

Lichtübertragung in einem Taper

1. Physikalische Grundlagen

Durch die Wahl der Materialien werden Lichtstrahlen bis zu einem maximalen Winkel θ in der Fiber weitergeleitet. Dabei gilt, daß der Phasenraum (Ortsbereich und Winkelbereich) bei einer Querschnittstransformation gleichbleibt (siehe Abb. 1). Dabei ist d = Durchmesser der Faser, θ = Einfallswinkel zum Lot, Ω = Raumwinkel, a = Fläche der Faser jeweils am größeren bzw. kleineren Ende der Faser (Index g oder k).

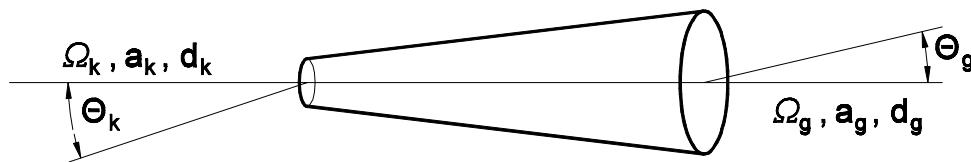


Abbildung 1: Geometrieskizze zur Faser

Bei einer Verkleinerung des Querschnitts wird der Winkelbereich erweitert und umgekehrt. Der maximale Winkelakzeptanzbereich wird deshalb von der Seite mit kleinerem Querschnitt bestimmt. Es gilt:

$$d_k \sin \theta_k = d_g \sin \theta_g \quad (1)$$

oder

$$\Omega_k a_k = \Omega_g a_g \quad (2)$$

Durch Streuung an Störstellen und Wänden wird ein Lichtstrahl beim Durchgang durch die Fiber um den Faktor T (Transmission) geschwächt. Diese Transmission ist in beiden Richtungen in erster Näherung gleich (gleiche physikalische Vorgänge).

Durch die Verjüngung der Fiber (Taper) findet eine kontinuierliche Modenkonversion statt, die zu Verlusten führt. Diese Verluste sind in beiden Richtungen mit Sicherheit verschieden, jedoch schwer abschätzbar.

2. Bestrahlung mit Punktlichtquelle senkrecht zur Taperoberfläche

Abbildung 2 zeigt den grundsätzlichen Aufbau eines Tapers.

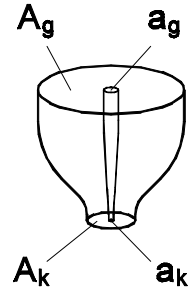


Abbildung 2: Geometrieskizze zum Taper

Dabei ist A_g = Fläche des gesamten Tapers auf der großen Seite, a_g = Fläche einer Faser auf der großen Seite, N = Zahl der Fasern, A_k , a_k = entsprechende Größen auf der kleinen Seite. Damit ergibt sich eine Flächendeckung der Fasern von

$$f_g = \frac{N a_g}{A_g} \quad (3)$$

$$f_k = \frac{N a_k}{A_k} \quad (4)$$

Zusätzlich dazu ist eine Schwächung T des Lichtstrahls zu berücksichtigen.

Fällt Licht mit kleinem Einfallswinkel auf den Taper (Punktlichtquelle senkrecht zur Taperfläche), so bleibt der Gesamtstrahl im Akzeptanzbereich der Fiber. Die Gesamtverstärkung durch den Taper ergibt sich dann für die beiden Anordnungen 1 und 2 (siehe Abb. 3) zu:

$$V_1 = \frac{A_g}{A_k} T f_g = \frac{A_g}{A_k} T \frac{N a_g}{A_g} \quad (5)$$

$$V_2 = \frac{A_k}{A_g} T f_k = \frac{A_k}{A_g} T \frac{N a_k}{A_k} \quad (6)$$

Als Verhältnis der beiden Verstärkungen ergibt sich:

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{A_g}{A_k} \right)^2 \frac{f_g}{f_k} = \left(\frac{a_g}{a_k} \right)^2 \frac{f_k}{f_g} \quad (7)$$

3. Lichtübertragung bei Lambertscher Abstrahlcharakteristik

Sitzt der Taper direkt auf einer strahlenden Fläche, z.B. einem Bildverstärkerausgang, so wird von der gesamten Lichtintensität nur ein Bruchteil x des Lichtes in die Fiber eingekoppelt. Als Faktor x findet man (siehe auch: Opt. Abbildung mit Einzel- und Tandemobjektiven, Formel 4):

$$x = (N.A.)^2 \quad (8)$$

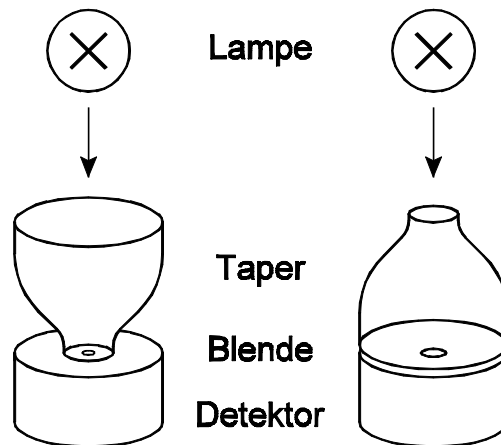


Abbildung 3: Anordnung 1 und 2 des Tapers

mit $N.A. = \sin \theta_k$ = Numerische Apertur auf der kleineren Seite.

