

Tabelle 1: Modulationsbandbreiten von Lichtquellen

Lichtquellentyp	B in MHz
Glühlampe	0,0001
LED	75
Laserdiode	2500

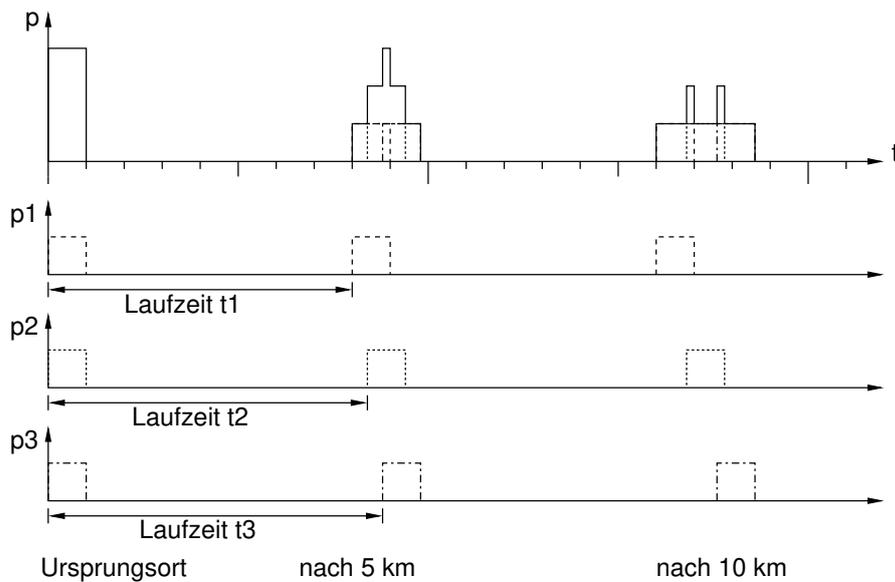


Abbildung 1: Impulsverbreiterung durch Dispersion (Laufzeitunterschiede)

2.3 Lichtwellenleiter/Betrieb und Messung bei LWL auf langen Strecken

2.3.1 Dämpfung der Trägerfrequenz

- typische Dämpfungswerte von Fasern: s.o.
- typische Dämpfungswerte von Verbindungstechnik: ???

2.3.2 Dämpfung der Modulationsfrequenz

- Bandbreite der LED/LD/Lichtquelle
- Bandbreite des Lichtwellenleiters: s.u.(Dispersion)
- Bandbreite des Empfängers

2.3.3 Modendispersion

Die wichtigste Dispersionsart für übliche Stufenindexfasern ist die Modendispersion. Verschiedene Strahlengänge (=Moden) bewegen sich verschieden schnell durch den LWL (symbolisiert durch die verschiedenen langen Strahlenwege); somit kommen die zu einem Impuls gehörenden Strahlen zu unterschiedlichen Zeiten an und bewirken eine Impulsverbreiterung der Zeitdauer Δt^1 (Abbildung 1).

