

## White Paper



## Herstellerneutrale Güteklassen für Glasfaser-Steckverbinder

## Herstellerneutrale Güteklassen für Glasfaser-Steckverbinder

### INHALTSVERZEICHNIS

1. Einführung .....	3
2. Anforderungen an Glasfaser-Steckverbinder .....	4
2.1. Allgemeines .....	4
2.2. Gebräuchliche Steckverbindertypen .....	4
2.3. Rückflusdämpfung .....	7
2.4. Einfügedämpfung .....	8
2.5. Extrinsische Verluste .....	9
2.6. Berechnung der Dämpfung in Abhängigkeit von Konzentrität und Schielwinkel .....	10
2.7. Zusammenfassung: Verluste und Belastungen reduzieren .....	11
3. Normen und Güteklassen (Quality Grades) .....	12
3.1. Neuer Anforderungskatalog .....	12
3.2. Each-to-each Werte .....	13
3.3. Mean Werte .....	13
4. Herstellung .....	15
4.1. Verbinder .....	15
4.2. Konfektion .....	16
4.2.1. Justieren / Tunen .....	16
4.2.2. Interferometrie .....	17
4.2.3. Oberflächenprüfung .....	19
4.3. Dämpfungsprüfung IL .....	20
4.4. Rückflussprüfung RL .....	21
5. Konsequenzen aus der Anwendung der Güteklassen .....	22
5.1. Umsetzung bei R&M .....	22
5.2. Herstellerspezifikationen und reale Einsatzbedingungen .....	22
6. Häufig gestellte Fragen (FAQ) .....	24
7. Quellen und weitere Informationen .....	24

© Copyright 2009 Reichle & De-Massari AG (R&M). Alle Rechte vorbehalten.

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind, zu welchem Zweck und in welcher Form auch immer, ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch Reichle & De Massari AG nicht gestattet. In dieser Publikation enthaltene Informationen können ohne vorherige Ankündigung geändert werden. Die Erstellung dieses Dokuments erfolgte mit grösstmöglicher Sorgfalt, es enthält den zum Zeitpunkt der Erstellung aktuellen technischen Stand.

## Güteklassen für Glasfaser-Steckverbinder geben Anwendern mehr Sicherheit

Weltweit ist der Auf- und Ausbau von optischen Hochleistungsnetzwerken in vollem Gange. Damit steigt auch die Bedeutung von Steckverbindern als Schlüsselkomponenten der passiven Fiber-Optic-Infrastruktur. Durch den Einsatz qualitativ hochwertiger Steckverbinder in allen Bereichen vom WAN über Metropolitan Area und Campus Network bis hin zum Backbone und Teilnehmeranschluss lassen sich höchste Übertragungsraten und eine durchgängige Netzverfügbarkeit erzielen. In diesem Zusammenhang ist ein Grundwissen über die Güteklassen (Quality Grades) für Glasfaser-Steckverbinder für Planer und Installateure unverzichtbar. Dieses White Paper informiert über die aktuellen Normen und geht auf deren Relevanz für die Produktauswahl ein.

Anwendung:	Fiber Optic Cabling
Technologie:	Glasfaser-Steckverbinder
Format:	White Paper
Themen:	Grade / Klassen, IEC 61753, Dämpfung IL, Rückflussdämpfung RL, Qualitätssicherung, Justieren, Tunen, Messung best case / worst case, Each to each / random
Ziel:	Einführung der Grade's / Klassen nach IEC 61753, Vermittlung von Fachwissen über die Sicherung der Qualität von Glasfaser-Steckverbindungen
Zielgruppe:	Planer, Installateure, Netzwerk-Verantwortliche, Einkäufer, Anwender von LWL-Verkabelung
Autor:	Daniel Eigenmann
Erschienen:	August 2009

### 1. Einführung

Nachdem lange Zeit über das Für und Wider von optischen Netzwerken diskutiert wurde, ist nun auch in Europa das Glasfaserzeitalter angebrochen. Die treibenden Faktoren dieser Entwicklung sind die absehbaren Leistungsgrenzen von Kupfernetzen und nicht zuletzt die grosse gesellschaftliche und volkswirtschaftliche Bedeutung einer möglichst flächendeckend verfügbaren, zukunftsorientierten (Ultra Highspeed) IT/TK-Infrastruktur.

