Zeitschrift: Comtec : Informations- und Telekommunikationstechnologie = information and telecommunication technology

Herausgeber: Swisscom

Band: 75 (1997)

Heft: 3

Artikel: Funktion und Zuverlässigkeit als wichtige Kriterien

Autor: Reber, Fritz / Jermini, Mauro

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-876920

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

OPTISCHE STECKVERBINDER

FUNKTION UND ZUVERLÄSSIGKEIT ALS WICHTIGE KRITERIEN

Seit Ende der siebziger Jahre werden optische Steckverbinder entwickelt, hergestellt und angewendet. Der Beitrag zeigt die aktuelle Technik für die Anwendung im Bereich der Telecom PTT. Beim Aufbau eines Steckverbindersatzes gibt es eine ganze Reihe von Problemen, die gelöst werden müssen. Diese Teilprobleme lassen sich gut einzeln betrachten und analysieren. Für die Telecom PTT war dies ein Instrument zum Entscheid für die jetzt neu eingeführte Steckverbindergeneration.

FRITZ REBER UND MAURO JERMINI, BERN

Der optische Kontakt

Der plane, rechtwinklige Übergang mit Luftspalt

Als Ausgangspunkt betrachten wir einen planen, rechtwinkligen Übergang mit Luftspalt (Bild 1). Es handelt sich um einen Glas-Luft-Glas-Übergang mit folgenden Nachteilen:

- Durch die numerische Apertur (Öffnungswinkel beim Austritt des Lichtstrahls aus dem Glas an die Luft) geht beim Wiedereintritt in das Glas am Rande Licht verloren. Dies entspricht einer Vergrösserung der Einfügungsdämpfung.
- Zusätzlich sind zwei optische Grenzflächen vorhanden, die das Licht teilweise reflektieren. Bereits der erste Glas-Luft-Übergang verursacht eine Rückflussdämpfung von rund 14,6 dB.

OPTISCHE KONTAKTE

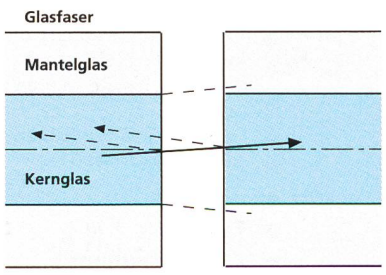

Bild 1. Der plane, rechtwinklige Übergang mit Luftspalt.

Der plane, rechtwinklige Übergang mit Anpassung des Brechungsindexes

Eine Verbesserung ist dann zu erwarten, wenn die Luft durch ein Medium ersetzt werden kann, welches transparent ist und einen gleichen Brechungsindex aufweist wie das Kernglas der Faser. Im Spalt muss man allerdings auf die Strahlführung, die in der Faser zwischen Kern- und Mantelglas (durch die Brechungsindexdifferenz) erreicht wird, verzichten. Da der Spalt jedoch sehr klein ist, fällt dieser Mangel kaum ins Gewicht. Als Medium wird normalerweise ein Öl verwendet, weil damit auch mechanische Toleranzen aufgefangen werden können (Bild 2). Zu beachten sind dabei:

- Öl mit geringer Oberflächenspannung oder hoher Viskosität kann sich aus dem Spalt entfernen. Heute werden zum Teil auch Gels eingesetzt.
- Im Temperaturbereich der Anwendung dürfen sich die Viskosität und der Brechungsindex nur wenig verändern.
- Es wird eine sehr gute Alterungsstabilität verlangt (Transparenz, Brechungsindex, Viskosität, Verdunstung, bakterieller oder mikrober Angriff usw.).
- Die Applikation des Öls muss mit sehr sauberen Werkzeugen erfolgen. Dabei darf die optische Stirnfläche nicht beschädigt werden.
- Staubpartikel bleiben an feuchten oder nassen Partien kleben.

Aus betrieblichen Gründen wird diese Lösung nur noch in Ausnahmefällen angewendet.

Der gerade, physikalische Glaskontakt (PC: Physical Contact)

Der physikalische Kontakt wurde als wesentliche Neuerung betrachtet. An den beiden Endflächen wird je eine kugelige, konkave Fläche mit dem Radius R poliert. Im Inneren des Steck-

verbinders werden diese Endflächen mit einer definierten Kraft (etwa 10 N) axial gegeneinandergedrückt. (Bild 3). Diese Kraft bewirkt im Kernbereich der Faser eine Abplattung der Stirnfläche, die dadurch zustande kommt, dass jeder Körper – so auch Glas – elastisch ist. Die Luft wird dabei verdrängt, vorausgesetzt die Endflächen sind absolut sauber. Die im Zusammenhang mit dem Glaskontakt stehenden Dimensionen sind eine kleine Betrachtung wert. Nehmen wir einen Krümmungsradius von R = 15 mm und einen abgeplatteten Durchmesser von d = 12 µm an. Damit wird der Kerndurchmesser von 9,3 µm sicher abgedeckt. Die Berechnung zeigt, dass die Einfederung der Stirnfläche pro Seite 0,0012 µm erreicht, während sich eine Fläche von 0,000113 mm² einstellt. Betrachtet man die äusserst kleinen Abmessungen, wird man zum Schluss kommen, dass das Reinigen von Steckverbindern vor dem Einsatz immer noch zeitgemäss ist!
Durch die Hertzsche Pressung und die elastische Verformung des Kernglases verändert sich leider auch der Brechungsindex in dieser Zone leicht. Verbunden damit ist natürlich ein Abfall der Rückflussdämpfung auf endliche Werte (typisch 35 dB). Es muss also ein Kompromiss zwischen dem Krümmungsradius und der Anpresskraft einerseits sowie der Einfügungs- und Rückflussdämpfung anderseits gefunden werden.

Der plane, schiefwinklige Glaskontakt mit Luftspalt oder Indexanpassung

Die Steckerentwicklung konzentrierte sich vorerst darauf, möglichst kleine, reproduzierbare Einfügungsdämpfungen zu erzielen. Mit der analogen Übertragung von Fernseh- und Videosignalen kam die zusätzliche Forderung nach möglichst kleinen Reflexionen. Im Hinblick auf hohe Bitraten wird das Thema auch aktuell. Der Begriff HRL für **H**igh-**R**eturn **L**oss wurde eingeführt. Die hohe Rückflussdämpfung wird dadurch erreicht, dass die Endflächen schiefgestellt werden. Dadurch bleiben die Reflexionen nicht mehr im Kernglas, sondern treten in das Mantelglas aus. (Der Winkel muss also grösser sein als die numerische Apertur der Faser.) Der Lichtverlust durch die Reflexion ist noch vorhanden, die Reflexionen sind aber weitgehend aus dem Wellenleiter ausgekoppelt. Mit einem Glas-Luft-Glas-Übergang nach 1.1 kommt durch die Schrägstellung der optischen Grenzfläche noch ein gravierender Nachteil hinzu: Diese Schrägstellung verursacht eine Beugung des Strahls. Es entsteht zwischen den beiden Fasern ein Strahlversatz, so dass auch die beiden Faserenden gegeneinander versetzt werden müssen (Bild 4). Wie man feststellen kann, verhält sich die Spaltbreite s proportional zum Strahlversatz e. In der Praxis erweist es sich als äusserst schwierig, den Luftspalt konstant zu halten. Das wiederum bedeutet, dass der Strahlversatz und damit auch die Einfügungsdämpfung schwankt.
Wird der Luftspalt mit einem Indexöl gefüllt, kann die Beugung vermieden werden. Damit handelt man sich aber eine «nasse» Steckverbindung ein (Bild 5).

