O 20 Faseroptik

1 Aufgabenstellung

1.1 Brechzahl n und Radius r des Kerns der Faser eines Lichtleiterkabels sind je 5mal an unterschiedlichen Stellen des Kerns nach der **Rückstreu-Methode** zu bestimmen.

1.2 Der Radius r des Faserkerns ist aus der interferenzbedingten Feinstruktur der **Vorwärtsstreuung** unter Benutzung von n aus 1.1 mindestens 5mal zu bestimmen.

1.3 Die Radien von Kern <u>und</u> Mantel der Faser sind durch vergrößerte Abbildung zu bestimmen.

1.4 Die Intensität von Laserlicht bzw. die Photospannung U am Ausgang eines Lichtleiterkabels ist in Abhängigkeit vom Lichteintrittswinkel φ im Bereich positiver und negativer φ-Werte in Winkelschritten Δφ von 3° bzw. 5° zu messen und graphisch darzustellen. Der **Grenzwinkel** $\boldsymbol{\varphi_{max}}$ ist zu bestimmen; daraus sind **numerische Apertur NA** und **Faserparameter V** des Lichtleiters sowie der für <u>Monomode</u>fasern gleichen Materials mit Stufenindex-Profil erforderliche Kerndurchmesser zu berechnen.

1.5 Zur Prüfung auf **Biegeverluste** ist die Photospannung U am Lichtleiter-Ausgang in Abhängigkeit vom Lichteintrittswinkel φ bei k = 3 und 6 Kabelkrümmungen analog Aufgabe 1.4 zu messen und gemeinsam mit den Messergebnissen von 1.4 als log U = f(φ) halblogarithmisch graphisch darzustellen. Bei festem Eintrittswinkel φ = 20° ist außerdem die Abhängigkeit der Photospannung U von der Anzahl k = 0 ... 6 der Kabelkrümmungen zu messen und graphisch darzustellen, die Dämpfungen D sind zu berechnen.

2 Literatur

2.1 Preston, D. W., Dietz, E. R. — The Art of Experimental Physics
John Wiley & Sons New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore
1. Auflage 1991, S. 76 - 94

2.2 Marcuse, D. — Principles of Optical Fiber Measurements
Academic Press New York, London
1. Auflage 1981, S. 1 - 9, 39 - 46, 70 - 82, 197 - 204, 226 - 230

2.3 Stroppe, H. — Physik
Fachbuchverlag Leipzig, Köln
10. Auflage 1994, S. 354

3 Hinweise zum Versuch

3.0 Lichtleiter bestehen aus einem zentralen Kern von konstanter Brechzahl n_K (Stufenindex) oder radial veränderlicher Brechzahl (Gradientenindex), der von einem Mantelmaterial von wenig geringerer Brechzahl n_M umgeben ist. Infolge Totalreflexion breiten sich zahlreiche geführte Moden längs des Lichtleiters aus (<u>Multimode</u>-Lichtleiter). <u>Monomode</u>-Lichtleiter sind Stufenindexfasern mit sehr kleinem Kerndurchmesser, großer Bandbreite und geringer Dämpfung. Kunststoffumhüllungen unterdrücken das Streulicht aus dem Mantel, verringern Beugungsverluste und schützen das Kabel.

Achtung!
Abgemantelte **Kabelenden nicht berühren**, behutsam behandeln, Kern bricht sehr leicht!
Laser während des Versuchs nicht abschalten. Nicht in den Strahl blicken, Blendungsgefahr!
Die Intensitätsschwankungen verringern sich erst nach einer **Einlaufzeit ≥ 20 min.**

3.1 Zur Bestimmung der Brechzahl n und des Radius r des Faserkerns nach der **Rückstreu-Methode** wird die abgemantelte Faser senkrecht zu ihrer Achse mit Laserlicht maximaler Intensität (innerer und äußerer Dämpfungsfilter ausgeschwenkt) beleuchtet; das auf einen Schirm rückgestreute Licht wird analysiert. Zwischen dem maximalen Rückstreuwinkel Θ_{max} und der Brechzahl n besteht die vom Radius unabhängige Beziehung (1).

$$\Theta_{max} = 4 \cdot \arcsin\left(\sqrt{\frac{4-n^2}{3 \cdot n^2}}\right) - 2 \cdot \arcsin\left(\sqrt{\frac{4-n^2}{3}}\right) \tag{1}$$

Der maximale Rückstreuwinkel Θ_{max} wird aus dem Abstand des hellen Rückstreu-Maximums größten Streuwinkels von der Strahlachse bestimmt. Um aus Θ_{max} die Brechzahl n zu berechnen, kann ein iteratives Verfahren benutzt werden. Ausgehend von einem 0. Näherungswert n_0 (z. B. $n_0 = 1,5$) wird ein Θ_0 nach (1) berechnet, aus dem zusammen mit dem experimentell bestimmten Wert von Θ_{max} ein 1. Näherungswert n_1 nach der Taylor-Entwicklung

$$n_1 = n_0 + \frac{n_0}{2} \cdot \sqrt{\frac{n_0^2 - 1}{4 - n_0^2}} \cdot (\Theta_0 - \Theta_{max}) \tag{2}$$

gewonnen wird. Mit n_1 und dem daraus nach (1) berechneten Θ_1 kann die 2. Näherung n_2 berechnet werden. Die Iteration wird fortgesetzt, bis berechneter und experimenteller Wert von Θ_{max} etwa übereinstimmen.