Für viele Netzwerkplaner und Installateure bringt die Glasfasertechnologie den Einstieg in eine neue Welt mit sich. Jahrzehntelange Erfahrungen und lieb gewordene Gewohnheiten aus der Kupfer-Ära können nur noch bedingt angewendet werden; Planungsgrundlagen, Produktauswahl und Implementierung sind in vielerlei Hinsicht Neuland. Bei allen Unterschieden zwischen Kupfer- und Glasfasernetzwerken gibt es jedoch auch eine Analogie. Ausschlaggebend für die auf Dauer erreichbare Performance und Zuverlässigkeit ist das schwächste und gleichzeitig meist beanspruchte Glied der Übertragungsstrecke – die Steckverbindung.

Wie bei jeder anderen lösbaren Verbindung in der Elektro- und Nachrichtentechnik entstehen auch bei Glasfaser-Steckverbindern naturgemäss Verluste bei der Signalübertragung. Oberstes Ziel bei der Entwicklung, Herstellung und Anwendung von hochwertigen Glasfaser-Steckverbindern ist es daher, die Ursachen für Verluste an den Faserübergängen so weit wie irgend möglich zu eliminieren. Dies lässt sich nur mit Fachwissen und langjähriger Erfahrung in den Bereichen optische Signalübertragung und Hochpräzisions-Produktionsverfahren erreichen.

Die extrem kleinen Kerndurchmesser von Lichtwellenleitern erfordern höchste mechanische und optische Präzision. Mit Toleranzen von 0,5 bis 0,10  $\mu\text{m}$  (viel kleiner als ein Staubkorn) bewegen sich Hersteller an den Grenzen der Feinmechanik und stossen bei ihren Prozessen in die Mikrosystemtechnik vor. Hier darf es keine Kompromisse geben. Von Billigprodukten wird dringend abgeraten – ein einziger Ausfall oder eine einzige zusätzliche Messung im Feld macht die Preisdifferenz zu Markenprodukten bereits wieder wett.

## 2. Anforderungen an Glasfaser-Steckverbinder

### 2.1. Allgemeines

Im Gegensatz zu ihren elektromechanischen Pendanten wird bei Glasfaser-Steckverbindern nicht zwischen Stecker und Buchse unterschieden. Glasfaser-Stecker enthalten eine Ferrule zur Aufnahme und genauen Positionierung des Faserendes und werden über eine Kupplung mit Führungshülse (Sleeve) miteinander verbunden. Eine komplette Steckverbindung besteht aus der Kombination Stecker/Kupplung/Stecker. Die beiden Ferrulen mit den Faserenden müssen im Inneren der Steckverbindung so präzise aufeinandertreffen, dass möglichst wenig Lichtenergie verloren geht oder zurückgestreut (Rückflussdämpfung) wird. Entscheidend hierfür ist die geometrische Ausrichtung und Bearbeitung der Faser im Stecker.

Kerndurchmesser von 8,3 µm für Singlemode- beziehungsweise 50/62,5 µm für Multimode-Fasern und Ferrulen mit 2,5 mm oder 1,25 mm Durchmesser machen eine Sichtprüfung des Steckerzustandes ohne Hilfsmittel unmöglich. Natürlich kann man vor Ort sofort feststellen, ob ein Stecker korrekt einrastet und verriegelt. Bei allen anderen Eigenschaften – den „inneren Werten“ – wie zum Beispiel Dämpfung, Rückflussdämpfung oder mechanische Belastbarkeit müssen sich Anwender auf die Herstellerangaben verlassen können.

### 2.2. Gebräuchliche Steckverbindertypen

Sortiert nach IEC 61754-x:

#### **ST-Stecker** (auch BFOC genannt, IEC 61754-2)

Diese Stecker mit Bajonettverschluss waren die ersten PC Stecker (1996). Aufgrund dessen und dank dem sehr robusten Design sind sie nach wie vor weltweit in LAN-Netzen (überwiegend Industrie) zu finden. ST ist die Bezeichnung für „Straight“ (gerader) Typ.

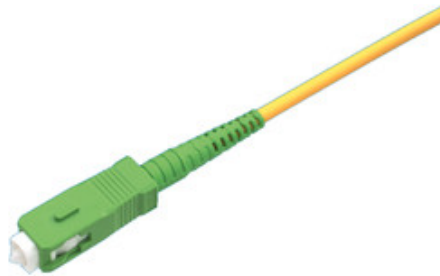


#### **DIN/LSA** (Lichtwellenleiter-Steckverbinder, Version A, IEC 61754-3, DIN 47256)

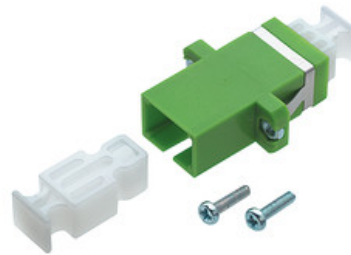
Kompakter Stecker mit Schraubverschluss, nur im deutschsprachigen Raum bekannt.

