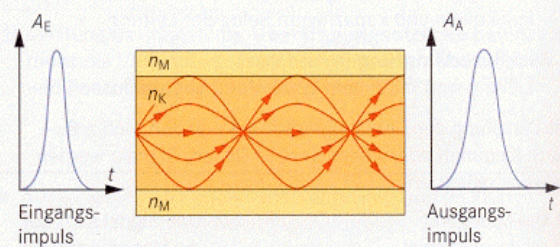


Typische Werte:
 $n_M = 1,417$ (Mantel)
 $n_K = 1,457$ (Kern)

Typische Werte:

$d_K = 50 \mu\text{m}$
 $d_M = 125 \mu\text{m}$

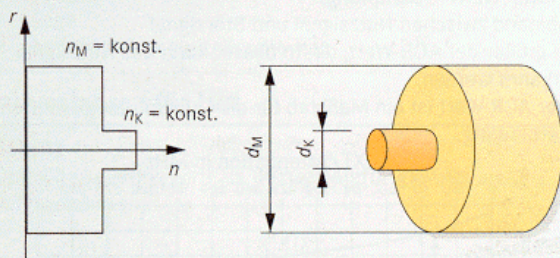
Multimode



- Geringe Laufzeitunterschiede der Lichtstrahlen
- Geringe Impulsverbreiterung
- Bandbreite-Reichweite-Produkt $B \cdot l > 1 \text{ GHz} \cdot \text{km}$
- Einsatzbereich: Ortsnetz, Bezirksnetz

Einmoden-Stufenfaser

Stufenindex-Profil

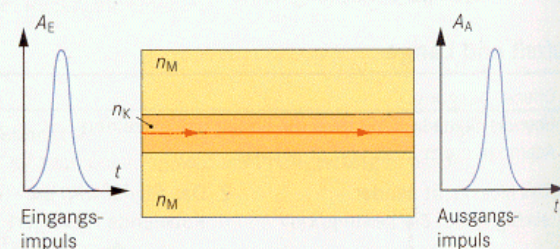


Typische Werte:
 $n_M = 1,417$ (Mantel)
 $n_K = 1,457$ (Kern)

Typische Werte:

$d_K = 10 \mu\text{m}$
 $d_M = 125 \mu\text{m}$

Singlemode



- Keine Laufzeitunterschiede, da nur eine Ausbreitungsrichtung
- Formtreue Impulsübertragung
- Bandbreite-Reichweite-Produkt $B \cdot l > 10 \text{ GHz} \cdot \text{km}$
- Einsatzbereich: Fernverkehr