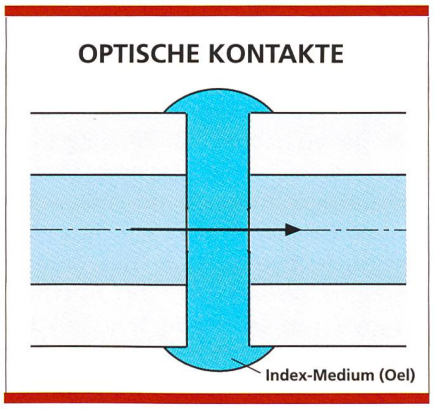

Bild 2. Der plane, rechtwinklige Übergang mit Anpassung des Brechungsindexes.

Der schiefwinklige, physikalische Glaskontakt (APC: **A**ngle **P**olished **C**onnector)

Auch der physikalische Glaskontakt lässt sich schrägstellen. Die Mittelpunkte der Krümmungsradien werden aus der optischen Achse der Faser weggedreht. Die Verbindungslinien der Kreiszentren müssen die optische Achse genau auf der Ebene des optischen Kontakts schneiden. Da die Tangente immer rechtwinklig zur Verbindungslinie der beiden Kreiszentren liegt, ist auch die optische Kontaktstelle schräggestellt (Bild 6). Heute hat sich ein Winkel von 8° durchgesetzt. Dieser Winkel wurde aufgrund einer Reihenuntersuchung bereits 1992 von der Telecom PTT vorgeschlagen. Nachteilig wirkt sich die schiefe Fläche auf die notwendige Kontaktkraft P aus. Diese Kraft muss in die Presskraft P_p und in die Tangentialkraft P_t zerlegt werden.

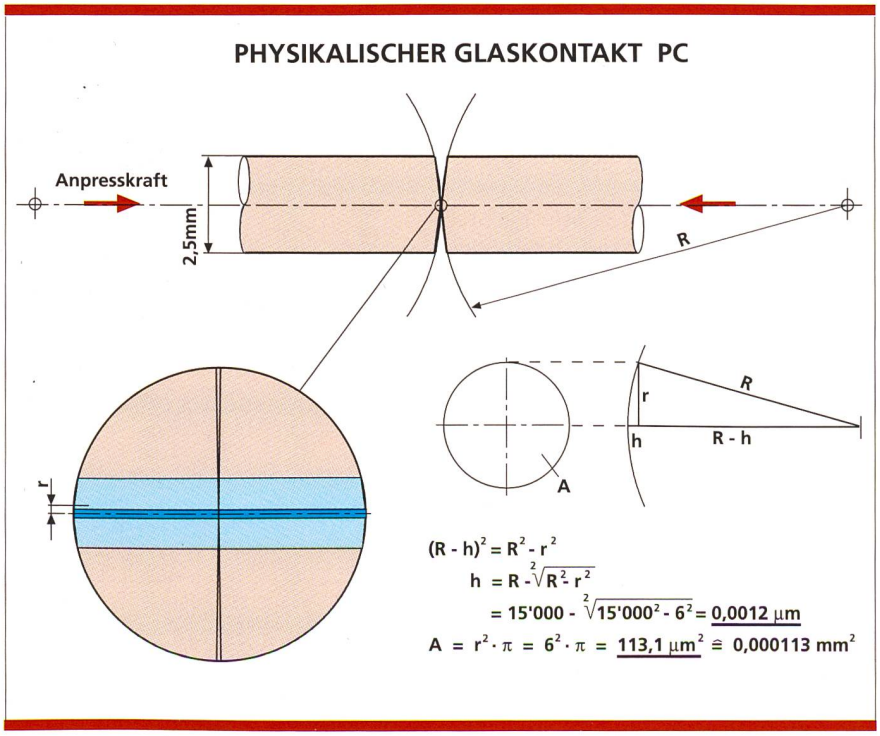

Bild 3. Der gerade, physikalische Glaskontakt.

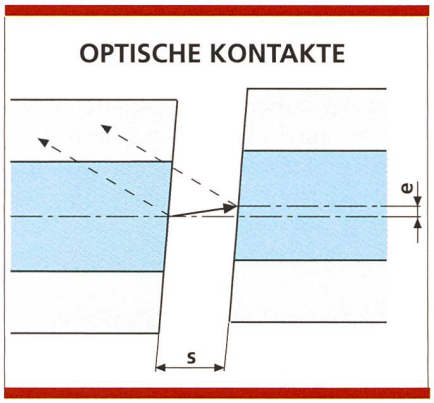

Bild 4. Der plane, schiefwinklige Glaskontakt mit Luftspalt.

Wie in [1] beschrieben wird, sind durch die Tangentialkraft stabilere Zentrierelemente notwendig, damit sich die Faserstirnflächen nicht radial verschieben. Bei gerade polierten Verbindern wird die Rückflussdämpfung nur in gestecktem Zustand gemessen. Anders liegt der Fall bei schiefwinklig polierten Kontakten. Hier müssen verschiedene Messbedingungen unterschieden werden: die Rückflussdämpfung bei

- geschlossenem Steckverbindersatz
- offenem Stecker gegen Luft
- offenem Stecker mit aufgesetztem Staubschutzdeckel
- Stecker auf der einen Seite der Kupplung eingesteckt, auf der anderen Seite mit Staubschutzkappe verschlossen.

Perfekte Polituren (HPC: High Polished Connector)

Seit geraumer Zeit werden die Schleif- und Polierprozesse der Stirnflächen verbessert. Nicht nur die Grösse der Schleifkörper hat Einfluss auf die optische Fläche, sondern auch deren Form. Selbst das verwendete Schmiermittel hat Einfluss auf die Oberflächenqualität. Es gibt Hersteller, die PC-Stecker anbieten, welche durch kontrollierte Polierprozesse eine Rückflussdämpfung von bis gegen 50 dB erreichen. Die Experten streiten sich aber noch über die Ursache derart guter Resultate. Die einen führen sie auf die perfekte optische Oberfläche zurück, während die anderen glauben [6], dass der Polierprozess das Glas bis in eine Tiefe von etwa 0,002 µm verändere und eine dünne Schicht mit geeignetem Brechungsindex entstehe.

Faserzentriersysteme

Die beiden Faserendflächen eines Singlemode-Steckverbinders müssen sehr genau gegeneinander ausgerichtet sein, weil der Modenfelddurchmesser nur rund 10 µm misst. Ein Tausendstelmillimeter Achsversatz entspricht bereits 10 % des Modenfelddurchmessers und führt zu erheblichen Verlusten. Bei der Konstruktion eines Steckverbinders werden deshalb hohe Genauigkeitsforderungen gestellt. Einen guten Steckeraufbau erkennt man unter anderem daran, dass die Präzision nur auf wenige Teile und Masse beschränkt ist (Bild 7).

Prismatische Vertiefungen für Fasern (v-groove)

Beide Faserenden werden in einer prismatischen Nut zentriert. Das System führt also zu einer Mantelzentrierung. Dadurch sind kleine Fasertoleranzen eine wichtige Voraussetzung. Die Nut kann ein gespritztes Kunststoffteil, Glas, Silizium oder zusammengesetzt aus zwei kleinen, parallelliegenden Zylindern, sein. Mit einer kleinen Faserüberlänge kann sichergestellt werden, dass die beiden Endflächen aneinanderliegen. Die Kräfte reichen aber nicht aus, um einen PC-Kontakt realisieren zu können. Weil die abgemantelte Faser freiliegt, wird die Bearbeitung der Faserendfläche schwierig. Vorübergehendes Einbetten zum Schleifen und Polieren ist zu aufwendig. Es bleiben noch der Spiegelbruch mit einem guten Fasertrenngerät und die thermische Nachbearbeitung. In den meisten Fällen wird im Kontaktübergang mit einem Indexanpassungs-Gel gearbeitet (Bild 8).