#### **SC-Stecker** (IEC 61751-4)

Für Neuinstallationen wird dieser Steckertyp mit quadratischem Design und Push/Pull-System empfohlen (SC steht für Square Connector oder Subscriber Connector). Durch sein kompaktes Design ermöglicht der SC eine hohe Packungsdichte. Er kann zu Duplex- und Mehrfachverbindungen kombiniert werden. Obwohl unter den ältesten Verbindern, gewinnt der SC durch seine hervorragenden Eigenschaften weiter an Bedeutung. Bis heute ist er aufgrund der guten optischen Eigenschaften der wichtigste WAN-Verbinder weltweit. SC ist auch als Duplexversion weit verbreitet, vor allem im LAN Bereich.



090.2360



090.2724

### **MU-Stecker** (IEC 61754-6)

Der wohl erste Small Form Verbinder. Basierend auf einer 1.25mm Ferrule ist das Aussehen und Funktionalität ähnlich dem SC in halber Baugröße.

### **MPO** (IEC 61754-7)

Der MPO (Multi Patch Push-on) basiert auf einer Kunststoff-Ferrule, um bis zu 24 Fasern in einem Verbinder unterbringen zu können. Mittlerweile sind bereits Verbinder mit bis zu 72 Fasern in der Entwicklung. Der Verbinder besticht durch sein kompaktes Design und die einfache Handhabung, hat aber Nachteile in der optischen Performance und Zuverlässigkeit.



090.2998

### **FC** (Fibre Connector, IEC 61753-13)

Robuster und bewährter Stecker der ersten Generation. Erster echter WAN Verbinder und nach wie vor millionenfach im Einsatz. Durch den Schraubverschluss nachteilig bei engen Platzverhältnissen und deshalb in heutigen Racks mit hoher Packungsdichte wenig beachtet.



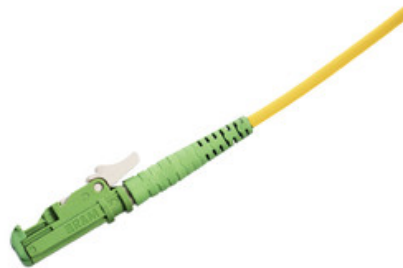
030.0632



30.0635

**E-2000™** (LSH, IEC 61753-15)

Bei diesem Stecker handelt es sich um eine Entwicklung von Diamond SA, die sich an LAN- und CATV-Anwendungen orientiert. Er wird von drei lizenzierten Herstellern in der Schweiz gefertigt, was auch zum unerreicht hohen Qualitätsstandard geführt hat. Die integrierte Schutzklappe schützt vor Staub und Kratzern, aber auch vor Laserstrahlen. Der Stecker wird über Raster und Hebel verriegelt, welche farblich und mechanisch codiert werden können. Es ist der erste Verbinder, der Grade A\* Performance erreicht hat.



030.0634



090.3178

**MT-RJ** (IEC 61751-18)

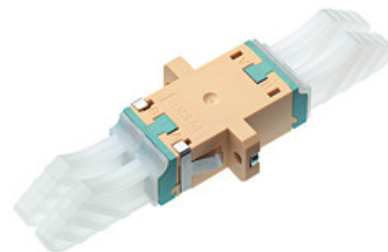
Der MT-RJ ist ein Stecker für den LAN-Bereich. Sein Aussehen entspricht dem aus dem Kupferbereich bekannten RJ45-Stecker. Er ist als Duplex-Stecker im Einsatz.

**LC-Stecker** (IEC 61754-20)

Der Stecker gehört zu einer neuen Generation von Kompaktsteckern. Er wurde von der Firma Lucent entwickelt (LC steht für Lucent Connector). Sein Aufbau basiert auf einer Ferrule von 1.25mm Durchmesser. Die Duplex-Kupplung entspricht der Grösse einer SC Kupplung (SC-Footprint). Dadurch können sehr hohe Packungsdichten erreicht werden, was den Verbinder z.B. für die Anwendung in Datacentern attraktiv macht. Die optische und mechanische Performance liegt unter dem Niveau eines SC-RJ oder E-2000™.



090.2427



090.5196

**F-3000** (IEC 61754-20 kompatibel)

LC kompatibler Verbinder mit Staub-Laserschutzblende.