¹ Δt hat nichts mit der normierten Brechzahldifferenz Δ zu tun

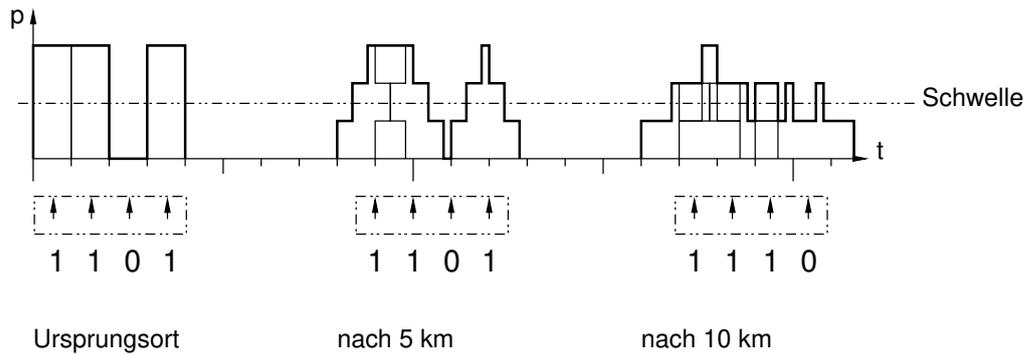


Abbildung 2: Auswirkung der Impulsverlängerung

Fasertyp	b in MHz · km
Stufenindex	30
Gradientenindex	2000
Monomode	4000

Tabelle 2: Bandbreite-Längen-Produkt verschiedener Glasfasertypen

Mit zunehmender LWL-Länge erhöht sich die Impulsverlängerung Δt (und damit die minimale Impulsdauer) zunächst ungefähr linear, bei sehr langen LWL-Leitern mit der Wurzel der Leitungslänge:

$$\Delta t \approx \text{const} \cdot l \quad (1)$$

Die Impulsverlängerung führt bei schmalen Impulsen zur Fehlinterpretation des empfangenen Signals (Abbildung 2).

Damit sinkt die nutzbare Bandbreite umgekehrt proportional zur minimalen Impulsdauer. Es gilt die Näherung²:

$$B \approx \frac{0,4}{\Delta t} = \frac{0,4}{\text{const} \cdot l} \quad (2)$$

So ergibt sich ein konstantes Produkt aus B und l :

$$B \cdot l \approx \frac{0,4}{\text{const}} = b \quad (3)$$

Diese Größe b wird Bandbreite-Länge-Produkt genannt.

2.3.4 Lichtwellenleiter ohne Modendispersion

- Gradientenfaser (s. Folie)
- Monomodefaser (s. Folie)
- Gegenüberstellung der Fasertypen und ihrer Dispersionswerte

Für Monomodefasern wird statt der Bandbreite häufig das Produkt aus Δt und l angegeben (in der Einheit ps/nm/km).

²Quelle: W. Haist: Optische Telekommunikationssysteme Band I, Damm 1989.

Tabelle 3: Spektrale Wellenlängenbreite verschiedener Lichtquellen

Lichtquelle	$\Delta\lambda$ in nm
LED	70
LD	0,1... 5

2.3.5 Materialdispersion

Bei Gradienten- und besonders bei Monomodefasern scheidet die Modendispersion als Begrenzung der Bandbreite aus. Dafür treten bei ihnen andere Ursachen für Dispersion auf:

- Material- bzw. Wellenlängendispersion,
- Polarisationsdispersion.

Die Polarisationsdispersion ist beim derzeitigen Stand der Technik wesentlich schwächer als die Material- bzw. Wellenlängendispersion.

Die Ursache der Materialdispersion liegt in den verschiedenen Ausbreitungsgeschwindigkeiten von Licht mit verschiedenen Frequenzen (bzw. Wellenlängen) im Glas.

Dieser Effekt äußert sich auch in verschiedenen Brechungsindices von Glas: Prisma bricht weißes Licht in die Spektralfarben auf.

Je breiter nun das Spektrum einer Quelle, desto stärker äußert sich die Materialdispersion.

Die Impulsverbreiterung berechnet sich als:

$$\Delta t = MD \cdot \Delta\lambda \cdot l \quad (4)$$

2.3.6 Wenn die Bandbreite nicht ausreicht: Multiplex

Für die Erhöhung der Bandbreite von LWL-Verbindungen gibt es verschiedene Verfahren, die hier nur kurz aufgezählt werden sollen:

- Raummultiplex (mechanisch)
- Zeitmultiplex (elektrisch/digital)
- Wellenlängenmultiplex des Trägers (optisch/analog)
- Frequenzmultiplex der Modulationsfrequenz (elektrisch/analog)
- Polarisationsmultiplex (optisch, wird z.Zt. nicht verwendet)
- Duplexbetrieb