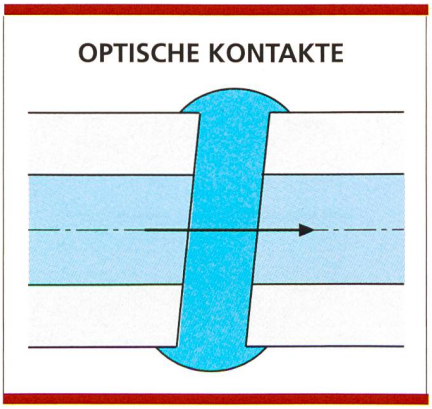

Bild 5. Der plane, schiefwinklige Glaskontakt mit Indexanpassung.

Durch Fassung zentrierte Fasern

Die Faserendfläche wird vorzugsweise in einer Bohrung der Steckverbindung gefasst und verklebt. So lässt sich die Faserstirnfläche gut schleifen und polieren. Der Klebstoff darf nicht zu stark auf die Faser drücken, muss aber hohe Scherkräfte über sehr lange Zeit aushalten können. Die hohen Anforderungen führen dazu, dass fast alle Steckerhersteller die gleichen Produkte einsetzen.

Kugel mit Innenkonus am Stecker

Eine Kugel bietet eine hohe Genauigkeit zu einem günstigen Preis. Ein Loch in diese Kugel zu bohren ist auch eine beherrschbare Technik. Sitzt die Kugel in der Kupplung, müssen jetzt die Steckerenden so ausgebildet sein, dass sie sich an der Kugel zentrieren (mit Innenkonus) und das Faserende bis in die Mitte der Kugelbohrung reicht. Solche Zentrierungen setzen einen Luftspalt an der Trennstelle voraus, damit keine mechanische Überbestimmung vorliegt (Bild 9). Ältere Steckertypen konnten zwischen Innenkonus und Faser justiert werden, womit eine Kernzentrierung möglich war. Neuere Generationen sind kleiner in den Abmessungen und präziser gefertigt. Mit den heutigen Fasern, die genauer gefertigt sind, wurde die Kernzentrierung aufgegeben. Auch den Nachteil eines nassen Steckverbinders versuchte man zu umgehen: In der Mitte des Lochs der Kugel wird eine transparente, weiche Kunststoffmembrane mit angepasstem Brechungsindex eingebracht. Damit wird die mechanische Überbestimmung vermieden, und beim optischen Kontakt bleibt trotzdem die Luft weg. Membrane und Endflächen lassen sich auch schrägstellen (APC). Toleranzen, Membrandicke und Reinigung des Steckverbindersatzes müssen gut beherrscht werden.

Aussenkonus am Steckerstift

Darunter sind bikonische Steckverbinder zu verstehen. Sie sind im weitesten Sinne eine Umkehrung der Zentrier-

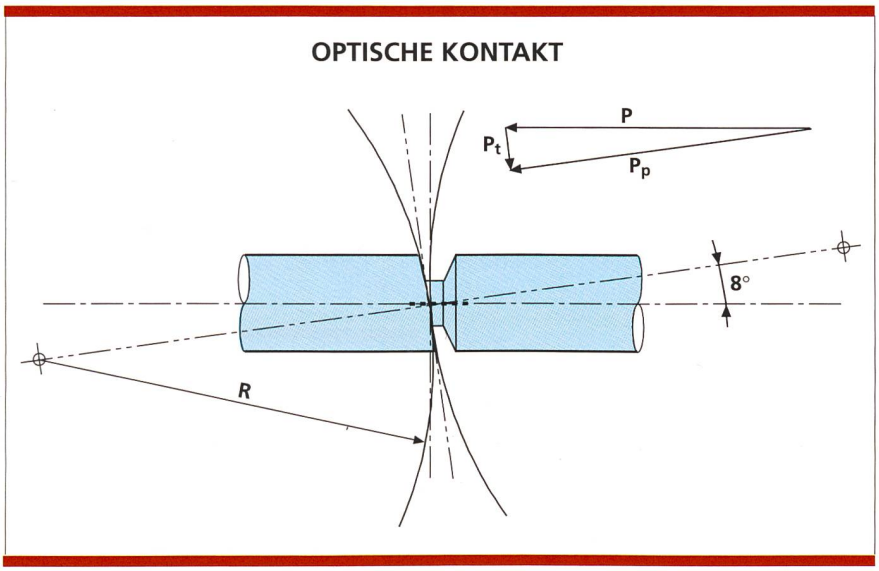

Bild 6. Der schiefwinklige, physikalische Glaskontakt.

technik. Durch den Konus wird das Faserende sowohl axial als auch radial ausgerichtet. Folglich muss auch hier mit einem Luftspalt gearbeitet werden, wenn es nicht zu einer mechanischen Überbestimmung führen soll (Bild 10).

Zylinderstift und Hülse (Ferrule und Sleeve)

Anfänglich wurden zylindrische Stifte (Ferrulen) aus rostfreiem Stahl oder Hartmetall mit Einsätzen aus Glas, Alumina, Neusilber, Rubin usw. verwendet. Mittlerweile hat sich Zirkonia (keramischer Werkstoff) etabliert. Die Herstellung der Monoblock-Ferrulen liegt weltweit in den Händen von etwa fünf Firmen. Nur eine Firma beschreitet einen eigenen Weg: Sie fertigt die Ferrulen in mehreren Teilen aus unterschiedlichen Werkstoffen und montiert sie am Schluss zusammen. So können die Materialeigenschaften besser den Funktionen angepasst werden. Die Kernzentrierung durch die Prägetechnik wird dadurch erst möglich. Kunststoff-Ferrulen mit hohem Glasgehalt haben sich in der Singlemode-Technik noch nicht durchgesetzt. Der Aussendurchmesser der Ferrulen hat sich auf einheitlich 2,5 mm eingespielt. Solche Ferrulen werden über eine Zentrierhülse (Sleeve) zentriert. Um die notwendige Genauigkeit zu erreichen, muss zwischen dem Aussendurchmesser der Ferrule und dem Innendurchmesser der Hülse eine sehr enge Passung erzielt werden. Mit der Idee, die Hülsen längs zu schlitzen, konnte die Toleranz der Hülsenbohrung vergrössert werden (Bild 11). Der Sleeve darf aber nicht zuviel Übermass aufweisen, weil sonst die maximale Steckkraft überschritten würde. Durch den Reibungsverlust könnte die Kraft für den physikalischen Kontakt vermindert werden oder verlorengehen. Heute werden die Sleeves aus Zirkonia hergestellt, bei billigeren Kupplungen sind auch Sleeves aus Beryllium- oder Zinnbronze gebräuchlich.

Toleranzen, welche auf das Zentriersystem wirken

Betrachten wir durch eine Fassung zentrierte Steckverbinder, so muss mit folgenden Einflussgrössen auf die Toleranz gerechnet werden:

Fasertoleranzen

Die Fasern besitzen folgende mechanische Definitionen:
- Durchmesser des Mantelglases $125^{\pm 2}$ 3 µm
- Formfehler des Manteldurchmessers
- Exzentrizität zwischen Aussendurchmesser der Faser und dem Modenfelddurchmesser max. 1 µm, Mittelwert besser als 0,5 µm

Eine verbesserte Technologie bei der Faserherstellung macht heute ganz wesentlich bessere, das heisst engere Toleranzen möglich. Durch den Preis- und Konkurrenzdruck ist aber die Her-