**F-SMA**: (Sub-Miniature Assembly, IEC 61754-22)

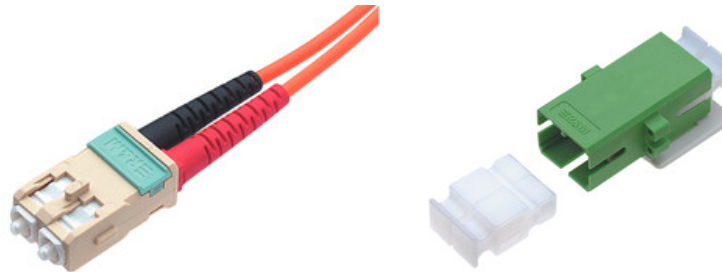
Stecker mit Schraubverschluss ohne physikalischen Kontakt zwischen den Ferrulen. Der erste standardisierte LWL Verbinder, findet heute aber nur noch für PCF/HCS oder POF Verwendung.

### **LX.5 (IEC 61754-23)**

In Grösse und Bauform ähnlich dem LC und F-3000, allerdings nur bedingt kompatibel mit diesen aufgrund unterschiedlicher Ferrulenabständen als Duplex. Entwickelt durch ADC.

### **SC-RJ (IEC 61754-24)**

Wie der Name bereits verrät, orientierten sich die Entwickler bei R&M am RJ45-Format. Zwei SC bilden eine Einheit in der Baugrösse eines RJ45. Dies entspricht dem SFF (Small Form Factor). Verwendet wird die 2.5mm Ferrulen-Sleeve-Technologie. Sie ist im Vergleich zur 1.25mm Ferrule robuster und zuverlässiger. So besticht der SC-RJ nicht nur durch das kompakte Design, sondern auch durch die optische und mechanische Performance. Es ist ein Alleskönner – einsetzbar von Grade A\* bis M, von Singlemode bis POF, von WAN bis LAN, von Labor bis Outdoor. Für letztere Anwendung bietet sich die IP67-Version des SC-RJ an. R&M hat ein White Paper zum SC-RJ ("SC-RJ – sicher in allen Klassen") veröffentlicht.



090.2740

090.2730

### **2.3. Rückflusssämpfung**

Die Rückflusssämpfung RL (Return Loss) ist ein Mass für den Lichtanteil, der an der Verbindungsstelle zurück zur Lichtquelle reflektiert wird. Sie wird in Dezibel angegeben. Je höher der RL-Wert in Dezibel, desto geringer sind die Reflektionen. Typische RL-Werte liegen bei 35 bis 50dB für PC, 60 bis 90dB für APC und 20 bis 40dB für Multimode-Fasern.

Nachdem in den Anfangszeiten der Glasfaser-Steckverbinder die Stirnflächen im 90°-Winkel zur Faserachse geschliffen wurden, verlangen heutige Normen den PC- (Physical Contact) Schliff oder den APC- (Angled Physical Contact) Schliff. Nicht selten wird auch der Ausdruck HRL (High Return Loss) verwendet, was aber wiederum dasselbe ist wie APC.

**PC (Physical Contact)**



**APC (Angled Physical Contact)**

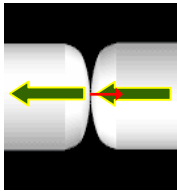


Beim PC-Schliff erhält die Ferrule eine konvex geschliffene Endfläche, so dass sich die Faserkerne an ihren höchsten Erhebungsstellen berühren können. Dadurch wird die Reflektionsbildung an der Verbindungsstelle reduziert.

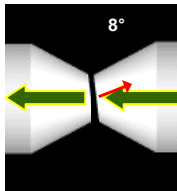


Eine weitere Verbesserung der Rückflusssdämpfung wird mit Hilfe der APC-Schrägschlifftechnik erzielt. Dabei werden die konvexen Endflächen der Ferrule schräg (8°) zur Faserachse geschliffen. SC-Steckverbinder werden auch mit 9° Schrägschliff angeboten. Sie weisen im Vergleich zur 8°-Versionen identische IL- und RL-Werte auf und haben sich deshalb nicht weltweit durchgesetzt.

### Rückflusssdämpfung durch Streuung



Bedingt durch den Übergang zweier Fasern, Exzentrizitäten, Kratzer und Verunreinigungen werden Lichtanteile bzw. Moden an der Koppelstelle diffundiert und zurückgestreut (roter Pfeil). Ein gut geschliffener und gereinigter PC Verbinder weist ca. 14.7dB RL gegen Luft und 45-50dB in gestecktem Zustand auf.



