

Bild 2.21: Zweiter Prägeschritt

Beim **Nachprägen** (zweiter Prägeschritt) wird die optische Achse des Licht führenden Kerns auf die geometrische Mitte ausgerichtet. So werden die Toleranzen der Steckerkonstruktion und der Faser eliminiert. Die Korrektur der Lage des Kerns erfolgt mit einem 120°-Segmentstempel (Bild 2.21). Die Restexzentrizität beträgt $< 0,25 \mu\text{m}$ (Standard) bzw. $< 0,125 \mu\text{m}$ (0,1 dB-Technik). Nach dem Nachprägen wird die Steckers-tirnfläche geschliffen und poliert.

2.7 Zur Kompatibilität von geprägten und getunten 0,1 dB-Steckern

2.7.1 Einfluss der Technologie auf die geometrischen Parameter

Nach Marcuse kann man die Dämpfung a einer Steckverbindung bei Fehlanpassungen mit folgender zugeschnittenen Größengleichung abschätzen:

$$a \approx 0,02 \text{ dB} + 0,2 \text{ dB} \cdot \text{OFF}^2 + 0,34 \text{ dB} \cdot \text{ANG}^2 \quad (2.7)$$

Der erste Summand steht für die intrinsischen Verluste (Fasertoleranzen, zum Beispiel unterschiedliche Modenfelddurchmesser bei Singlemode-LWL) sowie Verluste durch die Oberflächengüte (Oberflächenrauigkeit). Diese Dämpfung ist klein bei Verwendung Fasern namhafter Anbieter (geringe Fasertoleranzen) sowie guter Oberflächenpolitur.

OFF ist die **Konzentrizität**, der Abstand zwischen den beiden Faserkernmitten in μm und **ANG** entspricht dem **Winkel** zwischen den beiden Faserachsen in Grad. Im ungünstigsten Fall entspricht die Konzentrizität der Summe der **Exzentrizitäten** der beiden Fasern. Die Faserexzentrizität ist der Abstand zwischen Ferrulenachse und Faserkernmitte.

Gleichung (2.7) gilt für Standard-Singlemode-LWL und die Wellenlänge 1310 nm. Mit größerer Wellenlänge wird der Modenfelddurchmesser größer und die Kopplung unkritischer. Für die Wellenlänge 1550 nm ergibt sich in sinngemäßer Darstellung:

$$a \approx 0,02 \text{ dB} + 0,16 \text{ dB} \cdot \text{OFF}^2 + 0,32 \text{ dB} \cdot \text{ANG}^2 \quad (2.8)$$

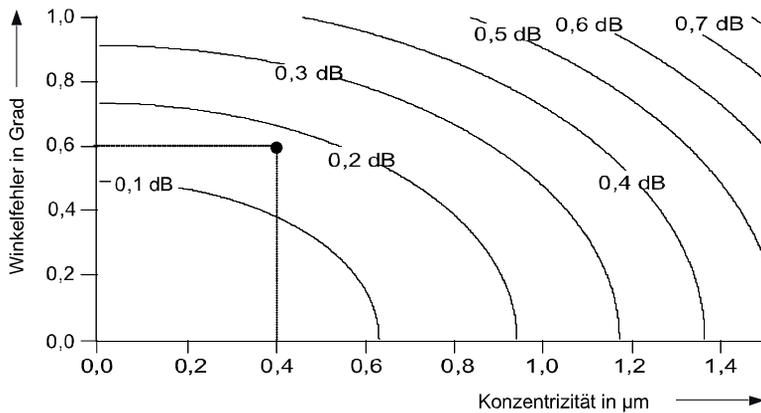


Bild 2.22: Steckerdämpfung in Abhängigkeit von extrinsischen Verlusten
(Quelle: nach Diamond)

Die Faktoren vor OFF und ANG sind kleiner, weshalb sich eine geringere Dämpfung ergibt. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf den Worst Case: Wellenlänge 1310 nm.

Beispiel: OFF = 0,4 µm; ANG = 0,6°

=> a ≈ **0,17 dB** bei 1310 nm: schwarzer Punkt in Bild 2.22

=> a ≈ **0,16 dB** bei 1550 nm.

Die durchgehenden Linien zeigen mögliche Wertepaare von OFF und ANG, die die jeweilige Dämpfung bewirken. Der rote Punkt liegt zwischen der 0,1 dB- und der 0,2 dB-Linie. Die Dämpfung bei 1550 nm ist kleiner als bei 1310 nm.

In Abhängigkeit von der Kombination Konzentrität und Winkelfehler entstehen unterschiedliche Steckerdämpfungen. Bild 2.23 zeigt farbige Rechtecke mit folgender Bedeutung:

- dunkelgrün: konfektioniert mit Prägeverfahren; maximale Dämpfung 0,1 dB
- hellgrün: konfektioniert mit Prägeverfahren; maximale Dämpfung 0,5 dB
- dunkelblau: konfektioniert mit dem Ablageverfahren; maximale Dämpfung 0,1 dB
- hellblau: konfektioniert mit dem Ablageverfahren; maximale Dämpfung 0,5 dB

Die Rechtecke werden jeweils von Abszisse und Ordinate begrenzt. Durch die Überlappung der Rechtecke kommt es zu Abweichungen von den ursprünglichen Farben.