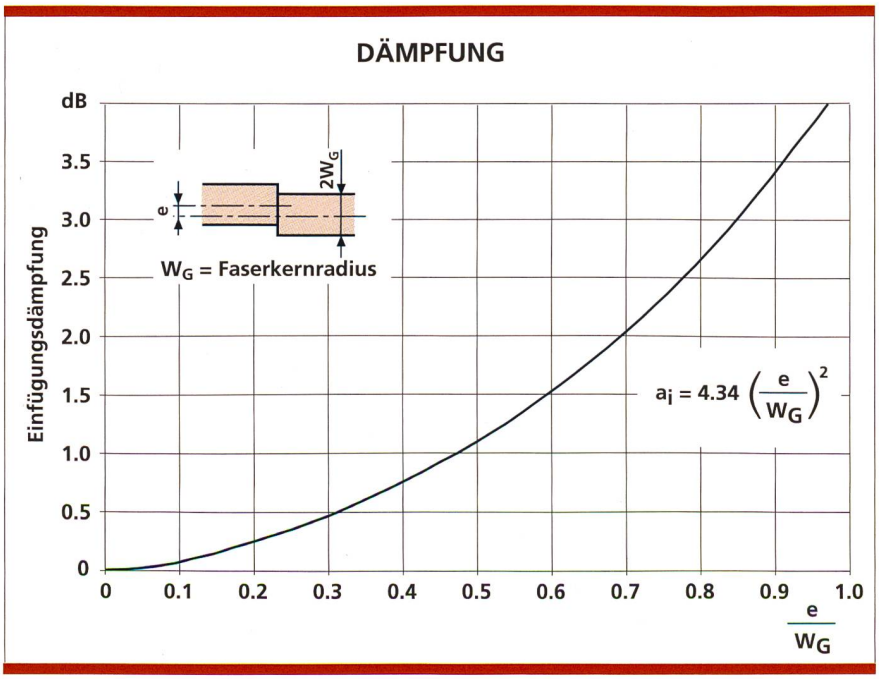

Bild 7. Dämpfung zwischen zwei Einmoden-LWL in Abhängigkeit des normierten Versatzes e/W_G.

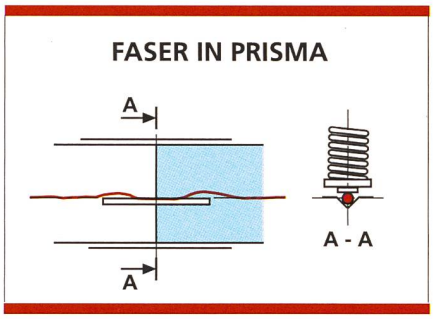

Bild 8. Faserzentriersystem: prismatische Vertiefung für Fasern.

stellgeschwindigkeit in Metern pro M – also der Preis – weit wichtiger als enge mechanische Toleranzen.

Toleranzen an der Faserfassung

Der Einfachheit halber machen wir auch hier die Überlegungen an einem Zylinderstift (Bild 12):
- Aussendurchmesser des Stiftes
- Formfehler des Stiftes
- Exzentrizität zwischen dem Aussendurchmesser und der Bohrung
- Achsparallelität zwischen dem Aussendurchmesser und der Bohrung

Passungsspiel

Selbst ein enger Schiebesitz verlangt ein minimales Passungsspiel zwischen Innen- und Aussenteil. Das verhält sich zwischen der Faser und der Bohrung einer Fassung genau so: Ohne Spiel kann die Faser nicht in die Bohrung geschoben werden, und der Klebstoff hätte auch nicht Platz. Innerhalb des Spiels kann sich eine weitere Exzentrizität einstellen.

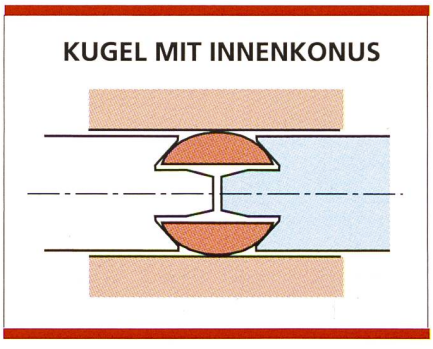

Bild 9. Faserzentriersystem: Kugel mit Innenkonus.

Formfehler der Stifte können mit Formfehlern bei den Zentrierhülsen extreme Lagen gegeneinander bewirken.
Schliesslich stellt sich die Frage, wie sich die Zentrierhülse verhält, wenn auf der einen Seite ein Stift mit dem Kleinstmass, auf der anderen Seite aber ein solcher mit dem Grösstmass eingeschoben und zentriert werden soll.

Minimierungsmethoden der Toleranzen

Die Liste der Fabrikationstoleranzen ist derart lang, dass es fast aussichtslos erscheint, in einem Steckverbindersatz den Zentrierfehler Faserkern/Faserkern unterhalb die 1-µm-Grenze zu bringen. Eine Auswahl von Möglichkeiten und Methoden, die auch miteinander kombiniert werden können, ist nachfolgend aufgezählt:

Eng tolerierte Bauteile

Beschaffen von Fasern, Ferrulen und Sleeves mit extrem engen Toleranzen.

Paarung geeigneter Bauteile

Jedem vorhandenen Faserende entspricht ein individueller Manteldurchmesser. Nun muss zu jedem Faserende eine Ferrule mit möglichst engem Lochdurchmesser zugeordnet/ausgesucht werden.

Definierte Ablage der Restexzentrizität

Die ersten optischen Steckverbinder hatten keinen Verdrehschutz. Durch die Fabrikationstoleranzen ist aber immer mit einer kleinen Restexzentrizität zwischen dem Zylinderstift und dem Wellenleiter der Faser zu rechnen. Werden die beiden Steckerstifte einer Verbindung gegeneinander verdreht, schwankt die Einfügungsdämpfung sinusförmig zwischen der Differenz und der Summe der beiden Exzentrizitäten. Mit dem Einbau eines Verdrehschutzes im Steckerkörper kann ein Bezugspunkt zur Ablage der Restexzentrizität definiert werden. Bild 13 zeigt den Sektor, in welchem die Exzentrizität als Vektor bezüglich der Nocke liegen muss. Wird die maximale Exzentrizität am Steckerstift definiert, kann durch die beschriebene Methode der maximale Wellenleiterversatz zwischen beiden Steckerstiften einer Verbindung halbiert werden. In der Praxis muss also am Ende der Steckermontage die Exzentrizität nach Betrag und Richtung gemessen, der Nocken zum Stift justiert und fixiert werden.

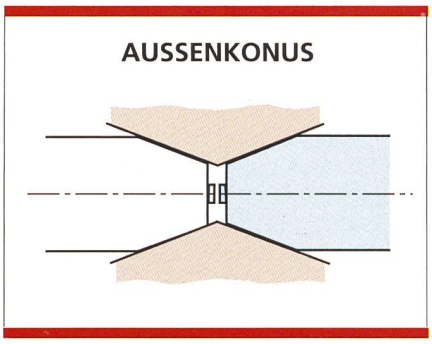

Bild 10. Faserzentriersystem: Aussenkonus.

System FUMA (FUsions-MAnipulations-Gerät)

Das Verfahren lässt sich wie folgt beschreiben (Bild 14):
- Die Ferrule wird mit Klebstoff versorgt und die Faser möglichst tief eingeschoben.
- In einem Lichtbogen wird das herausragende Faserende zu einer kugeligen Verdickung geschmolzen.
- Die Faser wird mit definierter Kraft zurückgezogen. Die Verdickung verklemmt und zentriert sich am Loch der Ferrule. In dieser Lage wird der Klebstoff ausgehärtet.
- Es schliesst sich der normale Polierprozess an.

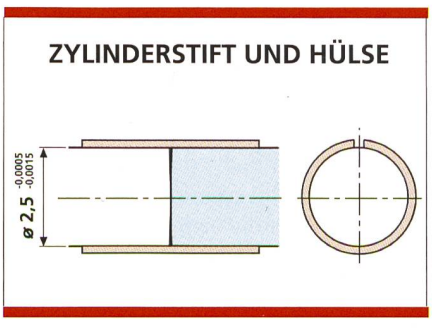

Bild 11. Faserzentriersystem: Zylinderstift und -hülse.