Beim APC Verbinder werden zwar ebenfalls Moden zurückgestreut, durch den 8° oder 9° Schliff allerdings in einem Winkel, der grösser ist als der Akzeptanzwinkel für Totalreflektion. Der Vorteil: Die Moden werden nicht in der Faser übertragen.

Aus der Berechnung des Akzeptanzwinkels nach

$$NA_{G.652D} = \sin \Theta \Rightarrow \Theta = \sin^{-1}(NA_{G.652D}) = \sin^{-1}(0.13) = \underline{7.47^\circ}$$

folgt, dass alle Moden, welche einen grösseren Winkel als 7.5° aufweisen, nach wenigen Zentimetern ausgekoppelt werden und somit die Quelle nicht erreichen und nicht stören. Ein guter APC Verbinder weist mindestens 55dB RL gegen Luft und 60-90dB in gestecktem Zustand.

Zum Vergleich: Die Faser selbst hat eine Rückflusssdämpfung von 79.4dB bei 1310nm, 81.7dB bei 1550nm und 82.2dB bei 1625nm (alle Werte bei einer Pulslänge von 1ns).

### 2.4. Einfügedämpfung

Bei Verlusten an der Kopplungsstelle zweier Lichtwellenleiter unterscheidet man generell zwischen faserbedingten „intrinsischen“ und verbindungsbedingten „extrinsischen“ Verlusten. Faserbedingte Verluste treten beispielsweise auf bei unterschiedlichen Kernradien, unterschiedlichen Brechzahlprofilen oder Exzentrizitäten des Kerns. Verbindungsbedingte Verluste entstehen u.a. durch Reflexionen und Rauigkeit an den Stirnflächen, Winkelfehler oder radialen Versatz. Die nachfolgenden Hinweise und Angaben beziehen sich auf verbindungsbedingte Verluste, der Einfluss von Fasertoleranzen bzw. LWL-Kabelqualitäten bleibt unberücksichtigt.

Die übertragungstechnische Güte eines Glasfaser-Steckverbinders wird im Wesentlichen von zwei Merkmalen bestimmt: von der Einfügedämpfung IL (Insertion Loss) und von der Rückflusssdämpfung RL (Return Loss). Je kleiner der IL- und je grösser der RL-Wert, desto besser ist die Signalübertragung in einer Steckverbindung.



Die Einfügedämpfung ist ein Mass für die Verluste, die an der Verbindungsstelle auftreten. Sie errechnet sich aus dem Verhältnis der Lichtleistung in den Faserkernen vor ( $P_{IN}$ ) und nach ( $P_{OUT}$ ) der Verbindung und wird in Dezibel angegeben.

$$\text{Dämpfung [dB]} = -10 \cdot \log\left(\frac{P_{OUT}}{P_{IN}}\right)$$

Je kleiner der Wert, desto geringer sind die Signalverluste. Typische IL-Werte liegen im Bereich von 0.1 bis 0.5dB.

Auf dem Markt werden auch Spezifikationen mit den Angaben -dB und +dB verwendet; ein Patchkabel wird z.B. mit -0.1dB oder 0.1dB spezifiziert. Bei beiden Angaben ist die physikalische Dämpfung identisch. Die Definitionsunterschiede ergeben sich aus der Berechnungsformel mit  $-10 \times \log$  oder  $10 \times \log$ . R&M verwendet positive Dämpfungsangaben, da eine negative Dämpfung als Verstärkung verstanden werden kann und daher nicht der Logik entspricht.

## 2.5. Extrinsische Verluste

Je genauer die Faserkerne aufeinander treffen, desto weniger Lichtenergie geht verloren. Aus diesem Grund werden hochpräzise Fasern in nicht weniger genaue Keramikferrulen eingeklebt. Wie eingangs erläutert entstehen die verbindungsbedingten extrinsischen Verluste durch Reflektionen, Rauigkeit an den Stirnflächen, Winkelfehler (Schielwinkel) oder radialen Versatz (Konzentrizität). Reflektionen und Rauigkeit spielen bei der Dämpfung eine untergeordnete Rolle. Hauptursachen sind Versatz und Winkelfehler.



Die Ferrulenbohrung muss grösser sein als die Faser, um ein Einführen der Faser zu ermöglichen. Folglich hat diese immer ein gewisses Spiel in der Bohrung. Dies verursacht zusätzliche Konzentrizität, aber auch einen Winkelfehler.

