

4 Lichtwellenleiter-Steckverbinder

4.1 Grundlagen

LWL-Steckverbinder ermöglichen eine einfache Kopplung und Trennung von Lichtwellenleitern. Dabei sind folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Geringe Dämpfung: erreicht man durch das Ablageverfahren (Tunen) oder das Prägeverfahren sowie durch Reduktion der Reflexionen am Steckverbinder.
- Hohe Reflexionsdämpfung (geringe Reflexionen): erreicht man durch Modifikation des Stirnflächenkontaktes (Abschnitt 3.3.1).
- Hohe Reproduzierbarkeit dieser Parameter bei wiederholtem Stecken.
- Hohe Stabilität gegenüber Umwelteinflüssen.
- Hohe Anzahl von Steckzyklen (500...2000) und hohe Lebensdauer.
- Geringe Abmessungen, insbesondere im Querschnitt.

Anforderungen bei hohen Qualitätsansprüchen

- Stecker und Kupplungen nur von namhaften Anbietern verwenden.
- Material der Ferrule: Zirkonia-Keramik, nicht Metall oder Kunststoff.
- Material der Kupplung: geschlitzte Keramikhülse, nicht Phosphor-Bronze oder Metall.
- Sorgfältig mit Steckern und Kupplungen umgehen.
- Höchsten Reinigungsstandard gewährleisten (Abschnitt 4.6).
- Günstig: Stecker mit integrierter Staubschutzklappe (LSH).
- Gereinigte Steckerstirnflächen mit Fasermikroskop überprüfen.
- Bei physischem Kontakt (Bilder 3.4 und 3.6) arbeitet eine optische Steckverbindung dauerhaft zuverlässig, solange sie nicht geöffnet und wieder gesteckt wird.

Farbmarkierungen Singlemode-Stecker

- Steckerkörper grün, wenn er aus Kunststoff besteht (zum Beispiel LSH, SC) bzw. Knickschutz grün bedeutet 8°-Schrägschliff (HRL/APC: Toleranz: $8^\circ \pm 0,5^\circ$).
- Steckerkörper grün, sofern er aus Kunststoff besteht bzw. Knickschutz rot mit Aufdruck „9“ bedeutet 9°-Schrägschliff (nur DTAG: Toleranz: $9^\circ \pm 0,5^\circ$).
- Steckerkörper blau, wenn er aus Kunststoff besteht bzw. Knickschutz blau bedeutet Geradschliff (PC).
- Farbe rot als Steckerkörper und Knickschutz: Power Solution Stecker. Ist nur als E-2000TM-Stecker und nur von der Firma DIAMOND verfügbar (Abschnitt 4.5.3).

Auf Farbmarkierungen achten! Mischungen vermeiden. Ansonsten erhöhen sich Dämpfungen und Reflexionen (Abschnitt 3.5).

Farbmarkierungen Multimode-Stecker

- Laut Norm Farbe beige und schwarz.
- Weitere Farben außer grün sind möglich.

Stift-Hülse-Prinzip

- Zur Kopplung von Lichtwellenleitern hat sich das **Stift-Hülse-Prinzip** durchgesetzt. Dabei werden zwei Steckerstifte mit einer Kupplung (Verbindungsstück) verbunden. Sie werden entsprechend ihrer äußeren Abmessungen (Durchmesser 2499,0 $\mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$ bzw. 1249,0 $\mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$) zueinander justiert.
- Erfordert höchste Präzision in der Toleranzkette, um die Kerne mit Submikrometer-Genauigkeit zueinander zu positionieren.
- Zentrisch im Steckerstift liegt die LWL-Faser. In der Kupplung werden die Steckerstifte durch eine längsgeschlitzte Keramikhülse geführt, deren Innendurchmesser geringfügig kleiner ist, als der Ferrulendurchmesser.
- Die Schlitze ermöglichen einen strammen Sitz der Steckerstifte, das Zentrieren der Fasern und das Entweichen der Luft während des Steckvorganges. Spiralfedern gewährleisten einen definierten Anpressdruck der Stirnflächen.

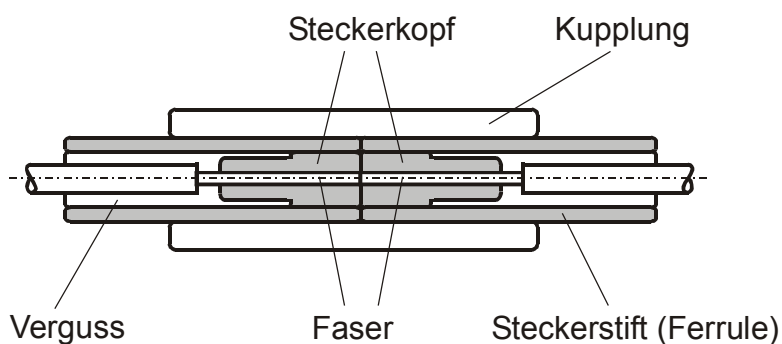


Bild 4.1: Stift-Hülse-Prinzip

Verdrehsicherung

- Bei rotationssymmetrischen Steckern (zum Beispiel FC oder LSA (DIN)) gewährleistet ein Verdrehschutz eine definierte und reproduzierbare azimutale Orientierung der Stirnflächen zueinander.
- Der Verdrehschutz wird durch eine Nase am Steckerstift sowie eine Nut in der Kupplung gewährleistet (Bild 4.2).
- Bei Steckern mit rechteckförmigem Querschnitt (zum Beispiel LSH, SC) wird eine definierte azimutale Orientierung durch die Geometrie gewährleistet.
- Das ist wichtig bei PC-Steckern, um die aufeinander gepressten Stirnflächen nicht zu zerstören und bei HRL/APC-Steckern, um die Parallelität der Stirnflächen zu gewährleisten.
- Darüber hinaus wird eine hohe Reproduzierbarkeit der Einfügedämpfung bei wiederholtem Stecken möglich.

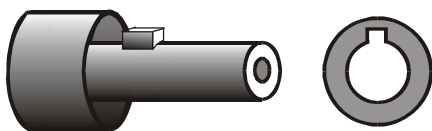


Bild 4.2: Verdrehsicherung

Dämpfungen

- Werden durch intrinsische Verluste (Toleranzen der Faserparameter), durch extrinsische Verluste (radialer Versatz, Winkelfehler, axialer Versatz) und durch Reflexionen verursacht.

- Der radiale Versatz der LWL-Kerne ist besonders problematisch. Die Kern-Exzentrizitäten werden durch das Ablageverfahren (Abschnitt 4.3.2) oder das Prägeverfahren (Abschnitt 4.3.3) minimiert.

Reflexionen

- Werden durch unterschiedliche Brechzahlen, Verunreinigungen der Oberflächen und damit Luft zwischen den Steckerstirnflächen sowie durch Kratzer und Rauigkeiten verursacht.
- Minimierung der Reflexionen an der Steckerstirnfläche durch hohen Reinigungsstandard und durch Optimierung der Steckerstirnflächengeometrie (Abschnitt 3.3.1).

Der Einsatz einer Immersionsflüssigkeit im Steckverbinder zur Erhöhung der Reflexionsdämpfung ist verboten!

4.2 Normung

- IEC 61754-1 und EN 186000: Formulierung allgemeiner Aussagen zum Aufbau der Steckverbinder.
- DIN EN 50173-1 definiert minimale Reflexionsdämpfungen des Steckverbinders (Verweis auf EN 61300-3-6):
 - 20 dB bei Multimode-LWL
 - 35 dB bei Singlemode-LWL
- Anzahl der Steckzyklen (bei einer Dämpfungsänderung von maximal 0,2 dB): 500.
- IEC 61755-1: Klassifiziert Dämpfungen und Reflexionsdämpfungen der Singlemode-Steckverbinder **bei Messung jeder gegen jeden** (zufällige Paarung). Das ist der realistische Fall in der Praxis.
- Eine **Messung gegen Referenz** ist sinnvoll, um die Stecker untereinander zu vergleichen. Die Werte fallen etwas günstiger aus.
- Die angegebenen Dämpfungen gelten für die komplette Steckverbindung (Stecker-Kupplung-Stecker).