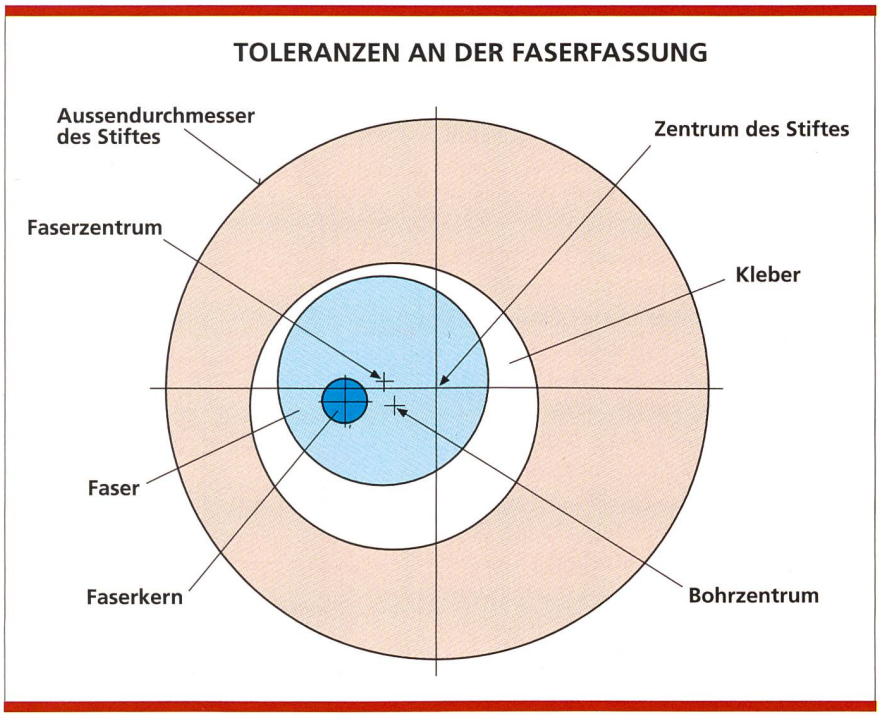

Bild 12. Toleranzen an der Faserfassung.

Kernzentrierung durch Prägetechnik

Für Singlemode-Ferrulen besteht das Verfahren aus zwei Prägeschritten. Die Ferrule muss im Bereich der Bohrung für die Faser aus einem duktilen (leicht plastisch verformbaren) Metall sein. Die Schritte sind in Bild 15 skizziert:

- In die Bohrung der Ferrule wird Kleber eingebracht und die Faser eingeführt.
- Noch im nicht ausgehärteten Zustand des Klebers wird mit einem Stempel, der eine kreisringförmige Schneide aufweist, eine Prägerille in die Stirnseite gepresst. Dadurch verengt sich das Ende der Bohrung derart, dass die Faser spielfrei bzw. formschlüssig gehalten wird.
- Nach dem Aushärten des Klebstoffs und dem ersten Polierschritt folgt eine Nachprägung. Durch Beleuchten des Faserkerns und Drehen der Ferrule in einem Prisma werden die Richtung und der Betrag der Exzentrizität bestimmt. Der zweite Prägestempel besteht aus einem kreisringförmigen Segment von 120°. Stimmen bei der zweiten Prägung Druck und Richtung des Segments, kann der Lochaustritt mit der Faser so verschoben werden, dass das Zentrum des Faserkerns mit dem Aussendurchmesser der Ferrule übereinstimmt.

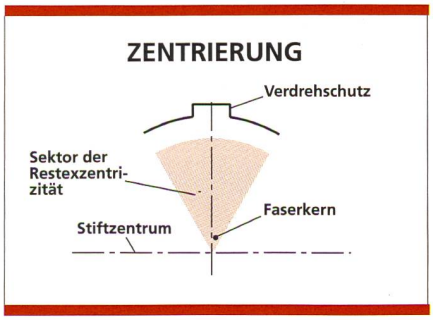

Bild 13. Verbesserung der Zentrierung.

Verdrehschutz

Die Gründe für den Verdrehschutz sind:

- Schutz des physikalischen Kontakts
- Ablage der Restexzentrizität
- Für schräg polierte Steckverbindungen wird eine präzise Orientierung der Stirnfläche unumgänglich.

An der fertig polierten Endfläche eines Steckers schliessen sich die beiden letzten Punkte gegenseitig aus. Konstruktiv lässt sich der Verdrehschutz auf ganz unterschiedliche Weise realisieren (Bild 16).

Zugabfang, Lagerung der Ferrule

Der Zugabfang von Einfaserkabeln an den Steckverbindern kann auf zwei verschiedene Arten erfolgen. Aussen am Stecker ist der Unterschied kaum sichtbar. Trotzdem ist dieser sehr wesentlich! Das Problem steht im Zusammenhang mit dem physikalischen Kontakt. Der Kontaktdruck wird von einer Feder erzeugt. Der Stift federt beim Stecken rund 0,1 mm ein, wodurch die Längstoleranz unkritisch wird.

Zugabfang an der Ferrule

Das Aramid und der Kabelmantel werden zur Zugentlastung am Ende der Ferrule fixiert (Bild 17a). In kontaktiertem Zustand übt die Feder eine definierte Kraft auf die Ferrule aus. Wirkt jetzt von aussen über das Kabel eine Zugkraft, die grösser ist als die Federkraft, wird die Ferrule nach hinten gezogen. Dies bedeutet, dass der optische Kontakt unterbrochen ist.

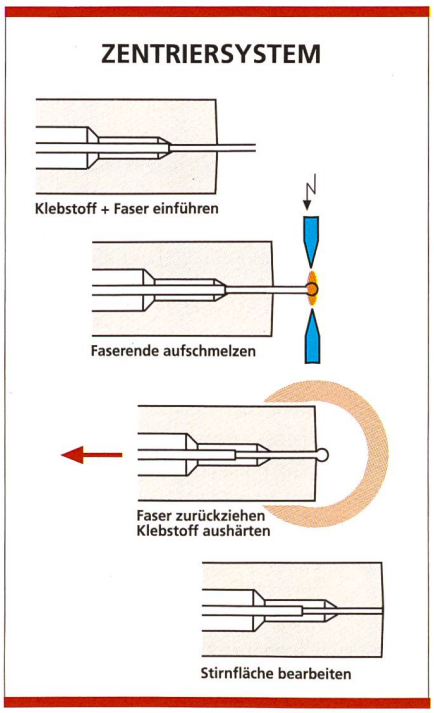

Bild 14. Zentriersystem FUMA.

Zugabfang über den Gehäuseverschluss

Bei diesem Aufbau wirkt eine Zugkraft am Kabel auf das Steckergehäuse und

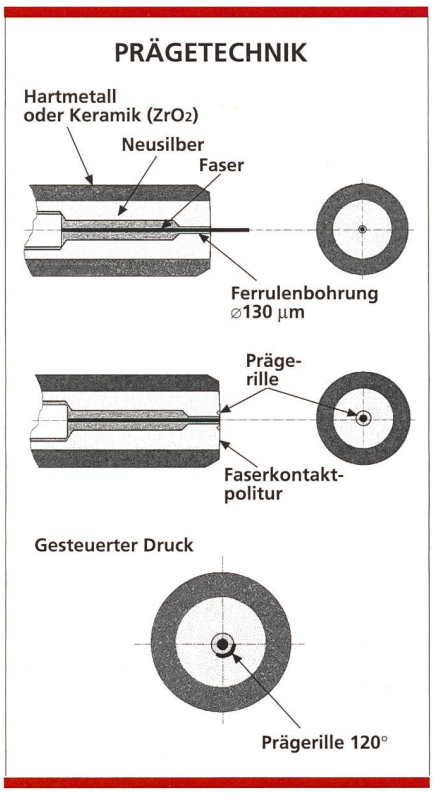

Bild 15. Zentrierung durch Prägetechnik.

von dort auf die Kupplung und die Frontplatte (Bild 17b). Die Ferrule ist von diesem Kraftfluss nicht betroffen.

