

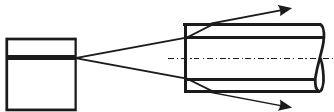
### 3 Kopplung von optischen Komponenten

#### 3.1 Kopplung Sender an Lichtwellenleiter

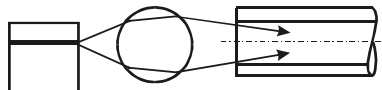
- Zur Realisierung einer Kopplung mit bestmöglichem Wirkungsgrad ist eine Anpassung des Orts- und des Winkelbereiches des sendenden Elements an den Akzeptanzbereich des empfangenden Elements erforderlich.
- Meist erfolgt die Kopplung zwischen Sender und LWL mit einer geeigneten Optik, selten erfolgt eine direkte Kopplung.
- Bei der Kopplung von LWL miteinander ist es umgekehrt. Hier erfolgt gewöhnlich Stirnflächenkopplung und nur bei Linsensteckern kommt ein abbildendes System zum Einsatz.
- Bei der Kopplung von optoelektronischen Senderbauelementen kommt erschwerend hinzu, dass die Sender (bis auf VCSEL) keine rotationsymmetrische Strahlcharakteristik haben und damit den geometrischen Eigenschaften des LWL nicht angepasst sind.

Die Koppeloptik hat die Aufgabe, die Strahlcharakteristik des Senders an den Akzeptanzbereich des LWL anzupassen.

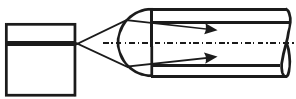
Einfache Koppelanordnungen (links: Kantenemitter; rechts: LWL)



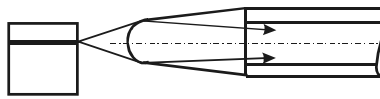
Stirnflächenkopplung



Kugellinse



Halbkugel



Taper mit Halbkugel

- Mit hinreichendem Aufwand gelingt es, 95 % der Leistung der Laserdiode in den SM-LWL einzukoppeln. Die Kopplung von LED an einen SM-LWL bringt sehr große Verluste und ist meist nicht sinnvoll.
- Eine Einkopplung in den MM-LWL ist wesentlich einfacher zu realisieren.

#### 3.2 Koppelverluste zwischen Lichtwellenleitern

- Bei der Kopplung von LWL treten Koppelverluste (Dämpfungen) auf.
- Intrinsische Verluste: bedingt durch unterschiedliche Faserparameter.
- Extrinsische Verluste: bedingt durch die Verbindungstechnik.

- Der Koppelverlust hängt vom LWL-Typ (Stufenprofil-LWL, Gradientenprofil-LWL, Singlemode-LWL) und von der Modenverteilung über dem LWL-Querschnitt (Modengleichverteilung, Modengleichverteilung) ab.

Die folgenden Gleichungen sind Näherungen. Die Genauigkeit ist bei kleinen relativen Abweichungen hoch. Liegen mehrere Koppelverluste gleichzeitig vor, kann man bei kleinen relativen Abweichungen näherungsweise die einzelnen Koppelverluste addieren.

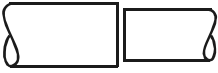
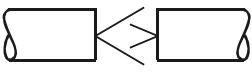
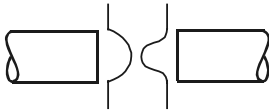
- Die nachfolgenden Gleichungen gelten für Übertragungsrichtung von 1 nach 2.

Koppelwirkungsgrad: Verhältnis der im LWL 2 geführten Leistung  $P_2$  zu der vom LWL 1 angebotenen Leistung  $P_1$ :  $\eta = \frac{P_2}{P_1}$

Dämpfung an der Koppelstelle:  $a_K$  in dB =  $10 \lg \frac{P_1}{P_2} = 10 \lg \frac{1}{\eta} = -10 \lg \eta$

### 3.2.1 Multimode-Lichtwellenleiter

**Intrinsische Verluste** (Modengleichverteilung, Stufenprofil oder Gradientenprofil)

Fehlanpassung der Kernradien		 <p style="text-align: center;"><math>r_{K1} &gt; r_{K2}</math></p>
$\eta = \left( \frac{r_{K2}}{r_{K1}} \right)^2$ für $r_{K1} \geq r_{K2}$ $\eta = 1$ für $r_{K1} \leq r_{K2}$		
$a = 20 \lg \frac{r_{K1}}{r_{K2}}$ in dB für $r_{K1} \geq r_{K2}$ $a = 0$ dB für $r_{K1} \leq r_{K2}$		
Fehlanpassung der numerischen Aperturen		 <p style="text-align: center;"><math>NA_1 &gt; NA_2</math></p>
$\eta = \left( \frac{NA_2}{NA_1} \right)^2$ für $NA_1 \geq NA_2$ $\eta = 1$ für $NA_1 \leq NA_2$		
$a = 20 \lg \frac{NA_1}{NA_2}$ in dB für $NA_1 \geq NA_2$ $a = 0$ dB für $NA_1 \leq NA_2$		
Fehlanpassung der Brechzahlprofile		 <p style="text-align: center;"><math>g_1 &gt; g_2</math></p>
$\eta = \frac{g_2(g_1 + 2)}{g_1(g_2 + 2)}$ für $g_1 \geq g_2$ $\eta = 1$ für $g_1 \leq g_2$		
$a = 10 \lg \frac{g_1(g_2 + 2)}{g_2(g_1 + 2)}$ für $g_1 \geq g_2$ $a = 0$ dB für $g_1 \leq g_2$		
<b>Beispiele:</b> Kopplung Stufenprofil ( $g_1 = \infty$ ) auf Parabelprofil ( $g_2 = 2$ ): $a = 3$ dB Kopplung Parabelprofil ( $g_1 = 2$ ) auf Stufenprofil ( $g_2 = \infty$ ): $a = 0$ dB		

Die intrinsischen Verluste sind beim Multimode-LWL richtungsabhängig.