Tabelle 4.1: Dämpfungsklassen SM-LWL (1310 nm/1550 nm) nach IEC 61755-1

Dämpfungsklasse	Dämpfung (97 %)	Mittelwert	Kommentar
A	≤ 0,15 dB	≤ 0,08 dB	in der Diskussion
B	≤ 0,25 dB	≤ 0,12 dB	
C	≤ 0,50 dB	≤ 0,25 dB	
D	≤ 1,0 dB	≤ 0,50 dB	

Tabelle 4.2: Klassen Reflexionsdämpfung SM-LWL (1310 nm/1550 nm) nach IEC 61755-1

Klasse Reflexionsdämpfung	Reflexionsdämpfung (gesteckt)	Kommentar
A	≥ 60 dB	≥ 55 dB ungesteckt
B	≥ 45 dB	
C	≥ 35 dB	
D	≥ 26 dB	

- Klasse A gilt für APC/HRL-Stecker.
- Klassen B, C und D gelten für PC-Stecker.

Tabelle 4.3: Dämpfungsklassen 50 µm-Multimode-Stecker (850 nm/1300 nm)

Dämpfungsklasse	Dämpfung (97 %)	Mittelwert
B	≤ 0,6 dB	≤ 0,35 dB
C	≤ 1,0 dB	≤ 0,50 dB

Dämpfungen nach DIN EN 61300-3-34 (Glas-LWL):

- 0,5 dB für 95 % der Steckungen
- 0,75 dB für 100 % der Steckungen

Reflexionsdämpfungen nach DIN EN 61300-3-6 (Glas-LWL):

- Multimode: $a_R \geq 20$ dB
- Singlemode: $a_R \geq 35$ dB

Definition Bezugsstecker, Referenzstecker nach DIN ISO/IEC 14763-3

- Exzentrizität zwischen Faserkernmitte und Stiftachse: $< 0,3 \mu\text{m}$
- Verkippung zwischen Faserachse und Stiftachse: $< 0,2^\circ$
- Stiftaußendurchmesser: $1249,0 \mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$ bzw. $1299,0 \mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$
- Sichtprüfung der Faserendfläche mit 200-facher Vergrößerung: keine Fehler in der Kernzone
- Dämpfung zwischen zwei Referenzsteckern:
 - Multimode: $\leq 0,10$ dB
 - Singlemode: $\leq 0,20$ dB

4.3 Kernzentrierung

4.3.1 Toleranzen und radialer Versatz

- Zentrisch in der Ferrule liegt die Faser. Toleranzen bewirken einen radialen Versatz der LWL-Kerne zueinander (Bilder 4.3 bis 4.6).
- Einige Mikrometer Toleranz sind bei der Verbindung von Multimode-LWL unproblematisch.
- Bei der Verbindung von Singlemode-LWL können hohe Dämpfungen entstehen.
- Eine maximal zulässige Auswanderung von $1,25 \mu\text{m}$ bewirkt einen maximalen Abstand zweier Kernmittelpunkte von $d = 2 \cdot r = 2,5 \mu\text{m}$. Maximale Dämpfung entsprechend Gleichung (3.25): $a(\lambda = 1,31 \mu\text{m}) = 1,28$ dB, $a(\lambda = 1,55 \mu\text{m}) = 1,00$ dB.

Bild 4.3: Kern-Mantel-Exzentrizität

Mittelpunkt des LWL-Kerns und des LWL-Mantels sind nicht identisch.

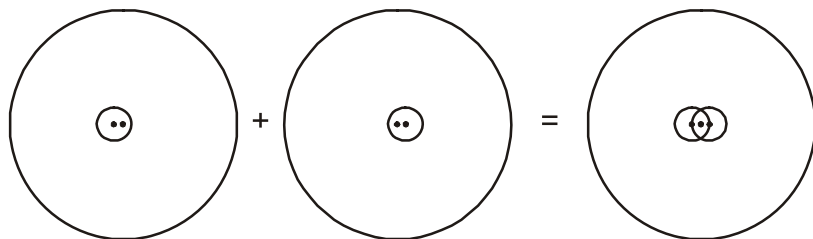


Bild 4.4: Schwankungen im Manteldurchmesser

Wird teilweise durch unterschiedliche Durchmesser der Bohrungen der Ferrule ausgeglichen.

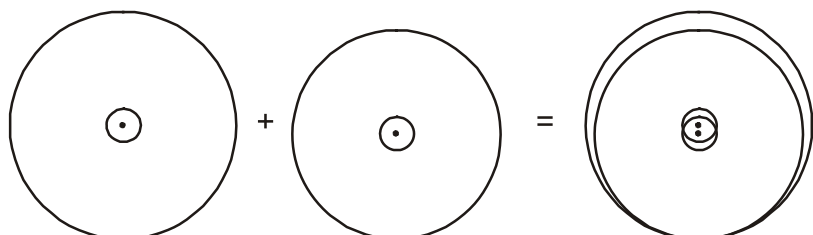


Bild 4.5: Spiel der Faser in der Ferrule

Der Durchmesser der Faser ist kleiner als derjenige der Bohrung. Die Faser kann unterschiedlich in der Bohrung liegen.

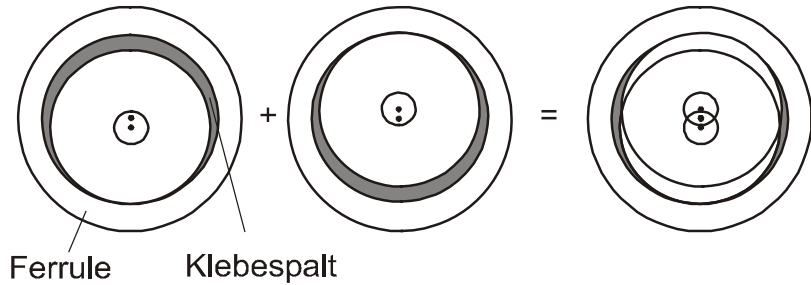
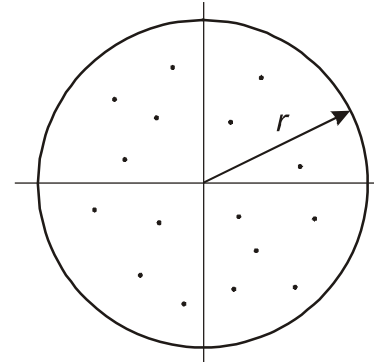


Bild 4.6: Auswanderung der Kernmitten bezüglich der optischen Achse des Systems

Infolge des radialen Versatzes liegen die Mittelpunkte der LWL-Kerne innerhalb eines Kreises mit dem Radius r . Dabei ist $r = 1,25 \mu\text{m}$ der maximal zulässige radiale Versatz bezüglich der Achse der Ferrule. Der Ursprung des Koordinatensystems im nebenstehenden Bild entspricht dem Ort der Achse.

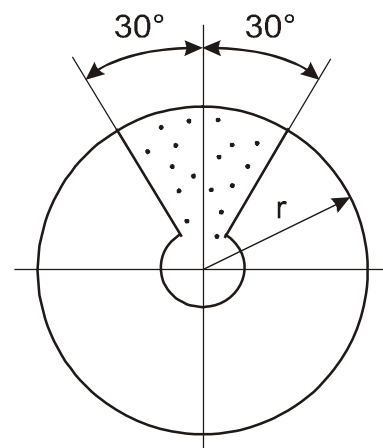


- Diese Dämpfungen sind für eine Singlemode-Steckverbindung wesentlich zu groß.
- Man spricht von einem **untuned** Stecker. Es werden keine Maßnahmen ergriffen, um die Kernexzentrizitäten zu minimieren.
- Die Dämpfungen können minimiert werden durch das Ablageverfahren (Abschnitt 4.3.2) oder das Prägeverfahren (Abschnitt 4.3.3).