Verschlusssystem des Gehäuses

Eine Eigenart optischer Steckverbinder liegt darin, dass ein Steckverbindersatz in den allermeisten Fällen aus zwei identischen Steckverbindern besteht, die mit Hilfe einer Kupplung miteinander verbunden werden. Am Anfang der Entwicklung optischer Steckverbinder wurden Gehäuse aus der Hochfrequenztechnik (Koaxialsteckverbinder) wie BNC, Mini-BNC, SMA usw. eingesetzt. Heute sind die Bedürfnisse der Anwender besser bekannt, was zu einer eigenständigen Entwicklung führt. Bei den Gehäuseverschlusssystemen können drei Hauptrichtungen unterschieden werden.

Schraubverschluss

Meistens werden hier Feingewinde eingesetzt. Nachteilig an einem solchen Verschluss sind:

- Vibrationen können die Verbindung lösen.
- Die Betätigung zum Anziehen und Lösen braucht Platz für die Finger.
- Das Anziehen der Verbindung kann auch ein Drehen der Innenteile zur Folge haben (Spiel beim Verdrehschutz).
- Das Anzugsdrehmoment ist schlecht definierbar. Was heisst von Hand angezogen? Und wer braucht schon einen Drehmomentschlüssel? Erste DIN-Stecker besassen zwischen der Gewindehülse und dem Betätigungsrändel eine Rutschkupplung, weil mit dem Anzugsmoment auch gleich die Kraft des PC aufgebaut wurde (also ohne Feder). Da die Reibung sehr starker Streuung unterliegt, ist man wieder von solchen Lösungen abgekommen (Bild 18a).

Bajonettverschluss

Diese Lösung bedarf wohl keiner weiteren Erklärung (Bild 18b).

Schnappverschluss (Push-Pull)

Wird ein solcher Stecker in eine Kupplung eingeschoben, rastet er in der Endstellung ein. Entscheidend dabei ist, dass er sich in der Kupplung derart verriegelt, dass eine Zugkraft am Kabel die Verbindung nicht mehr trennen kann. Erst eine Betätigung (Zurückziehen einer Hülse oder Betätigen eines Hebels) darf den Stecker wieder freigeben (Bild 18c).

Codierung

Es kann der Wunsch sein, Sende- und Empfangsseite, Multimode- und Singlemode-Verbindungen, schräg po-

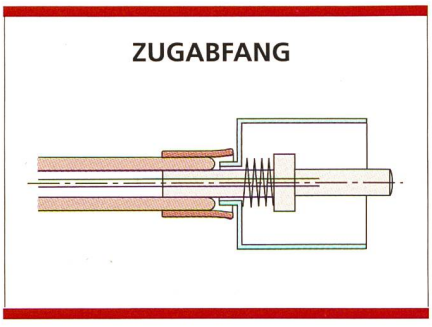

Bild 17a. Zugabfang an der Ferrule.

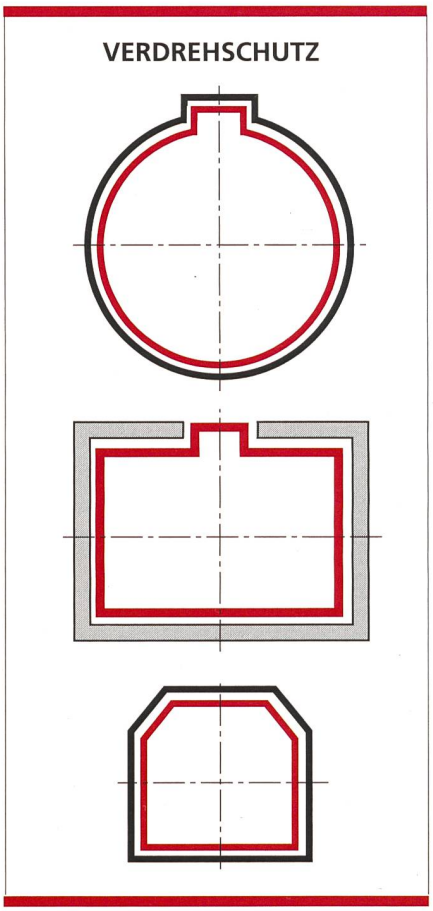

Bild 16. Verdrehschutz.

lierte Kontakte und verschiedenste Dienste von aussen sichtbar am Steckverbinder unterscheiden zu können. Eine Möglichkeit besteht in einer farblichen, also visuellen Codierung. Dagegen sprechen der herrschende «Farbensalat» bei Einfaserkabeln, Knickschutztüllen und Steckerkörpern. Die Farbcodierung allein ist eine Empfehlung, die falsches Stecken nicht verhindern kann. Erst eine mechanische Codierung zwingt zur Einhaltung von Regeln. Ein funktionell und technisch richtiger Aufbau wird dabei vorausgesetzt. Heute existiert ein erster Steckverbinder, der eine mechanische Codierung aufweist [5].

Normierung

In der rezessiven Phase der Wirtschaft ziehen sich die Anwender aus Zeit- und Geldmangel von den Normengremien zurück. Es verbleiben die Hersteller, die sich gegenseitig das Leben schwermachen. Der Zweck der Normierung wäre eine minimale Festlegung von Grössen dergestalt, dass eine

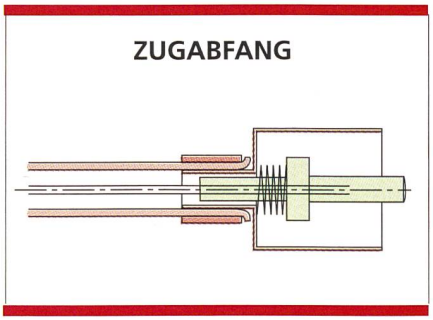

Bild 17b. Zugabfang über den Gehäuseverschluss.

Kompatibilität sichergestellt ist. Eine Baugleichheit wird und muss es nicht sein. In der Vergangenheit wurden aber für verschiedene Steckerfamilien nicht einmal die Passungstoleranzen im Kompatibilitätsbereich (Anschlussmasse) richtig normiert. Praktisch hat dies für den Anwender die Konsequenz, dass er von der Gesamtmenge aller Hersteller eines Produkts eine Teilmenge heraussuchen muss, die er für «echt kompatibel» hält. Daraus leitet sich auch die Pflicht und Aufgabe des Anwenders ab, selber Kreuzbarkeitstests durchzuführen und die Beschaffung für genau definierte Lieferanten freizugeben. Fazit: Eine Norm ist gut, viele Normen für denselben Gegenstand oder eine schwache Norm taugen nichts.

Messtechnik

Um alle die aufgeführten technischen Teilprobleme zu quantifizieren, braucht es eine zuverlässige und reproduzierbare Messtechnik. Besonders bei innovativen Komponenten fehlen am Anfang die Messeinrichtungen. Bei der Telecom PTT wurden für die optischen Steckverbinder folgende Messeinrichtungen (zum Teil auf der Welt einzigartig) entwickelt:

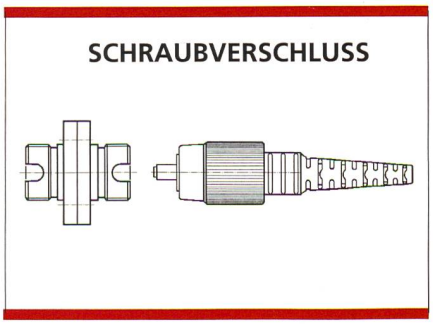

Bild 18a. Schraubverschluss.

- Messgerät RIL10 (Return & Insertion Loss Meter) zum gleichzeitigen Messen der Einfügungs- und Rückflussdämpfung [9] (Bild 19)
- Messgerät RIL 8, gleiche Messtechnik wie RIL10, jedoch mit acht Kanälen für gleichzeitige Dauermessungen (z. B. Temperaturzyklus) an mehreren Püflingen
- OLCR-Messplatz (Optical low coherence reflectometry) zum Bestimmen von Rückflussdämpfungen bis 140 dB [10]
- Laserscanmikrometer, um an montierten Steckverbindern die Durchmesser im 1/10-µm-Bereich auszumessen

Eine Vielzahl der Messplätze ist seit Mai 1995 akkreditiert.