**Extrinsische Verluste** (Modengleichverteilung, Stufenprofil oder Gradientenprofil)

Radialer Versatz, transversaler Versatz oder seitlicher Versatz d	
$\eta = 1 - \frac{g+2}{g+1} \cdot \frac{2d}{\pi \cdot r_K}$	
$a = 2,76 \cdot \frac{g+2}{g+1} \cdot \frac{d}{r_K} \text{ in dB}$	

Stufenprofil-LWL: $g = \infty$ :	$\eta = 1 - \frac{2d}{\pi \cdot r_K}$	$a = 2,76 \cdot \frac{d}{r_K} \text{ in dB}$
Parabelprofil-LWL: $g = 2$ :	$\eta = 1 - \frac{8d}{3\pi \cdot r_K}$	$a = 3,68 \cdot \frac{d}{r_K} \text{ in dB}$

Verkipfung um Winkel $\gamma$ oder Winkelfehler der Stirnfläche ( $s \rightarrow 0$ angenommen)	
$\eta = 1 - \frac{g+2}{g+1} \cdot \frac{2n_0 \cdot \gamma}{\pi \cdot NA}$	
$a = 2,76 \cdot \frac{g+2}{g+1} \cdot \frac{n_0 \cdot \gamma}{NA} \text{ in dB}$	

Stufenprofil-LWL: $g = \infty$ :	$\eta = 1 - \frac{2n_0 \cdot \gamma}{\pi \cdot NA}$	$a = 2,76 \cdot \frac{n_0 \cdot \gamma}{NA} \text{ in dB}$
Parabelprofil-LWL: $g = 2$ :	$\eta = 1 - \frac{8n_0 \cdot \gamma}{3\pi \cdot NA}$	$a = 3,68 \cdot \frac{n_0 \cdot \gamma}{NA} \text{ in dB}$

Axialer Versatz, longitudinaler Versatz oder Längsversatz s	
$\eta = 1 - \frac{2(1-K)s \cdot NA}{r_K \cdot n_0}$	
$a = 8,69 \cdot \frac{(1-K)s \cdot NA}{r_K \cdot n_0} \text{ in dB}$	

$$\text{Stufenprofil-LWL: } g = \infty : K = 1 - \frac{2}{3\pi} \quad \eta = 1 - \frac{4s \cdot NA}{3\pi \cdot r_K \cdot n_0} \quad a = 1,84 \frac{s \cdot NA}{r_K \cdot n_0} \text{ in dB}$$

$$\text{Parabelprofil-LWL: } g = 2 : K = 0,75 \quad \eta = 1 - \frac{s \cdot NA}{2r_K \cdot n_0} \quad a = 2,17 \frac{s \cdot NA}{r_K \cdot n_0} \text{ in dB}$$

Es ist  $n_0$  die Brechzahl des Mediums zwischen den Stirflächen.

**Extrinsische Verluste** (Modengleichgewichtsverteilung, Parabelprofil)

- Die Leistung ist stärker im Bereich der optischen Achse konzentriert.
- Fehler wirken sich nicht so stark auf die Koppelverluste aus.

$$\text{Radialer Versatz } d: \quad \eta = 1 - 2,35 \cdot \left(\frac{d}{r_K}\right)^2 \quad a = 10,2 \cdot \left(\frac{d}{r_K}\right)^2 \text{ in dB}$$

Verkipfung um Winkel  $\gamma$  bzw. Winkelfehler der Stirfläche ( $s \rightarrow 0$  angenommen):

$$\eta = 1 - 2,35 \cdot \left(\frac{n_0 \cdot \gamma}{NA}\right)^2 \quad a = 10,2 \cdot \left(\frac{n_0 \cdot \gamma}{NA}\right)^2 \text{ in dB}$$

Die extrinsischen Verluste sind richtungsunabhängig.

### 3.2.2 Singlemode-Lichtwellenleiter

- Die folgenden Gleichungen sind Näherungen und gelten unter der Voraussetzung, dass das Modenfeld gaußförmig ist.
- Das ist beim Standard-Singlemode-LWL in sehr guter Näherung gewährleistet.
- Bei dispersionsabgeflachten (DFF), dispersionsverschobenen (DSF), Non-Zero Dispersion Shifted (NZDSF) oder dispersionskompensierenden (DCF) LWL weicht die Feldverteilung von der Gaußform ab.
- Bei kleinen relativen Abweichungen gelten die folgenden Gleichungen näherungsweise auch für diese Fasern.

Sowohl intrinsische als auch extrinsische Verluste sind beim SM-LWL von der Richtung unabhängig.

Im Gegensatz zum Multimode-LWL hängen die Koppelverluste beim Singlemode-LWL von der Wellenlänge ab (sowohl direkt als auch indirekt über den Modenfeldradius).

**Intrinsische Verluste:** Fehlanpassung der Modenfeldradien

$$\eta = \left(\frac{2w_1 \cdot w_2}{w_1^2 + w_2^2}\right)^2 \quad a = 20 \lg \frac{w_1^2 + w_2^2}{2w_1 \cdot w_2} \text{ in dB} \quad \text{Gilt für beide Richtungen!}$$

$\eta = 1$  bzw.  $a = 0$  dB nur wenn  $w_1 = w_2$ , ansonsten immer Koppelverluste!