4.3.2 Ablageverfahren

Bild 4.7: Tuning

- Die Exzentrizitäten sind noch vorhanden.
- Die Verdrehsicherung am Steckverbinder wird so angebracht, dass die Kernexzentrizitäten bezüglich der Verdrehsicherung innerhalb eines Sektors mit einem bestimmten Winkel liegen (typisch $\pm 30^\circ$). Die Kernexzentrizitäten werden in einem Sektor abgelegt.
- Der maximale Abstand der Kernmittelpunkte beträgt dann nur noch die Hälfte: $d = r = 1,25 \text{ mm}$. Die maximalen Dämpfungen reduzieren sich auf ein Viertel: $a(\lambda = 1,31 \mu\text{m}) = 0,32 \text{ dB}$, $a(\lambda = 1,55 \mu\text{m}) = 0,25 \text{ dB}$.



- Das Ablageverfahren wird weltweit und firmenneutral angewandt. Dabei kommen Vollkeramik-Ferrulen (Zirkonoxidkeramik: ZrO_2) zum Einsatz.
- Ablageverfahren und Prägeverfahren sind miteinander kompatibel, außer bei der 0,1 dB-Technik. Dort ist das nicht in jedem Fall gewährleistet.

4.3.3 Prägeverfahren (aktive Kernzentrierung)

- Die optische Achse des LWL-Kerns wird auf die optische Achse der Ferrule ausgerichtet. Dieses Verfahren wird ausschließlich von der Firma DIAMOND realisiert.

Bild 4.8: Keramik/Neusilber-Ferrule für Diamond-Kernzentrierverfahren

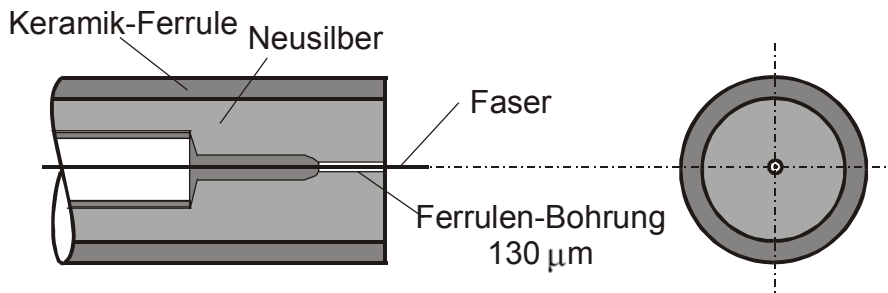
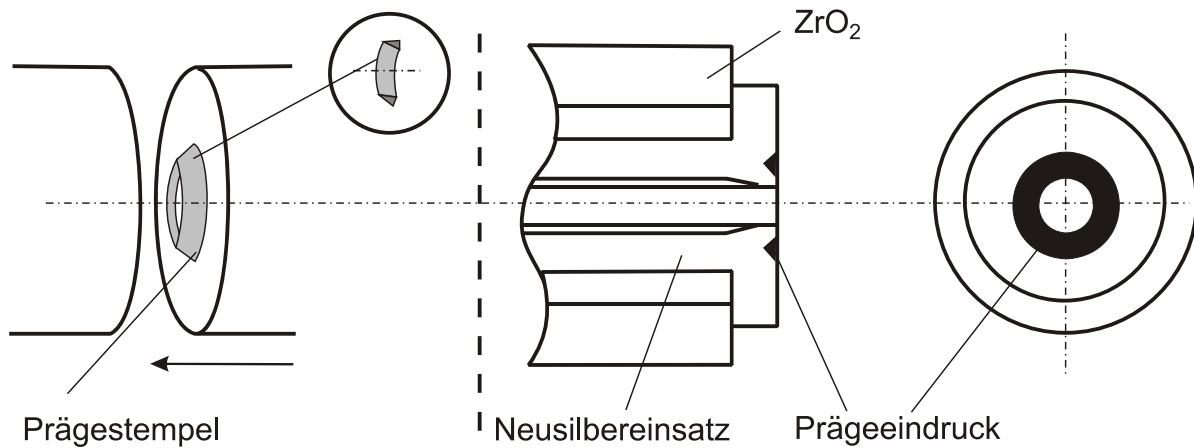
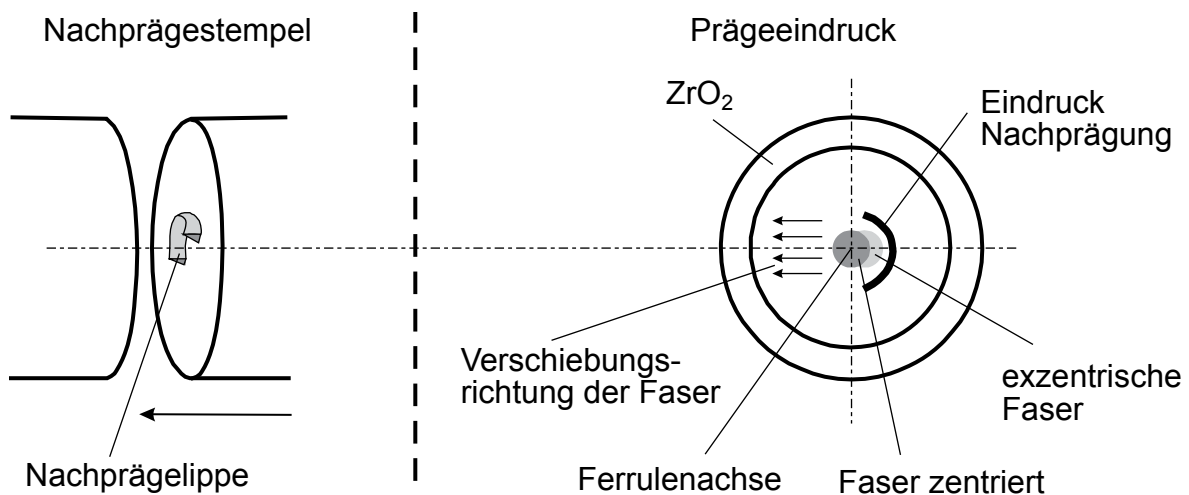


Bild 4.9: Erster Schritt (Prägen)



- Erfordert eine Ferrule aus einem präzise geschliffenem verschleißfesten Außenmantel (Keramik, Hartmetall) sowie einem verformbaren Neusilbereinsatz.
- Für raue Umweltbedingungen (IEC 61753-1, Kategorie E) kommt anstelle Neusilber Titan zum Einsatz (geringerer thermischer Ausdehnungskoeffizient).
- Die Bohrung in Neusilber hat einen Durchmesser von 130 μm und nimmt problemlos Faser und Kleber auf (Bild 4.8).
- Die Faser wird mit Kleber in der Ferrule fixiert und noch vor der Aushärtung des Klebers geprägt.
- Ein kreisförmiger Keil wird in die Stirnfläche der Ferrule eingedrückt (Bild 4.9).

Bild 4.10: Zweiter Schritt (Nachprägen)



- Der Bohrungsdurchmesser reduziert sich auf den jeweiligen LWL-Faser-Durchmesser.
- Es entsteht ein homogener Klebespalt. Die Restexzentrizität beträgt etwa 1,5 µm.
- Mit einem optischen System wird die Exzentrizität ermittelt.
- Beim Nachprägen (Bild 4.10) wird die Lage des Kerns mit einem 120°-Segmentstempel korrigiert. Es verbleibt eine Restexzentrizität < 0,25 µm (Standard) bzw. < 0,125 µm (0,1 dB-Technologie).






4.4 Herkömmliche Steckerkonzepte


4.4.1 Bauformen

Die Steckerbauformen sind äußerst vielgestaltig. Sie unterscheiden sich:

- nach der Art der Kopplung: direkte Stirnflächenkopplung oder Kopplung über ein optisches System (Linsenstecker).
- nach der Art des Stirnflächenkontaktes bei direkter Kopplung: Luftspalt, physischer Kontakt (PC), physischer Kontakt und Schrägschliff (HRL/APC) (Abschnitt 3.3.1).
- nach der Anzahl der Fasern: Simplex-Stecker, Duplex-Stecker, Multifaser-Stecker.
- nach dem LWL-Typ und damit dem Durchmesser der Faser: Glas-LWL, PCF-LWL, Kunststoff-LWL.
- nach der zu Grunde liegenden Norm: FSMA, ST, SC, FC, LSA, LSH, LX.5, LC, MT-RJ, VF-45, MU, FJ und weitere.
- nach der Fähigkeit, höhere Leistungen zu übertragen: High-Power-Steckverbinder.
- nach dem Stiftdurchmesser: 3,175 mm: selten, 2,5 mm, 1,25 mm.
- nach dem Steckprinzip: Gewindemutter, Bajonettverschluss, Push Pull.