Literaturverzeichnis

[1] F. Silvio Marazzi, Jacques Wartel: Opto Nr. 87 Connecteur optique à très faible écho parasite pour réseaux à large bande.

[2] Ralf Th. Kersten: Einführung in die optische Nachrichtentechnik. Springer-Verlag.

[3] Hans-Peter Hubmann: Lichtwellenleiterpraxis. Franzis Praxisbuch.

[4] Katalog Diamond (Einleitung).

[5] Diamond: Bezeichnung E-2000 bzw. nach CECC 86 275-80 ½ Typ LSH.

[6] William C. Young, Viren Shah: OFC96, Optical fiber connectors and splices.

[7] Wilhelm S. Ludolf: Toleranzforderungen bei optischen Steckverbindern. Feinwerk & Messtechnik 96 (1988) 6.

[8] Rostislav Novàk: Optische Stecker. Technische Mitteilungen PTT, 1982.

[9] Georg Bodmer, Rotislav Novàk: Simultane Messung von Einfügungs- und Rückflussdämpfung an optischen Steckern. Technische Mitteilungen PTT, Nr. 10, 1988.

[10] Christian Zimmer, George Bodmer, Bruno Bolz, Heinz Gilgen: Optisches Reflektometer OLCR Telecom PTT, F+E-Bericht Nr. FE 122.118 C.

[11] Aleksandar Opacic, Maro Jermini, Fritz Reber: Evaluation optischer Steckverbinder 3. Generation. Telecom PTT, F+E-Bericht.

[12] Bauartspezifikation für LWL-Steckverbindersätze Bauart FC/PC. Telecom PTT Nr. 840.58.01.

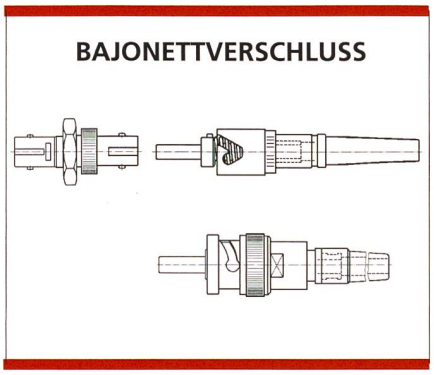

Bild 18b. Bajonettverschluss.

Zuverlässigkeit von Steckverbindern

Besonders bei passiven Komponenten sind die Zuverlässigkeit und die Lebensdauer wichtige Grössen. Bei der Telecom PTT wird pro Komponente seit Jahren mit ausgewählten Umweltsimulationen nach internationalen Normen über diese zwei Grössen eine Aussage erarbeitet. Bei Steckverbindern werden diese Tests nach Bauartspezifikationen (Grundlage ETSI-Normen) durchgeführt (Bild 20). Als Lebenserwartung für diese Teile gelten rund 20 Jahre.

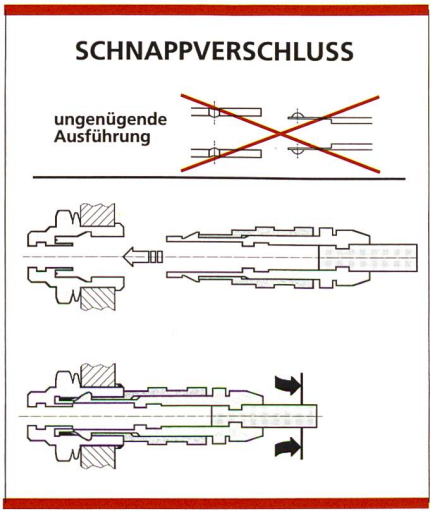

Bild 18c. Schnappverschluss (Push-Pull).

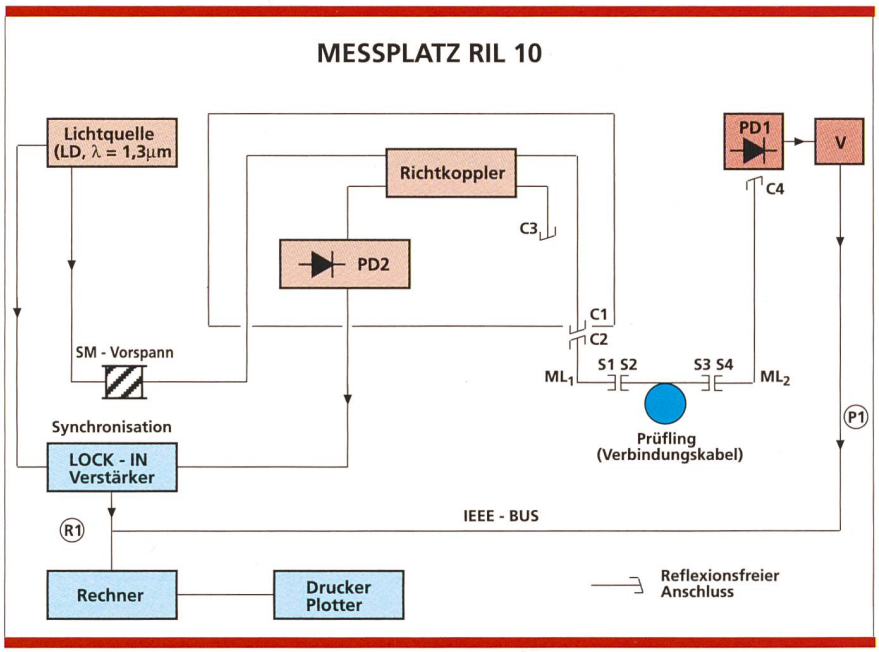

Bild 19. Messplatz zur simultanen Messung von Einfügungs- und Rückflussdämpfung RIL 10 (akkreditiert nach Prüfanweisung FE 11. 3. PA. 9).

Wirtschaftliche Aspekte

Neben den technischen Bedingungen spielt der Preis eines optischen Steckverbindersatzes ebenfalls eine wichtige Rolle. Der Preis ist mit anderen Faktoren gekoppelt:

- Produktionsmenge
- Anzahl Anbieter (als Zweitlieferanten)
- Akzeptanz bei mehreren grossen Anwendern
- verfügbare Norm als brauchbarer, verbreiteter Standard

Entscheid der Telecom PTT

Ausgehend vom Steckverbinder FC/PC, der nun seit ungefähr zehn Jahren erfolgreich bei der Telecom PTT eingesetzt wird, stellte sich die Frage eines Generationenwechsels. Für die Wahl eines neuen Steckertyps stand ein technologischer Schritt vorwärts, bei gleichzeitig günstigerem Preis, im Vordergrund. Im Bereich der Technologie konnte eine Tabelle erstellt werden, in welcher die behandelten Teillösungen in die Kolonnen und die Steckertypen in die Spalten eingetragen wurden. Dazu gab es auch einen Anforderungskatalog, der logischerweise über den Spezifikationen des FC/PC-Steckverbinders lag.

Unsere Erfahrung mit HPC-Steckverbindern zeigte, dass die Rückflussdämpfung nach ein paar wenigen Steckzykeln ganz drastisch sinkt. Deshalb setzten wir HPC-Steckverbinder nicht als Alternative zu APC-Versionen ein. In bezug auf die Rückflussdämpfung legten wir zwei Bereiche fest:

- > 35 dB für PC-Verbinder
- > 55 dB für APC-Verbinder

Diese Werte sind erreichbar, ohne die Technologie auf die Spitze treiben zu müssen. Werden die Gehäusetoleranzen in engen Grenzen beherrscht, ist der Arbeitsaufwand für PC- oder APC-Endflächen praktisch gleich. Damit werden sich langfristig auch die Preise angleichen.