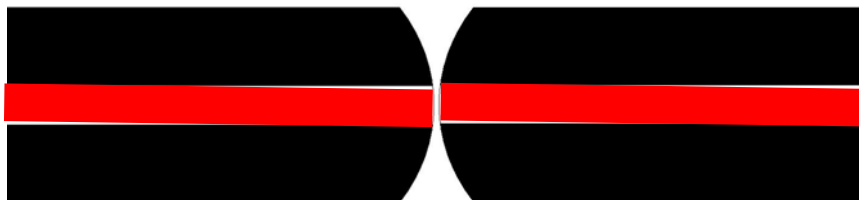
### Schielwinkel:

Der sogenannte Schielwinkel soll  $<0.3^\circ$  sein. Grössere Schielwinkel verursachen Stress auf die Faser, was bis zum Bruch der Faser führen kann.

### Konzentrizität:

Die Konzentrizität darf gemäss IEC 61755-3-1+2 je nach Grade maximal  $1.0\mu\text{m}$  bis  $1.6\mu\text{m}$  betragen (gemessen von der Faserachse zum Ferrulenaussendurchmesser).

Werden zwei Ferrulen bzw. Steckverbinder ohne weitere Massnahmen miteinander gesteckt, besteht das Risiko, dass sich die Konzentrizitäten und Schielwinkel addieren und so die Dämpfung weiter erhöhen.



## 2.6. Berechnung der Dämpfung in Abhängigkeit von Konzentrität und Schielwinkel

Zur Berechnung der von der Konzentrität und vom Schielwinkel abhängigen Dämpfung sieht die EN 50733-8-3 folgende Formel vor:

$$\eta_{combined} = -10 \cdot \log \left[ \frac{4A^2}{B^2} \cdot \exp \left[ \frac{2 \cdot l^2}{B} - \frac{C \cdot A^2}{B} \cdot (\sin \Theta)^2 \right] \right]$$

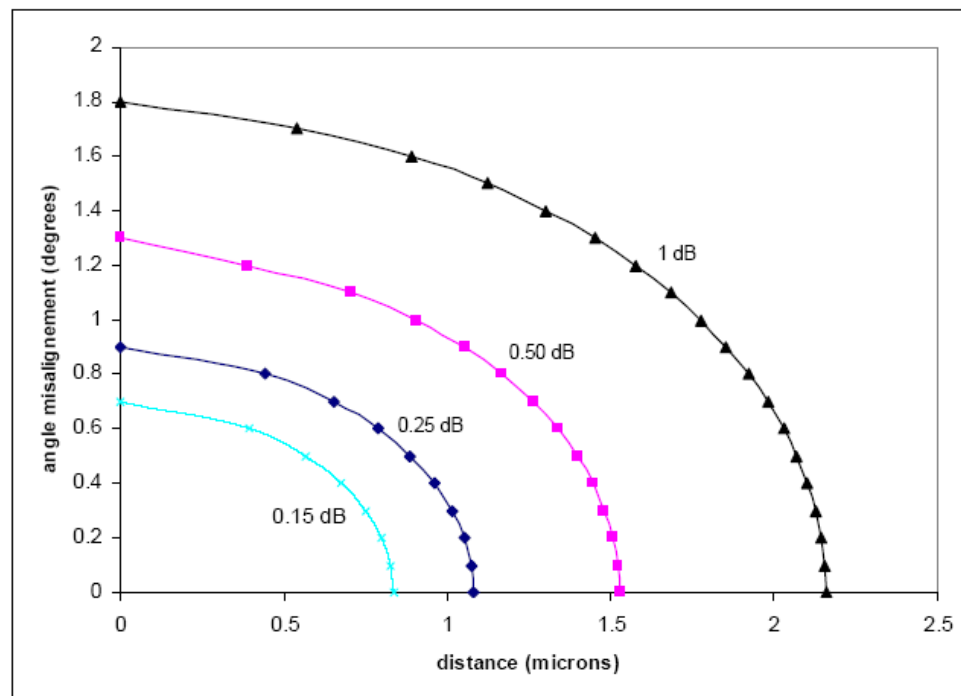
Wobei:

$$A = \omega_1 \cdot \omega_2; B = \omega_1^2 + \omega_2^2; C = 2\pi^2 \cdot \frac{n_0^2}{\lambda^2}$$

$l$  = lateraler Versatz zwischen Faserkernen  
 $\Theta$  = Winkelfehler zwischen den Fasern  
 $\Lambda$  = Wellenlänge (in Vakuum)

$n_0$  = Brechungsindex des Faserkerns  
 $\omega_1$  = Modenfeldradius übertragende Faser  
 $\omega_2$  = Modenfeldradius empfangende Faser

Die nachstehende Grafik zeigt den Dämpfungsverlauf bei unterschiedlichen Schielwinkeln und Konzentritäten.