Tabelle 4.3: Big-Form-Factor-Verbinder (Bilder: HUBER+SUHNER)





Steckertyp Ferrulendurchmesser Eigenschaften	Stirn- fläche	Faser- Typ	
SMA: 3,175 mm Gewindemutter SW 8	konkav/ plan	MM	
LSA (DIN): 2,5 mm Schraubverschluss	PC HRL/ APC	MM SM	
ST: 2,5 mm, Bajonett	PC	MM SM	
FC: 2,5 mm Schraubverschluss kurze starre Länge hohe mechanische und thermische Belastbarkeit	PC HRL/ APC	MM SM	
SC: 2,5 mm; simplex oder duplex; Push-Pull; hohe mechanische und thermische Belastbarkeit	PC HRL/ APC	MM SM	

LSH (E-2000™): 2,5 mm; simplex oder duplex; Push-Pull; integrierte Staubschutzklappe; geeignet für Übertragung hoher Leistungen	PC HRL/ APC	MM SM	
--	-------------------	----------	--

- Das orange Kabel bedeutet Multimode- und das gelbe Kabel Singlemode.
- Grünes Gehäuse und/oder grüner Knickschutz kennzeichnen HRL/APC.
- Der FC-Stecker kommt häufig im Singlemode-Bereich (Messtechnik) zum Einsatz.
- Der LSH-Stecker ist im deutschsprachigen Raum weit verbreitet.
- Der ST-Steckverbinder wurde früher in der LAN-Verkabelung eingesetzt. In der Norm DIN EN 50173-1 (Juni 2003) wird dieser Stecker jedoch nicht mehr empfohlen.
- Der SC-Duplex-Stecker findet im Datennetzwerkbereich Verwendung.

Tabelle 4.4: Small-Form-Factor-Verbinder (Bilder: HUBER+SUHNER)

- Neue Generation von Duplex-Steckern, die eine hohe Packungsdichte ermöglichen.
- Die Abmaße des Querschnittes der Kupplung entsprechen den Abmaßen des Durchbruchs bei Einsatz von RJ-45-Kupfer-Steckern (19,5 mm x 14,9 mm; siehe auch IEC 60603-7).
- Für alle Steckverbinder in Tabelle 4.4 gilt: Steckmechanismus Push-Pull; Small-Form-Factor-Verbinder für hohe Packungsdichten.
- Für LC, LX.5 und MU gilt: Steckerstiftdurchmesser 1,25 mm; simplex oder duplex.

Steckertyp Eigenschaften	Stirn- fläche	Faser- Typ	
LC: kurze starre Länge des Steckers; farblich codierbar	PC HRL/ APC	MM SM	
LX.5: integrierte Staubschutzklappe; hohe mechanische und thermische Belastbarkeit; kurze starre Länge des Steckers; farblich codierbar	PC HRL/ APC	MM SM	
MU: 1,25 mm-Version des SC-Steckers (Mini-SC)	PC HRL/ APC	MM SM	
MTP: bis zu 24 Fasern in einer Ferrule; hohe mechanische und thermische Belastbarkeit; geringer Kabeldurchmesser (3,5 mm); vorzugsweise Einsatz in Rechenzentren	PC HRL/ APC	MM SM	

- Weitere Steckverbinder, speziell entwickelt für FTTx, vergleiche Abschnitt 16.9.7.
- F-3000™ (Markenname DIAMOND) sind prinzipiell kompatibel zur Bauform LC.
- Wegen einer nicht normkonformen Bauweise einiger LC-Transceiver lässt sich der F-3000™ nicht in jedem Falle stecken, da die Staubschutzklappe im Weg ist.

- Der F-3000s ist uneingeschränkt kompatibel zu LC-Transceivern und LC-Verbindern. Das „s“ steht für „simplified“ und bedeutet, dass dieser Stecker keine Staubschutzklappe hat.
- ODC (Bild 4.11) ist ein speziell den Außenbereich (FTTA: Fiber to the Antenna) bzw. für industrielle Umgebungen entwickelter Stecker.



Bild 4.11: ODC von HUBER+SUHNER

- Ferrulendurchmesser: 1,25 mm
- Stirnflächengeometrie: PC oder HRL/APC
- Fasertyp: Multimode oder Singlemode
- robuster Verbinder für zwei oder vier Fasern
- kompakte Bauweise; Schraubverschluss
- Schutzklasse IP68 (wasserdicht, staubdicht, korrosionsbeständig)

4.4.2 Crimp & Cleave-Verfahren

- Das Crimp & Cleave-Verfahren (C&C) ermöglicht eine einfache Feldmontage von Steckverbindern auf PCF-LWL (Abschnitt 6.3.3).
- Für die Steckermontage steht ein Werkzeugkoffer zur Verfügung.
- Das Kabel wird abgesetzt und die PCF-Faser in ein C&C-Alberino (Steckerstift) eingeführt. Das C&C-Alberino wird auf das Kabel gecrimpt.
- Die überstehende Faser wird gezogen und seitlich geritzt: Die Faser bricht senkrecht zur Krafteinwirkung.
- Die Faser steht geringfügig gegenüber der Steckerstirnfläche zurück. Im Stecker entsteht ein Luftspalt (NPC: Non Physical Contact). Die derart konfektionierten Stecker können miteinander verbunden werden können, ohne dass es zur Zerstörung der Lichtwellenleiter an ihren Oberflächen kommt.
- Auf das Alberino können verschiedene Steckergehäuse montiert werden: LSH, SC, FC, ST. C&C-Stecker sind in den Bauformen simplex und duplex verfügbar.

4.4.3 Stecker mit Fusionsspleißgerät anspleißen

- Die Fusion-Technik ist die ideale Lösung für eine einfache Vor-Ort-Konfektionierung bei hohem Qualitätsanspruch.
- Für das Feld kritische Fertigungsprozesse, wie Kleben, Aushärten und Polieren, entfallen. Pigtails oder Verbindungsleitungen werden direkt mit der Ferrulengruppe verspleißt.



Bild 4.12: Ferrulengruppe (Mitte), Knickschutz (rechts), Steckergehäuse (links: E-2000™ HRL) von DIAMOND

- Die Ferrulenbaugruppe (Bild 4.12, Mitte) besteht aus einer bearbeiteten Faserendfläche, einem Faserstummel und integrierten Spleißschutzelementen. Die Faserendfläche wurde kernzentriert (Prägeverfahren: vergleiche Abschnitt 4.3.3) und poliert, wie bei herkömmlichen DIAMOND-Steckern.
- Der Fusionsspleiß wird innerhalb der Ferrulenbaugruppe realisiert und durch diese auch geschützt. Spleißkassetten und Spleißablagen entfallen.
- Das Fusions-Spleißgerät ZEUS von der DIAMOND GmbH (Bild 4.13) ermöglicht die Konfektionierung von 900 µm-, 1,6 mm-, 2,1 mm-, 2,4 mm- sowie 3,0 mm-Kabeln.