Mit Wirkung ab 1. Juli 1996 ist bei der Telecom PTT der Entscheid gefallen, den Steckverbinder E-2000 generell einzuführen. Aus der Vielfalt möglicher Varianten wurden ausschliesslich die folgenden vier Typen definiert:

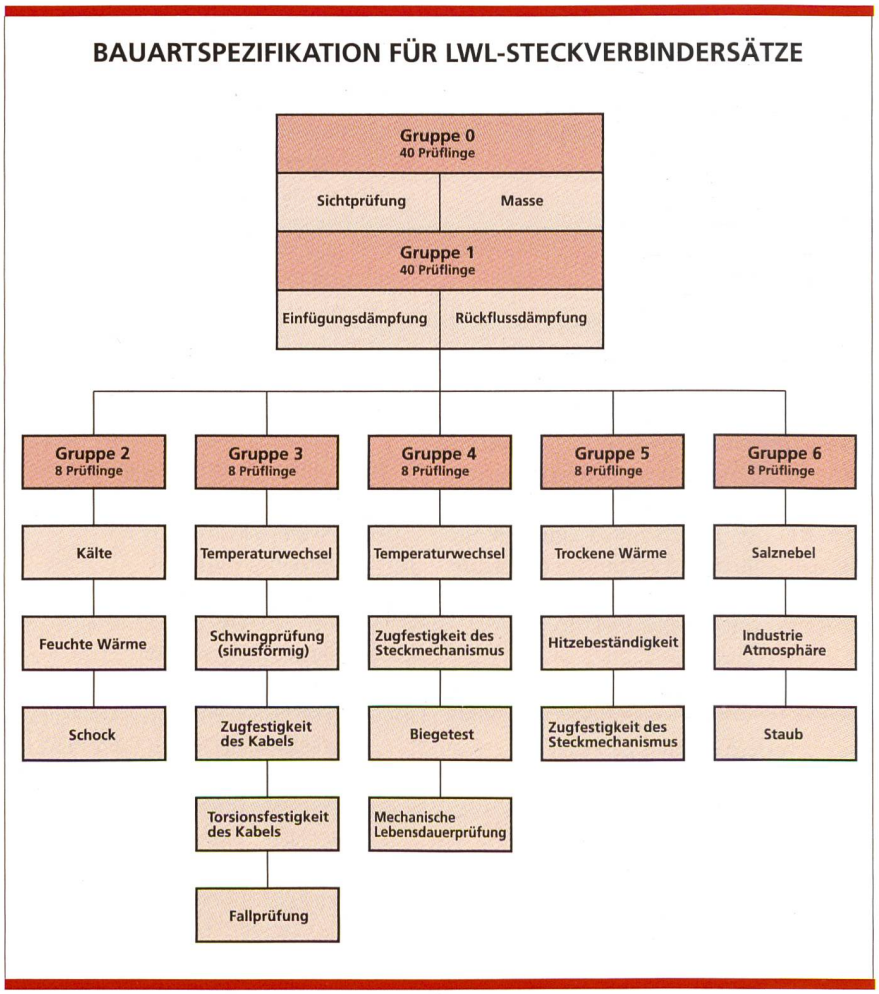

Bild 20. Bauartspezifikation für LWL-Steckverbindersätze. Prüfprogramm für die Prüfung bei fester Stichprobengrösse.

- digitale, interaktive Anwendungen, singlemode
  E2108.6-26/E2200.2-26
  APC, Grundkörper grün, Codierung weiss, mechanisch codiert
- analoge, distributive Anwendungen, singlemode
  E2108.6-25/E2200.2-25
  APC, Grundkörper grün, Codierung violett, mechanisch codiert
- Messkabel, singlemode
  E2108.6-22
  APC, Grundkörper grün, Hebel grün, neutral
- Multimodeanwendungen 50/125 µm
  E2116.6-34/E2200.2-34
  PC, Grundkörper schwarz, Kodierung orange, mechanisch codiert (Bild 21). 9.1

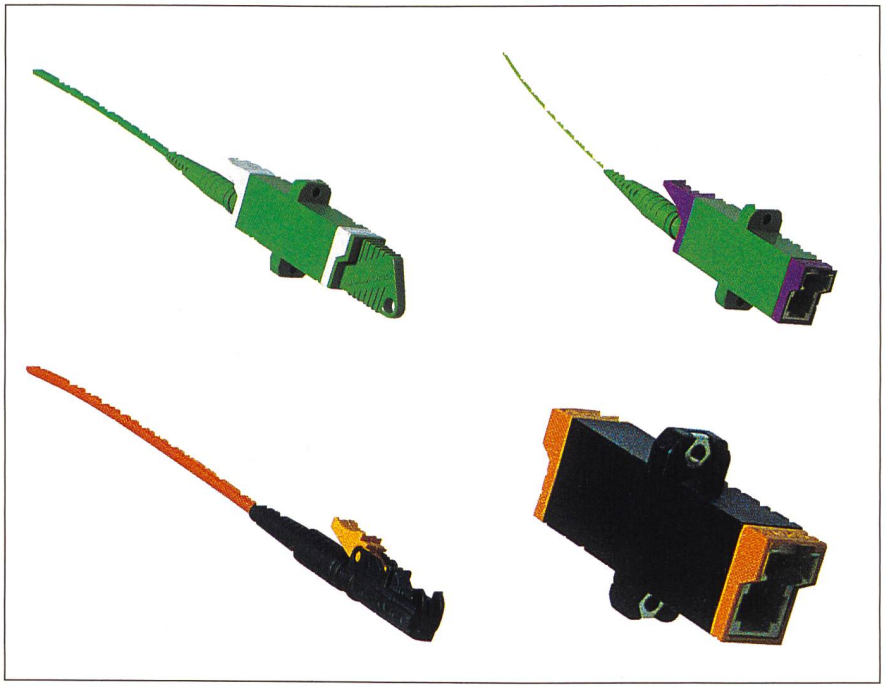

Bild 21. Eingeführte Varianten E-2000 bei der Telecom PTT.

Fritz Reber, 42, dipl. Ing. HTL STV, Richtung Maschinenbau. Seit 1991 bei der Telecom PTT, Direktion Netze, Sektion Kabel- und Messtechnik, beschäftigt sich mit passiven optischen Elementen und Augensicherheit. Dazu zählen optische Steckverbinder, Verbindungskabel, Koppler und der optische Verteiler OV92. Zum Tätigkeitsbereich gehören Produkteverantwortung, Sortimentspflege, Marktübersicht sowie Evaluation, Test und Einführung neuer Bauteile und Normen.

Mauro Jermini, 50, dipl. Ing. HTL, Richtung Maschinenbau. Seit 1988 bei der Telecom PTT, Direktion Forschung und Entwicklung, Sektion Technische Physik und EMV, beschäftigt sich mit Umweltsimulation (Klima, Schadstoffe, Vibration usw.) und optischer Messtechnik. Aus der breiten Tätigkeitspalette sind die Schwerpunkte passive optische Komponenten und lötfreie Verbindungen. Zum wichtigen Tätigkeitsbereich gehört ebenfalls das Durchführen von Typmusterprüfungen.

SUMMARY

Optical connectors

Optical connectors have been developed, manufactured and used since the end of the seventies. This report describes the latest technology in the field of Telecom PTT. The design of a connector set must solve a number of problems. Some of these can be readily viewed and analyzed individually. For Telecom PTT this was an instrument for deciding on the newly introduced connector generation. In view of the fact that the FC/PC connector has already been in successful use by Telecom PTT for about ten years, the question of a generation change arose. The decisive factors for choosing a new connector type were the technological advancements, combined with a lower price. The experience with the HPC connectors demonstrated that the return loss declined dramatically after only a few mating cycles. For this reason Telecom PTT does not use the HPC connector as an alternative to APC versions. Effective 1 July 1996, Telecom PTT decided on the universal introduction of the E-2000 connector.