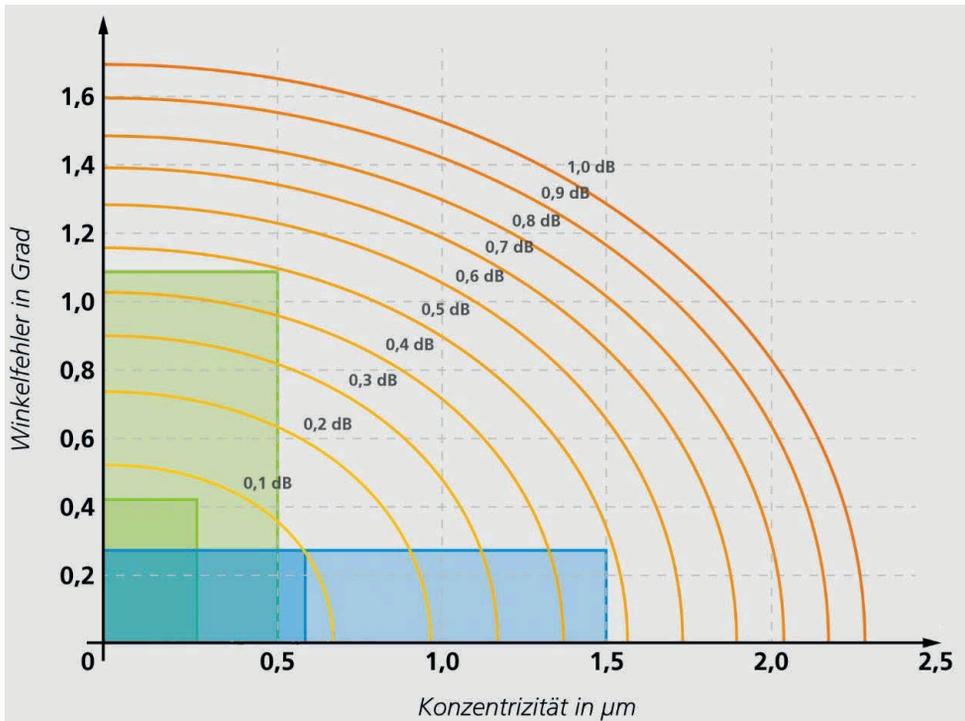


Bild 2.23: Steckerdämpfung in Abhängigkeit vom Konfektionierverfahren
(Quelle: nach Diamond)

Aus Bild 2.23 ist ersichtlich, dass der Winkelfehler beim Prägeverfahren tendenziell größer als beim Ablageverfahren ist. Das wird durch das Nachprägen verursacht: Die Faserachse wird geringfügig verkippt. Um eine vergleichbare Dämpfung zu erreichen, muss die Konzentrität geringer als beim Ablageverfahren sein.

Umgekehrt erkennt man bei den Steckern, die nach dem Ablageverfahren gefertigt wurden, kleine Winkelfehler, die relativ große Konzentritäten erlauben.

2.7.2 Mischung von geprägten Steckern mit getunten Steckern

Verbindet man Steckverbinder, die eine Einfügedämpfung von 0,1 dB erlauben, ist das dunkelgrüne Rechteck (Prägeverfahren) mit dem dunkelblauen Rechteck (Ablageverfahren; tunen) zu vergleichen.

Geprägter 0,1 dB-Stecker:

- Maximaler **Schielwinkel** zwischen beiden Steckern: **0,4°**; entspricht dem maximalen Schielwinkel eines **einzelnen** Steckers, da dieser in einem Sektor abgelegt wird und nur die Differenz der Winkel wirksam ist. Der Wert kann nicht durch zwei geteilt werden.
- Maximale **Konzentrität**: 0,25 μm => maximale **Exzentrizität**: **0,125 μm**
- Dämpfung nach Gleichung (2.7): $a \approx 0,0869 \text{ dB} < \mathbf{0,1 \text{ dB}}$ ($\lambda = 1310 \text{ nm}$)
- Dämpfung nach Gleichung (2.8): $a \approx 0,0812 \text{ dB} < \mathbf{0,1 \text{ dB}}$ ($\lambda = 1550 \text{ nm}$)

Getunter 0,1 dB-Stecker:

- Für die Klasse A sind keine Parameter spezifiziert.
- Für die Klasse B gilt: **Schielwinkel $\leq 0,2^\circ$, Exzentrizität $\leq 0,3 \mu\text{m}$.**
- Die gleichen Parameter spezifiziert die Norm DIN ISO/IEC 14763-3 für Referenzstecker.
- Maximaler Schielwinkel zwischen zwei Steckern: $0,4^\circ$, da Schielwinkel nicht abgelegt werden können.
- Konzentrität = **Exzentrizität $\leq 0,3 \mu\text{m}$** , da die meisten Konfektionäre die Exzentrizität in einem Sektor von $\pm 30^\circ$ ablegen.
- Dämpfung nach Gleichung (2.7): $a \approx 0,0924 \text{ dB} < \mathbf{0,1 \text{ dB}}$ ($\lambda = 1310 \text{ nm}$)
- Dämpfung nach Gleichung (2.8): $a \approx 0,0856 \text{ dB} < \mathbf{0,1 \text{ dB}}$ ($\lambda = 1550 \text{ nm}$)