Bild 4.13: Spleißgerät ZEUS der Firma DIAMOND GmbH zur Konfektionierung von Steckern direkt auf die Faser

- Die Ferrulenbaugruppe wird mit Hilfe eines speziellen Halters in das Spleißgerät eingelegt. Das freiliegende Minipigtail wird mit dem abgesetzten, ebenfalls eingelegten LWL-Kabel durch einen Fusionsspleiß dauerhaft verbunden.
- Die Faserjustage erfolgt bei diesem Gerät nach dem V-Nut-Prinzip.
- Zunächst wird der Lichtbogen gezündet, um die beiden Faserenden zu reinigen.
- Dann werden die beiden Fasern mit dem Lichtbogen verschmolzen.
- Die Spleißstelle wird durch das Zusammenklappen der Spleißschutzelemente (Bild 4.12, Mitte) geschützt. Das Crimpen der Ferrulenbaugruppe auf das Kabel gewährleistet Zugentlastung.
- Mit der Ferrulenbaugruppe lassen sich Pigtails oder Patchkabel mit neutralen Steckerstiften (Durchmesser 1,25 mm oder 2,5 mm; Stirnfläche PC oder APC/HRL) konfektionieren.
- Die Ferrulenbaugruppen sind vorgefertigt mit Singlemode- (9/125 µm) und Multimode-Fasern 50/125 µm bzw. 62,5/125 µm. Spezialversionen mit Strahlaufweitungstechnik (Abschnitt 4.5.5) sind verfügbar.
- Verschiedene Steckergehäuse können auf die Ferrule aufgebracht werden: E-2000TM (Simplex und Compact), F-3000TM (Simplex und Duplex), SC, FC und ST. Bei APC/HRL-Steckern ist die Orientierung des Steckerstiftes zum Gehäuse zu beachten.
- Die Zirkonia-Ferrule von Multimode-Steckern enthält einen Neusilbereinsatz und die von Singlemode-Steckern einen Titaneinsatz.
- Beim Spleißen ist mit äußerster Sorgfalt vorzugehen:
 - Die Elektroden müssen sauber gehalten werden.

- Es müssen Bedingungen realisiert werden, die mit hoher Wahrscheinlichkeit einen erfolgreichen Spleiß gewährleisten.
- Ein neuer Spleißversuch erfordert eine neue Ferrulenbaugruppe und damit zusätzliche Kosten.
- Die Steckerdämpfung ist die Summe aus der Dämpfung zweier Spleiße plus der tatsächlichen Steckerdämpfung und somit höher als mit direkt auf die Faser konfektionierten Steckern.
- Die Fusions-Technik wurde in FTTx-Projekten in den USA millionenfach realisiert.

4.4.4 Stecker mit mechanischem Spleiß konfektionieren

- In der Ferrulenbaugruppe wird kein Fusionsspleiß, sondern ein mechanischer Spleiß realisiert (Abschnitt 5.6).
- Verschiedene Steckergehäuse können auf die Ferrulenbaugruppe aufgebracht werden: SC, ST, LC.
- Dieses Prinzip wurde in FTTH-Projekten in Japan und Südkorea millionenfach realisiert.

4.4.5 Linsenstecker

- Stecker mit Stirnflächenkontakt sind empfindlich bezüglich Verschmutzungen im ungesteckten Zustand.
- Verschmutzungen bzw. eine unsachgemäße Reinigung können zur Beschädigung der hochempfindlichen Steckerstirnfläche und damit zur Verschlechterung der optischen Parameter (Dämpfung, Reflexionsdämpfung) führen.
- Der Einsatz von Linsensteckern (Expanded Beam Connectors: EB) ist vorteilhaft bei rauen Umgebungsbedingungen (Bergbau, Militärtechnik).
- Anstelle eines direkten Stirnflächenkontaktes wie bei herkömmlichen Steckern erfolgt eine optische Abbildung zwischen den beiden Steckerstirnflächen.
- Die Faser selbst ist sicher und gegen äußere Einflüsse abgedichtet.
- Das aus dem ankommenden Lichtwellenleiter austretende Licht divergiert. Der maximale Neigungswinkel gegen die optische Achse ergibt sich aus der numerischen Apertur des Lichtwellenleiters.
- Befindet sich die Steckerstirnfläche in der hinteren Brennebene der Linse, wird der Strahlengang parallelisiert (Bild 4.14).
- Die zweite Linse fokussiert das Licht in der hinteren Brennebene, wo der abgehende Lichtwellenleiter angeordnet wird.

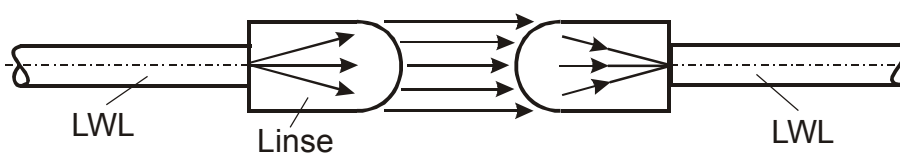


Bild 4.14:
Prinzip des
Linsensteckers

Vorteile

- Ein Staubkorn macht sich im aufgeweiteten Strahl viel weniger störend bemerkbar, als bei der Stirnflächenkopplung.
- Einfache Reinigung ohne Verschlechterung der optischen Parameter möglich.
- Keine speziellen Reinigungsmittel oder -werkzeuge erforderlich.
- Geringere Empfindlichkeit gegenüber radialem Versatz.
- Unempfindlichkeit gegenüber Toleranzen in Längsrichtung.

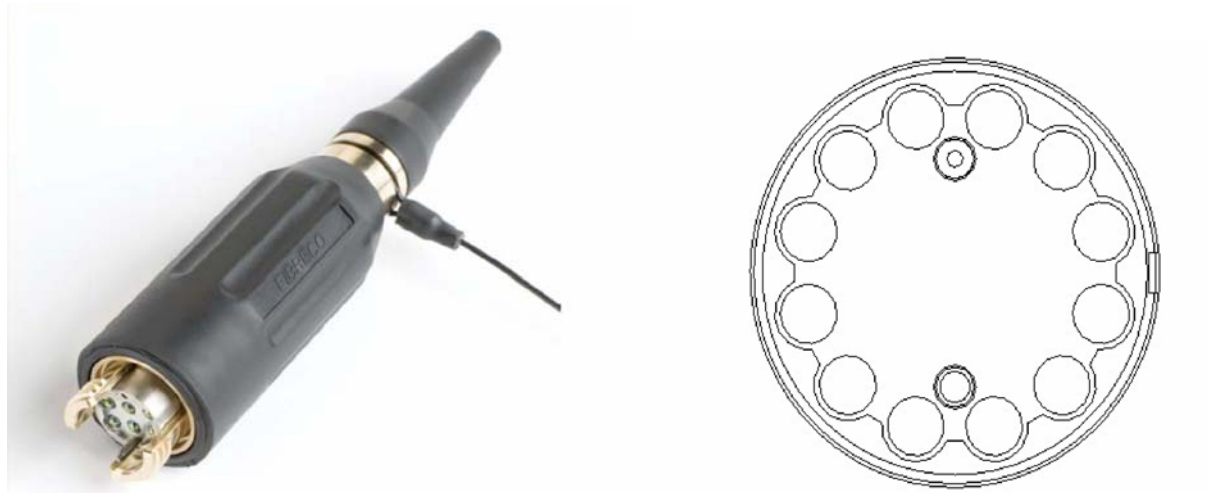
Nachteile

- zusätzliche Bauteile erforderlich
- teurer als Stirnflächenkopplung
- erhöhte Dämpfung und erhöhte Reflexion an den Grenzflächen

Eigenschaften

- Verfügbar als Mehrkanalstecker für Multimode- oder Singlemode-Fasern.
- Vielkanalige Linsenstecker für Singlemode-LWL stellen hohe Anforderungen.
- Die Linsen haben eine nicht-reflektierende Schicht und ermöglichen so hohe Reflexionsdämpfungen.
- Überwiegend zwittriges (hermaphroditisches) Design: Zwei vollkommen identische Stecker können ohne Kupplung miteinander verbunden werden.
- Dichtheitsklasse im gesteckten oder ungesteckten Zustand, mit oder ohne Schutzkappe: IP68.
- Die Stecker sind auch als Mischvarianten (Multimode- und Singlemode) bzw. als Hybridvarianten mit optischen und elektrischen Kontakten verfügbar.
- Bild 4.15 links: Linsenstecker von Fibreco mit zwittrigem Design.
- Bild 4.15 rechts: Draufsicht; zwölf Kanäle, ein Führungsstift, eine Bohrung.