Aus dem Winkelabstand $\Delta\Theta$ (in rad) der interferenzbedingten kleinen Schwankungen der Intensität im Bereich kleiner Rückstreuwinkel $\Theta \leq 5°$ kann mit bekanntem n der Kernradius r nach (3) bestimmt werden (Laserwellenlänge $\lambda = 632{,}8$ nm):

$$r = \frac{2 \cdot \lambda}{n \cdot \sqrt{4 - n^2} \cdot \Delta\Theta} \tag{3}$$

3.2 Zur Bestimmung des Kernradius r aus der interferenzbedingten Feinstruktur der **Vorwärtsstreuung** wird die (möglichst große) Anzahl z der schmalen Interferenzstreifen zwischen zwei (möglichst weit auseinander liegenden) Streuwinkeln Θ_1 und Θ_2 aus dem Winkelbereich $\Theta = 6° \ldots 60°$ bestimmt. Der Kernradius wird mit der durch Rückstreuung bestimmten Brechzahl n nach (4) berechnet.

$$r = \frac{z \cdot \lambda}{2}\left[\sqrt{1 + n^2 - 2n \cdot \cos\frac{\Theta_2}{2}} - \sqrt{1 + n^2 - 2n \cdot \cos\frac{\Theta_1}{2}} + \sin\frac{\Theta_2}{2} - \sin\frac{\Theta_1}{2}\right]^{-1} \tag{4}$$

3.3 Die Radien-Bestimmung durch vergrößerte Abbildung ist am Versuchsplatz O 11 durchzuführen.

3.4 Zur Messung der Photospannung U in Abhängigkeit vom Lichteintrittswinkel φ ist die Eintrittsfläche des Lichtleiters im Zentrum eines Drehmesstisches installiert, der die Variation und Messung des Laserstrahl-Eintrittswinkels im Bereich $\varphi = -90° \ldots 0 \ldots +90°$ erlaubt. Hinter dem Ausgang des Lichtleiters befindet sich eine Photodiode mit integriertem Verstärker, dessen Ausgangsspannung mit einem Digitalmultimeter gemessen wird.

Der Laser ist so auszurichten, dass der Strahl bei $\varphi = -90°$ <u>und</u> $\varphi = +90°$ streifend auf die Eintrittsfläche des Lichtleiters einfällt (Feinstruktur der Vorwärtsstreuung deutlich sichtbar) und bei $\varphi \approx 0$ die Photospannung ihr Maximum durchläuft, die Kurve $U = f(\varphi)$ also nahezu symmetrisch zu $\varphi = 0$ ist. Erforderlichenfalls ist die Eintrittsfläche des Lichtleiters <u>geringfügig</u> nachzuzentrieren. Die Laserintensität ist auf den kleinstmöglichen Wert zu verringern (innerer und äußerer Dämpfungsfilter eingeschwenkt). Die Messungen sind im Bereich $\varphi \leq 15°$ in Winkelschritten $\Delta\varphi = 3°$, im Bereich $\varphi > 15°$ in Winkelschritten $\Delta\varphi = 5°$ durchzuführen. Alle Messwerte sind auf Dunkelspannung zu korrigieren.

Als **Grenzwinkel φ_{max}** werde der Winkel φ benutzt, bei dem die Lichtintensität bzw. Photospannung auf 10% ihres Maximalwertes abgefallen ist. Die **numerische Apertur NA** ist der Sinus dieses Winkels:

$$NA = \sin\varphi_{max} = \sqrt{n_K^2 - n_M^2} \tag{5}$$

Der **Faser- oder Frequenzparameter V** bestimmt die Anzahl N der Moden bei vorgegebener Wellenlänge λ und errechnet sich aus dem Kernradius r nach 1.1 bzw. 1.2 zu

$$V = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} \cdot NA \qquad (6)$$

Für Stufenindexfasern ist $N = V^2/2$.

3.5 **Biegeverluste** entstehen, wenn ein Teil der im geraden Lichtleiter totalreflektierten Strahlung bei Biegung mit kleinen Krümmungsradien die Faser verlässt. Krümmungen und Mikrodeformationen des Lichtleiters wirken gleichzeitig als **Modenmischer** (Moden-Scrambler) und **Modenfilter**, da ein Leistungsaustausch zwischen verschiedenen Moden stattfindet und Moden höherer Ordnung gedämpft werden.

Zur Prüfung auf Biegeverluste wird das Lichtleiterkabel in 8-förmigen Schleifen um zwei zylindrische Poller von 15 mm Durchmesser geführt. Die Messung erfolgt in der in 3.4 beschriebenen Weise, für die Graphik wird eine halblogarithmische Darstellung bevorzugt. Die Dämpfungen D in Dezibel (dB) werden durch Vergleich der Photospannungen am Lichtleiterausgang bei vorgegebenem Eintrittswinkel ohne Krümmung (U_0) und mit k Krümmungen (U_k) ermittelt:

bei vorgegebenem φ

$$D_k = 10 \cdot \log\left(\frac{U_0}{U_k}\right) \qquad (7)$$

4 Zugeordnete Themenkomplexe

Reflexion, Brechung, Totalreflexion von Lichtwellen
Aufbau, Eigenschaften, Anwendungen von Lichtwellenleitern