Als Gesamtverstärkung gilt in Anordnung 2:

$$V_2^{lamb} = V_2 x = \frac{A_k}{A_g} T f_k (N.A.)^2 \quad (9)$$

In Anordnung 1 reduziert sich die Winkelakzeptanz um den Faktor $\frac{\Omega_g}{\Omega_k} = \frac{a_k}{a_g}$:

$$V_1^{lamb} = V_1 x \frac{a_k}{a_g} = \frac{A_g}{A_k} T f_g (N.A.)^2 \frac{a_k}{a_g} \quad (10)$$

Im Spezialfall, daß die Flächendeckung auf beiden Seiten gleich groß ist, gilt:

$$f_k = f_g \quad (11)$$

$$\frac{A_g}{A_k} = \frac{a_g}{a_k} \quad (12)$$

und damit:

$$V_1^{\text{lamb}} = T f_k (N.A.)^2 \quad (13)$$

4. Zahlenwerte

Es wurde Messungen an zwei verschiedenen Tapern durchgeführt:

Taper 1:

$$\theta_k = 15^\circ \quad N.A. = \sin \theta_k = 0,25 \quad \frac{d_k}{d_g} = \frac{11,5}{18} \quad \frac{A_k}{A_g} = \left(\frac{11,5}{18} \right)^2$$

Als gemessene Verstärkungen mit Punktlichtquelle (siehe Kap. 2) ergaben sich:

$$V_1 = \frac{0,73}{0,75} = 0,97 \quad V_2 = \frac{0,14}{0,75} = 0,187$$

Löst man Gl. (5) bzw. (6) nach $T f_g$ bzw. nach $T f_k$ auf so ergibt sich:

$$T f_g = \frac{0,73}{0,75} \cdot \left(\frac{11,5}{18} \right)^2 = 0,40 \quad (14)$$

$$T f_k = \frac{0,14}{0,75} \cdot \left(\frac{18}{11,5} \right)^2 = 0,46 \quad (15)$$

was bei einem geschätzten Wert von 0,6 recht realistisch ist.

Für die Verstärkungen mit Lambertscher Strahlungscharakteristik (siehe Kap.3) ergeben sich folgende Werte, wenn man $T f_g = 0,6$ und $T f_k = 0,6$ annimmt (siehe Gl. (10) und Gl. (9)):

$$V_1^{\text{lamb}} = 0,6 \cdot (0,25)^2 = 0,038 \quad (16)$$

$$V_2^{\text{lamb}} = \left(\frac{11,5}{18} \right)^2 \cdot 0,6 \cdot (0,25)^2 = 0,015 \quad (17)$$

Mit N.A. = 1 (Idealfall) ergibt sich:

$$V_1^{\text{lamb}} = 0,6 \cdot (1)^2 = 0,6 \quad (18)$$

$$V_2^{\text{lamb}} = \left(\frac{11,5}{18}\right)^2 \cdot 0,6 \cdot (1)^2 = 0,24 \quad (19)$$

Taper 2:

$$\theta_k = 15^\circ \quad \text{N.A.} = \sin \theta_k = 0,25 \quad \frac{d_k}{d_g} = \frac{11}{40} \quad \frac{A_k}{A_g} = \left(\frac{11}{40}\right)^2$$

Als gemessene Verstärkungen mit Punktlichtquelle (siehe Kap. 2) ergaben sich:

$$V_1 = \frac{5,6}{0,77} = 7,3 \quad V_2 = \frac{0,043}{0,75} = 0,056$$

Löst man Gl. (5) bzw. (6) nach $T f_g$ bzw. nach $T f_k$ auf so ergibt sich:

$$T f_g = \frac{5,6}{0,77} \cdot \left(\frac{11}{40}\right)^2 = 0,55 \quad (20)$$

$$T f_k = \frac{0,043}{0,77} \cdot \left(\frac{40}{11}\right)^2 = 0,74 \quad (21)$$

was bei einem geschätzten Wert von 0,6 ebenfalls recht realistisch ist.

Für die Verstärkungen mit Lambertscher Strahlungscharakteristik (siehe Kap.3) ergeben sich folgende Werte, wenn man $T f_g = 0,6$ und $T f_k = 0,6$ annimmt (siehe Gl. (10) und Gl. (9)):

$$V_1^{\text{lamb}} = 0,6 \cdot (0,25)^2 = 0,038 \quad (22)$$

$$V_2^{\text{lamb}} = \left(\frac{11}{40}\right)^2 \cdot 0,6 \cdot (0,25)^2 = 0,0028 \quad (23)$$

Mit N.A. = 1 (Idealfall) ergibt sich:

$$V_1^{\text{lamb}} = 0,6 \cdot (1)^2 = 0,6 \quad (24)$$

$$V_2^{\text{lamb}} = \left(\frac{11}{40}\right)^2 \cdot 0,6 \cdot (1)^2 = 0,045 \quad (25)$$