Bild 4.15: Linsenstecker von Fibreco und Draufsicht



4.5 Neue Steckerkonzepte

4.5.1 Das URM-Stecksystem

- Das URM-Stecksystem aus der Produktlinie **rako** der LWL-Sachsenkabel GmbH ist ein hochwertiges Mehrfaserstecksystem auf der Basis von Keramikferrulen.
- Es wurde vorzugsweise für den Einsatz in Hochleistungsrechenzentren entwickelt.
- Anders als beim MPO-Stecker lassen sich der 8-fach und der 2-fach-Stecker direkt durch Kupplungen mit Keramikhülsen verbinden. Zusätzliche Adaptierungen können vermieden werden: Verringerung der Einfügedämpfung, der Reflexionen und des Platzbedarfs.
- Adaption auf jeden marktüblichen Transceiver (SFP, XFP) oder LWL-Stecker mittels Hybrid-Jumperkabel realisierbar.
- Die anschlussunabhängigen und wieder verwendbaren Trunkkabel, die bis zum Endgerät verlegt werden, bleiben bei Um- und Neuinstallation erhalten.
- 96 einzeln steckbare Kanäle können auf einer Höheneinheit der 42“-Ebene installiert werden.



Bild 4.16: URM-Stecksystem von LWL-Sachsenkabel GmbH

- Ermöglicht eine Platzersparnis im Verhältnis 1:4 im Vergleich zum SC-Duplex-Format und damit eine Vervierfachung der Packungsdichte.
- Gegenüber dem LC-Stecksystem wird die Packungsdichte verdoppelt.
- Das URM-System ist kompatibel zu bestehenden Verteilersystemen.

- Ein doppelter Verriegelungsmechanismus garantiert eine sichere Verbindung und verhindert eine ungewollte Trennung.
- Zukunftssichere und flexible Verkabelung entsprechend EN 50173.
- Geeignet für Multimode-OM2-, -OM3-, -OM4- und Singlemode-LWL.
- Oberflächengestalt des Steckers PC oder HRL/APC.

4.5.2 Steckverbinder mit geringen Einfügedämpfungen

- Durch Weiterentwicklung der Konfektionierungstechnologien, der mechanischen Präzision und der Toleranzen der Fasern gelingt es, die Einfügedämpfung weiter zu reduzieren.
- In ausgewählten Einsatzfällen sind sehr geringe Steckerdämpfungen entscheidend.
- Der 0,1 dB-Stecker ermöglicht:
 - eine deutliche Verringerung der Dämpfung des Netzes
 - eine definierte Planung des Dämpfungsbudgets
 - eine vereinfachte Abnahmemessung, da der Messwert gegen Referenz- und Serienstecker gleich ist
 - Übertragung hoher optischer Leistungen
- Zur Messung derart kleiner Dämpfungen stößt man zunehmend an die Grenzen der Messgenauigkeit.
- Ursachen für die Dämpfung: Verschmutzung, Faserexzentrizitäten, Schielwinkel Verkippung der Faserachse gegen die Ferrulenachse.
- Die Materialauswahl spielt eine wichtige Rolle, um Toleranzen im Submikrometerbereich einzuhalten.
- Die Qualität des Gegensteckers (Referenzsteckers) und der Referenzkupplung beeinflussen die Messgenauigkeit.
- DIAMOND spezifiziert die 0,1 dB-Stecker anhand der geometrischen Parameter Schielwinkel und Exzentrizität.
- Das Ergebnis ist unabhängig vom Gegenstecker, der Kupplung und dem Reinigungszustand.
- Der Stecker kann eindeutig charakterisiert werden.
- Bei einer Faserexzentrizität von $< 0,125 \mu\text{m}$ (entspricht einem lateralen Versatz zweier Fasern gegeneinander von $< 0,25 \mu\text{m}$) und einem Schielwinkel $< 0,4^\circ$ kann eine Steckerdämpfung von $< 0,1 \text{ dB}$ gewährleistet werden (unterschreitet die Anforderungen an Referenzstecker entsprechend Abschnitt 4.2).
- Die roten Punkte in Bild 4.17 zeigen die Messwerte. Sie liegen alle unter der roten Linie (0,1 dB).

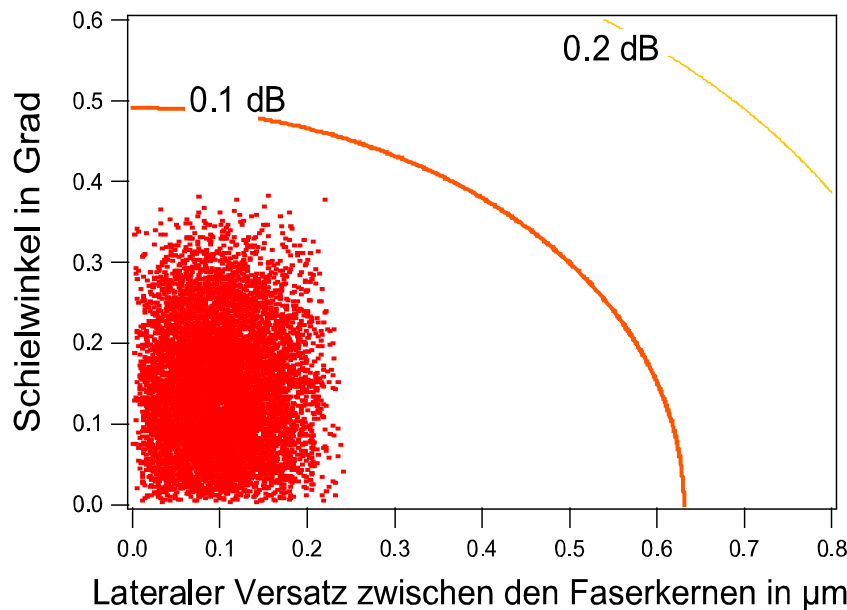


Bild 4.17:
Steckerdämpfung in
Abhängigkeit vom
lateralen Versatz und
Schielwinkel (Quelle:
DIAMOND)

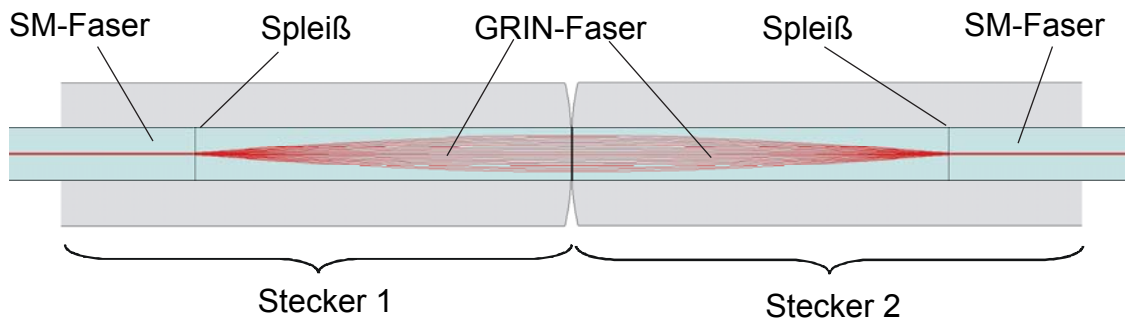
- Voraussetzung für die beschriebene Herangehensweise ist die Beherrschung der Fertigungsparameter für einen sicheren Faserkontakt (Stirnflächenradius, sphärische Faserhöhe, APEX: Mittenversatz).
- Darüber hinaus erfolgt eine optische Endkontrolle um andere Fehler auszuschließen.

Beachte: Entsprechend den Rundungsregeln bedeutet die Angabe 0,1 dB eine Dämpfung $\leq 0,15$ dB und die Angabe 0,10 dB eine Dämpfung $\leq 0,10$ dB.