Schielwinkel unter 0,3° spielen in der Dämpfungsberechnung eine untergeordnete Rolle. Bei grösseren Schielwinkeln treten folgende kritische Effekte auf:

- Schielwinkel > 0.4° ansteigende Dämpfung
- Schielwinkel > 0.7° Beginn der Glasbruchs
- Schielwinkel > 1.95° sicherer Glasbruch

### **2.7. Zusammenfassung: Verluste und Belastungen reduzieren**

Um die Einfügedämpfung von Steckverbindungen zu verringern, muss der Versatz zweier verbundener Fasern so klein wie möglich sein. Dies geschieht durch Festlegen eines Quadranten der Ferrule, in welchem der Kern liegen muss. Stecker, die sich tunen lassen, bieten die Möglichkeit, die Ferrule in 60° oder 90° Schritten zu drehen. Werden zwei getunte Stecker miteinander verbunden, reduziert sich somit die Abweichung der Kernposition in den Ferrulen – was zu einer wesentlich besseren Performance als bei ungetunten Steckern führt.

Ein Schielwinkel  $>0.3^\circ$  soll vermieden werden, um Stress der Faser zu verhindern. Stressbelastungen reduzieren die Lebensdauer und optischen Eigenschaften – speziell BER (Bit Error Rate), modal noise und HighPower Verträglichkeit – der Fasern.

### 3. Normen und Güteklassen (Quality Grades)

#### 3.1. Neuer Anforderungskatalog

Die im März 2007 verabschiedete Norm IEC 61753 beschreibt anwendungsorientierte Güteklassen (Grades) für Verbindungselemente in Glasfasernetzen (siehe Tabelle). Die eindeutige Bestimmung nach Grades und die von IEC vorausgesetzte Prüfmethode helfen Planern und Netzwerkverantwortlichen bei der bedarfsgerechten Auswahl von Steckverbindern, Rangierkabeln und Pigtails. Rechenzentren und Telekommunikationsunternehmen können das Fiber Optic-Sortiment anwendungsspezifisch bestimmen und ihre Einkaufsentscheidungen schneller und gezielter treffen. Und sie vermeiden den Kauf überspezifizierter Produkte, die im Betrieb unter Umständen gar nicht die erwarteten Dämpfungswerte liefern.

Der heutige Anforderungskatalog basiert einerseits auf der IEC 61753. Diese Norm definiert Dämpfungswerte. Andererseits sind die Normen IEC 61755-3-1 und IEC 61755-3-2 mit im Spiel. Sie definieren geometrische Parameter von Glasfaser-Steckverbindern. Das Zusammenwirken dieser drei Standards schafft die Grundlage für die Kompatibilität von Glasfaser-Steckverbindern verschiedener Hersteller und für die Festlegung herstellernerneutraler Dämpfungswerte.

Attenuation Grade	Attenuation Random mated IEC 61300-3-34	
Grade A*	≤ 0.07dB mean	≤ 0.15dB max. for >97% of samples
Grade B	≤ 0.12dB mean	≤ 0.25dB max. for >97% of samples
Grade C	≤ 0.25dB mean	≤ 0.50dB max. for >97% of samples
Grade D	≤ 0.50dB mean	≤ 1.00dB max. for >97% of samples
Return Loss Grade	Return Loss Random mated IEC 61300-3-6	
Grade 1	≥ 60dB (mated) and ≥ 55dB (unmated)	
Grade 2	≥ 45dB	
Grade 3	≥ 35dB	
Grade 4	≥ 26dB	

*Übersicht über die Performance-Kriterien der neuen Leistungsklassen für die Datenübertragung in Glasfaserverbindungen nach IEC 61753. Grade A\* ist noch nicht abschliessend definiert. Kriterien für Multimode-Fasern befinden sich noch in der Diskussion.*

Theoretisch lassen sich die IL Grades (A\* bis D) beliebig mit den RL Grades mischen. Allerdings ist ein Grade A\*/4 wenig sinnvoll, weshalb sich folgende gängige Kombinationen etabliert haben:

	Grade A*	Grade B	Grade C	Grade D
Grade 1	✓	✓	✓	✗
Grade 2	✓	✓	✓	(✓)
Grade 3	✗	✗	✗	✓
Grade 4	✗	✗	✗	(✓)

### 3.2. Each-to-each Werte

Die in IEC 61753 genannten Dämpfungswerte werden auch als each-to-each (oder random mate) Werte bezeichnet. Each-to-each bedeutet, es wird nicht die Dämpfung eines Steckers in Verbindung mit einem Referenzstecker gemessen, sondern zur Prüfung wird jeder Stecker einer Charge gegen jeden je einmal gesteckt und die Dämpfung der Kombination Stecker-Mittelstück-Stecker gemessen.