Mischung geprägter 0,1 dB-Stecker mit getuntem 0,1 dB-Stecker:

Steckt man einen geprägten Stecker gegen einen getunten Stecker addieren sich im ungünstigsten Fall die Schielwinkel und die Exzentrizitäten:

$$\text{OFF} = 0,125 \mu\text{m} (\text{geprägt}) + 0,3 \mu\text{m} (\text{getunt}) = 0,425 \mu\text{m}$$

$$\text{ANG} = 0,4^\circ (\text{geprägt}) + 0,2^\circ (\text{getunt}) = 0,6^\circ$$

- Dämpfung nach Gleichung (2.7): $a \approx 0,1785 \text{ dB}$ ($\lambda = 1310 \text{ nm}$)
- Dämpfung nach Gleichung (2.8): $a \approx 0,1641 \text{ dB}$ ($\lambda = 1550 \text{ nm}$)

Tabelle 2.2 fasst die Ergebnisse zusammen: Die Dämpfungen bei Mischung geprägter Stecker miteinander bzw. getunter Stecker miteinander sind annähernd gleich groß. Bei Mischung eines geprägten Steckers mit einem getunten Stecker können deutlich größere Dämpfungen entstehen. Eine maximale Dämpfung von 0,1 dB ist nicht garantiert. Allerdings handelt es sich um Worst-Case-Werte.

Dämpfung 1310 nm / 1550 nm	geprägter Stecker	getunter Stecker
geprägter Stecker	0,087 dB / 0,081 dB	0,179 dB / 0,164 dB
getunter Stecker	0,179 dB / 0,164 dB	0,092 dB / 0,086 dB

Tab. 2.2: Maximale Dämpfung für 1310 nm und 1550 nm bei Mischung von 0,1 dB-Steckern unterschiedlicher Technologien

Nach IEC 61300-3-34 hat der 0,1 dB-Stecker eine Dämpfung von maximal 0,15 dB für 97 % der Stecker bei random mated (jeder gegen jeden). Der Wert 0,15 dB ergibt sich aus den Rundungsregeln. Es ist ein Unterschied, ob man einen Stecker mit 0,1 dB oder mit 0,10 dB spezifiziert. Im letzten Fall ist der Toleranzbereich wesentlich geringer:

- $0,05 < 0,1 < 0,15$
- $0,095 < 0,10 < 0,105$

Eine Überschreitung von 0,15 dB tritt **extrem selten** auf (Worst Case), weil **sechs** Kriterien **gleichzeitig** zutreffen müssen:

- Der geprägte Stecker hat den maximalen Schielwinkel ($0,4^\circ$).
- Der geprägte Stecker hat die maximale Exzentrizität ($0,125 \mu\text{m}$).
- Der abgelegte Stecker hat den maximalen Schielwinkel ($0,2^\circ$).
- Der abgelegte Stecker hat die maximale Exzentrizität ($0,3 \mu\text{m}$).
- Schielwinkel von geprägtem und abgelegtem Stecker gehen in entgegengesetzte Richtungen (sie addieren sich).
- Exzentrizität von geprägtem und abgelegtem Stecker gehen in entgegengesetzte Richtungen (sie addieren sich).

Die Häufigkeitsverteilung der Dämpfungen verschiebt sich bei Steckermischungen (geprägt mit abgelegt) zu größeren Werten. Die mittlere Dämpfung und die Dämpfung, die 97 % der Stecker nicht überschreiten, liegen höher.

2.8 Dämpfungs- und Reflexionsklassen

Die Dämpfungen und die Reflexionsdämpfungen werden sowohl für Singlemode- als auch für Multimodestecker klassifiziert. Die Werte gelten für die komplette Steckverbindung (Stecker-Kupplung-Stecker) und für zufällige Steckung (jeder gegen jeden) aber nicht gegen Referenz. Das ist der realistische Fall.

Dämpfungsklasse	Dämpfung (97 %)	Mittelwert
A	noch nicht festgelegt	
B	$\leq 0,25 \text{ dB}$	$\leq 0,12 \text{ dB}$
C	$\leq 0,50 \text{ dB}$	$\leq 0,25 \text{ dB}$
D	$\leq 1,00 \text{ dB}$	$\leq 0,50 \text{ dB}$

Tab. 2.3: Dämpfungsklassen (1310 nm, 1550 nm)

Entsprechend DIN EN 61755-1 gelten für **Singlemode-Stecker** die Klassen in Tabelle 2.3. Klasse A wird für höchste Anforderungen empfohlen (0,1 dB-Stecker), ist aber noch nicht standardisiert. Für viele Anwendungen ist Klasse B ausreichend.