4.5.3 High-Power-Stecker

- Ermöglichen die Übertragung hoher Leistungsdichten.
- Im Standard-Singlemode-LWL ist die Bedingung „High-Power“ bei 1550 nm etwa ab 100 mW gegeben.
- Es ist ein besonders hoher Reinigungsstandard zu gewährleisten: Vor jedem Stecken ist die Stirnfläche zu kontrollieren und gegebenenfalls zu reinigen.
- Befindet sich ein Staubkörnchen im Strahlengang, so kann dieses die Lichtleistung absorbieren, sich auf über 1000°C erwärmen und in die Steckerstirnfläche einbrennen.
- Mit dem Power-Solution-Stecker (PS) von DIAMOND wird durch Einsatz eines Faserstückchens mit Gradientenprofil der Modenfelddurchmesser etwa vervierfacht (von 10 µm auf 40 µm) und damit die Leistungsdichte etwa auf ein Sechzehntel reduziert (Bild 4.18).
- Wegen der Strahlaufweitung ähnlich dem Linsenstecker ist der PS-Stecker auch für den Einsatz in industriellen Umgebungen (zum Beispiel Bergbau) geeignet.
- Verschmutzungen wirken sich auf der größeren Fläche weniger empfindlich aus.
- Bauform: E-2000TM-APC, 4°.
- Farbe Stecker/Knickschutz/Mittelstück: rot/rot/rot.

Bild 4.18: Strahlaufweitung im PS-Stecker (Quelle: DIAMOND)



4.6 Sorgfalt im Umgang mit Steckverbindern

Entsprechend DIN/IEC 147763-3 müssen Steckerstirnflächen und Adapter vor jedem Stecken gereinigt und der Reinigungszustand mit dem Fasermikroskop kontrolliert werden. Das ist eine wichtige Voraussetzung für ein zuverlässiges Netz.

- Zur Gewährleistung einer hohen Messgenauigkeit sind Stecker mit höchster Qualität einzusetzen.
- Darüber hinaus ist ein hoher Reinigungsstandard zu gewährleisten. Verunreinigte Stecker können die Messergebnisse an einer Übertragungsstrecke beträchtlich verfälschen.
- Ein Großteil der Probleme im Netz wird durch verschmutzte Stecker verursacht.

4.6.1 Auswirkungen von Verunreinigungen

- Ein Staubkorn hat eine typische Größe von (2...5) μm . Größere Partikel zerbrechen und vermehren sich bei jedem Stecken. Sie können in den Kern wandern. Mit jedem Stecken erhöhen sich Reflexion und Dämpfung.
- Teilchen größer als 5 μm im zentralen Bereich des Steckers verhindern den physischen Kontakt und erhöhen gravierend die Dämpfung und Reflexion (Bild 4.19). Ein unterbrochener physischer Kontakt hat die gleichen schlechten Eigenschaften wie ein Geradschliffstecker (Bild 3.3).

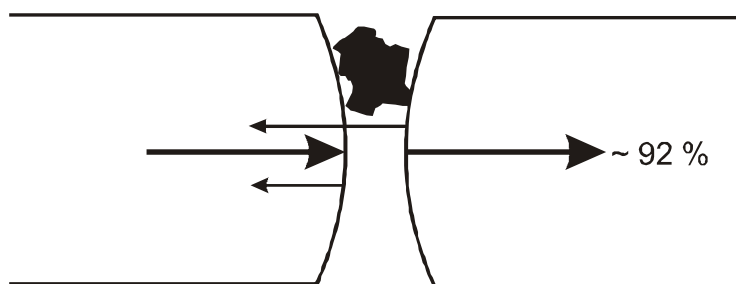


Bild 4.19: Unterbrochener physischer Kontakt

- Staubkörnchen kleiner als 5 μm dringen in die Oberfläche ein und verursachen Absplitterungen.
- Auch wenn die eingedrungenen Partikel entfernt werden, bleiben Löcher und Splitter in der Faser.
- Verschmutzungen können sich von Stecker zu Stecker fortpflanzen. Der Gegenstecker kann beschädigt werden. Es sind stets beide Steckerstirnflächen und die Kupplung zu reinigen.
- Ein hoher Reinigungsstandard ist besonders wichtig bei großen Datenraten.

- Auch neue Stecker müssen gereinigt werden. Stecker lassen sich vor dem ersten Stecken viel einfacher reinigen. Wurde bereits gesteckt, können Schmutzteilchen in das Glas eingedrückt worden sein und eine Reinigung ist sehr schwierig.
- Die Schmutzteilchen können zu einer dauerhaften Verschlechterung der Eigenschaften des Steckers führen.
- Bei Leistungen größer als 100 mW kann sich ein Staubkörnchen auf der Steckerstirnfläche so stark erwärmen, dass es in das Glas einschmilzt und den Stecker unbrauchbar macht (vergleiche Abschnitt 4.5.3).
- Moderne Laserdioden reagieren empfindlich auf Reflexionen, die von verschmutzten Steckern verursacht werden können.
- Eine Berührung der Steckerstirnfläche hinterlässt Rückstände von Fett oder Feuchtigkeit (Bild 4.20). Auch die Berührung mit der Kleidung verursacht Verschmutzungen.

Bild 4.20: Verschmutzte und gereinigte Steckerstirnfläche



- Auf offene Stecker und Kupplungen sind Staubschutzkappen aufzubringen.
- Ungenutzte Staubschutzkappen sind in einem verschließbaren Plastikbeutel aufzubewahren. Sie werden sonst selbst Quelle von Verschmutzungen.

4.6.2 Reinigung

- In der Norm DIN IEC 62627 werden Reinigungsverfahren für LWL-Steckverbinder beschrieben. Zur Steckerreinigung müssen Reinigungsmittel von namhaften Anbietern verwendet und die Reinigungsanleitungen beachtet werden.
- Mit trockener Reinigung beginnen. Nach jedem Reinigungsschritt mit dem Faser- mikroskop Steckerstirnfläche kontrollieren. Prozess gegebenenfalls mehrfach wiederholen.
- Trockene Reinigung erfolgt mit dem Reinigungsband. Auf dem Reinigungsband Stecker nur einmal und nur in einer Richtung bewegen.
- Große Bedeutung haben Reinigungsstifte erlangt. Dort wird das Reinigungsband über die Spitze des Stiftes bei gleichzeitiger Drehung gezogen.
- Trockenluftspray wird zur Steckerreinigung nicht mehr empfohlen. Es kann Verunreinigungen enthalten und die Steckerstirnfläche schädigen.
- Bei stärkeren Verschmutzungen ist ein Trocken-Nass-Reinigungsverfahren erforderlich.
- Die Reinigung erfolgt mit einem fussel- freien Tuch, das mit hochreinem Isopropyl- Alkohol (IPA) oder einem anderen geeigneten Lösungsmittel benetzt wird (feucht, nicht triefend nass). Anschließend trocken nachwischen. Prozess gegebenenfalls mehrfach wiederholen.

- Isopropyl-Alkohol ist in einem hermetisch dichten Behälter aufzubewahren, um das Eindringen von Schmutz und Feuchtigkeit zu verhindern (Alkoholspender benutzen).
- Isopropyl-Alkohol absorbiert Feuchtigkeit aus der Umgebung. IPA mit zu hohem Feuchtigkeitsanteil kann Rückstände auf der Steckerstirnfläche hinterlassen und die Eigenschaften des Steckers verschlechtern.
- Nur die zugelassenen Reinigungsmaterialien verwenden. Selbst saubere Kleidung ist nicht sauber genug, um damit die Steckerstirnfläche zu reinigen.
- Niemals dürfen metallische oder scharfe Gegenstände zur Steckerreinigung verwendet werden. Steckerstirnflächen sind mit der gleichen Sorgfalt wie Linsen optischer Instrumente zu behandeln.
- Ein Nachpolieren der Steckerstirnfläche sollte nur in Ausnahmefällen und nur an Multimode-Steckern vor Ort erfolgen.
- Eine fehlerhafte Bearbeitung führt zu einer Erhöhung der Dämpfung und der Reflexion des Steckers.

4.6.3 Lichtwellenleiter-Mikroskope

- Verschmutzungen und Kratzer auf der Steckerstirnfläche können mit LWL-Mikroskopen erkannt werden.
- **Handmikroskope** ermöglichen eine direkte Betrachtung der Steckerstirnfläche.

Das Handmikroskop darf nur bei ausgeschaltetem Sender benutzt werden. Ansonsten Gefahr der Augenschädigung (vergleiche Abschnitt 18.3: Arbeitssicherheit).

- Das Handmikroskop Fiber Save von Kingfisher (Vertrieb über dhs ELMEA tools GmbH) entsprechend Bild 4.21 ist durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet:
 - Okular mit 200- und 400-facher Vergrößerung
 - optional Datenauslesung über USB-Schnittstelle möglich
 - geeignet zur Inspektion von Duplex-Steckern (SC, LC)
 - vier universelle Adapter für PC/APC bzw. 2,5 mm/1,25 mm
 - auch Adapter für Bändchenfasern verfügbar
 - verschiedene Beleuchtungsmodi
 - Eine Faserkernbeleuchtung mit weißer Quelle zeigt Glasbrüche unterhalb der Oberfläche.
 - Infrarotfilter und zusätzliches Filter, das rotes Licht mit 20 dB abblockt



Bild 4.21: Handmikroskop

- **Videomikroskope** gewährleisten höchste Augensicherheit, da nicht direkt in den Strahl geblickt wird. Die Steckerstirnfläche wird auf einem Videobildschirm oder auf dem Laptop dargestellt und kann so auch dokumentiert werden.

- Schwer zugängliche Stecker in Schalttafeln können mit einem **Backpanel-Mikroskop** (eine Version des Videomikroskops) überprüft werden. Ermöglicht die Betrachtung der Steckerstirnfläche durch die Kupplung hindurch (Bild 4.22 und 4.23).
- Das LCD-Mikroskop hat folgende Eigenschaften:
 - Der Durchmesser der Mikroskopspitze ermöglicht eine Einführung in eine Kupplung mit 2,5 mm bzw. 1,25 mm Durchmesser.
 - Ist geeignet für alle üblichen Steckerformate.
 - Die Fokussierung erfolgt manuell.



Bild 4.22: LCD-Mikroskop von Shineway (Vertrieb über dhs ELMEA tools GmbH)

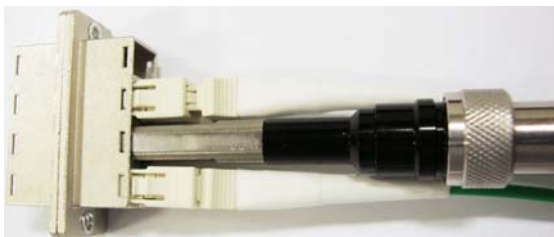


Bild 4.23: Adapter zur Messung von URM-Steckern (dhs ELMEA tools GmbH)

- Die Kupplung nimmt vier Duplex-Stecker auf.
- Eine Inspektion ist trotz teilweise bestückter Kupplung möglich.
- Der Adapter muss zweimal gesteckt werden (jeweils um 180° verdreht), um die beiden Faseroberflächen zu inspizieren.

4.6.4 Steckerstirnflächenanalyse

Die Qualität der Steckerstirnfläche kann unter zweierlei Gesichtspunkten charakterisiert werden:

- Überprüfung der geometrischen Anforderungen (dreidimensionale Analyse)
- Überprüfung des Reinigungszustandes (zweidimensionale Analyse)
- Die Norm DIN EN 61300-3-35 gibt Hinweise zur visuellen und automatisierten Inspektion von Steckerstirnflächen. Die dort formulierten Kriterien sind die Grundlage einer automatischen Fehleranalyse.
- Die Videoaufnahme der Steckerstirnfläche wird auf dem Laptop oder PC mit einer geeigneten Software analysiert.
- Die Steckerstirnfläche wird in mehrere Zonen aufgeteilt, die unterschiedlich empfindlich auf Verschmutzungen reagieren: Kern (Durchmesser: 0 µm...25 µm), Mantel (Durchmesser: 25 µm...120 µm), Ferrule (Durchmesser: 130 µm...250 µm).
- Die Verschmutzungen und Kratzer werden in den einzelnen Zonen analysiert.

Bild 4.24: Drei- bzw. zweidimensionale Darstellung und Analyse der Steckerstirnfläche (Quelle: FICONET)

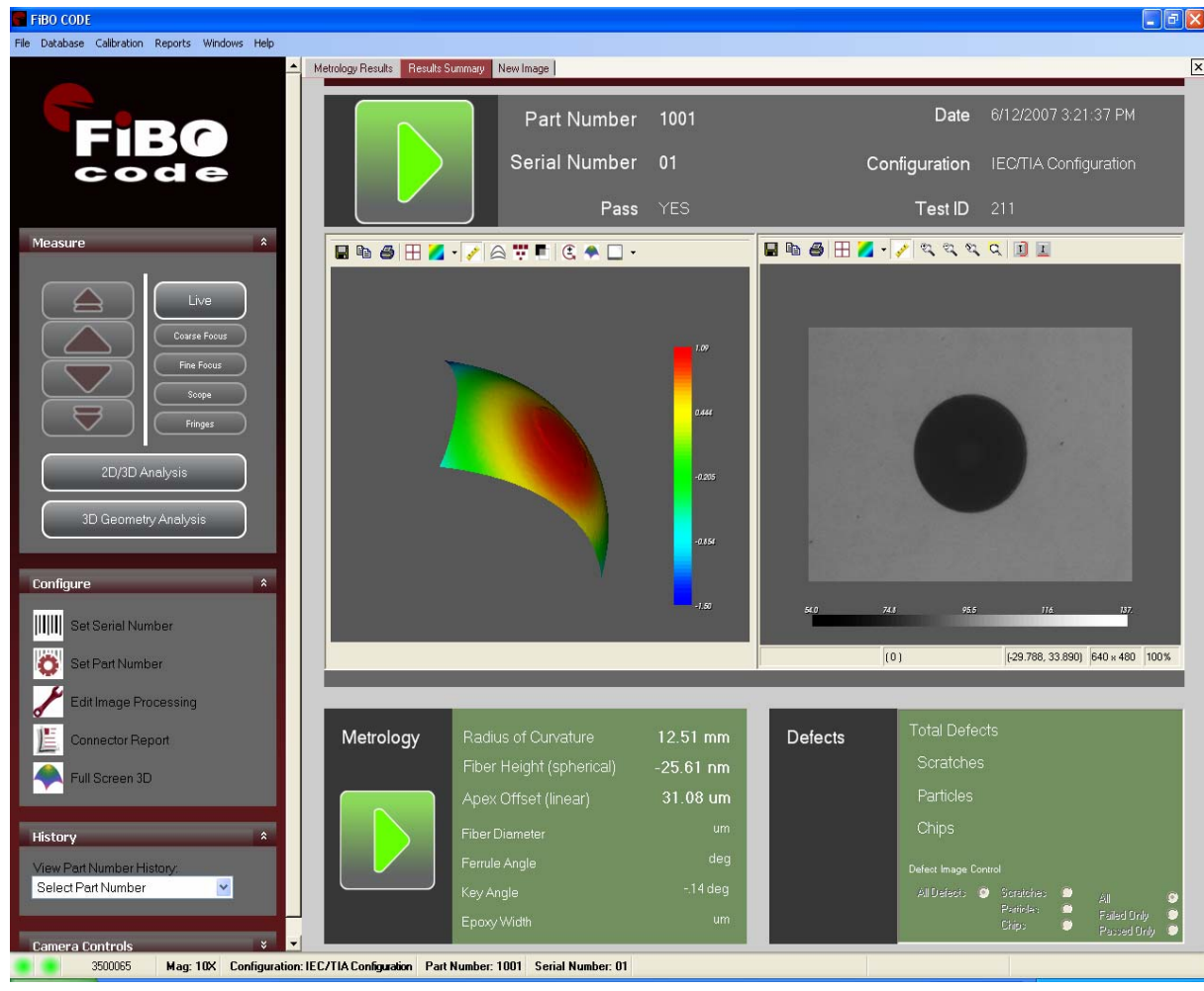


Bild 4.25: Michelsson-Interferometer FIBO von FICONET

- robust, kompaktes Design, transportabel
- keine zusätzliche Stromversorgung erforderlich
- berührungslose Messung
- geeignet für PC- und APC-Oberflächen
- geeignet für 2,5 mm- und 1,25 mm-Ferrulen sowie verschiedene Steckertypen
- Software inklusive
- Vergrößerung: 3,4x; 10x; 20x (FIBO300)
- laterale Auflösung in $\mu\text{m}/\text{px}$: 1,65; 0,56; 0,28 (FIBO 300)