Hintergedanke dieses Modells: Die nach IEC festgelegten Dämpfungswerte für zufällige Steckerpaarungen kommen den realen Betriebsbedingungen wesentlich näher als herstellenseitig spezifizierte Dämpfungswerte, die in vielen Fällen auf einer best-case Messung unter Laborbedingungen beruhen. Bei best-case Messungen wird der Steckverbinder gegen ein Referenzkabel gemessen. Dabei wird das Referenzkabel so gewählt, dass die Prüfung im Werk einen möglichst tiefen Wert ergibt [tiefer als später im praktischen Einsatz erreichbar (siehe auch 4.3)].

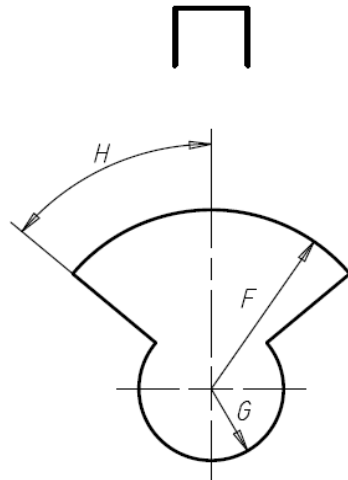
### 3.3. Mean Werte

Ein Novum der Grade's ist die Forderung nach Mean (typisch) Werten. Dies ist eine optimale Grundlage für die Berechnung der Streckendämpfung. Speziell in grösseren Netzwerken musste bisher immer mit dem Maximalwert gerechnet werden, welcher wie bereits erläutert wenig verlässlich war bei each-to-each Verbindungen. Jetzt können die angegebenen Mean-Werte zur Berechnung beigezogen werden. Somit kann jeder Planer die für seine Bedürfnisse benötigte Klasse einsetzen – was ein optimales Kosten/Nutzen-Verhältnis garantiert.

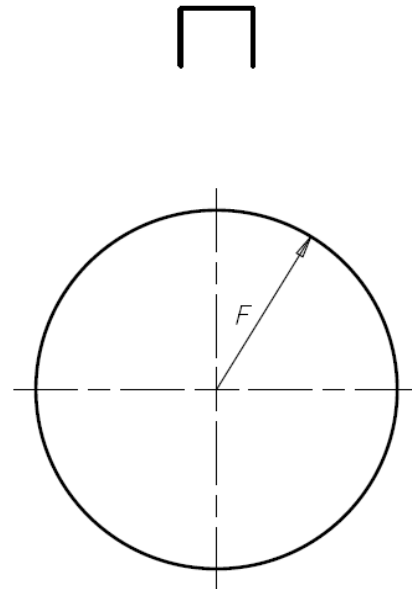
Beispiel:

Spezifikation	Werte each-to-each	Budget für 10 Übergänge
0.1dB Verbinder	ca. 0.2dB (evtl. höher, wenn verschiedene Hersteller kombiniert oder nicht justierte Verbinder verwendet werden)	ca. 2dB, unklarer Toleranzbereich
Grade C	Mean $\leq 0.25\text{dB}$ , Max $\leq 0.50\text{dB}$	$\leq 2.5\text{dB}$
Grade B	Mean $\leq 0.12\text{dB}$ , Max $\leq 0.25\text{dB}$	$\leq 1.2\text{dB}$
Grade A*	Mean $\leq 0.07\text{dB}$ , Max $\leq 0.12\text{dB}$	$\leq 0.70\text{dB}$

Die in Kapitel 2 erläuterten Dämpfungsursachen sind den IEC Standardisierungsgremien bekannt. Sie haben deshalb die unten dargestellten Parameter H, F, und G definiert.



**Grades B und C**



**Grade D**

IEC 61755-3-1 (PC Verbinder, 2.5mm Ferrule)							
	Grade B		Grade C		Grade D		
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Remarks
<b>H:</b>	0	50	0	50	0 ( $\Rightarrow$ NA)	0 ( $\Rightarrow$ NA)	Degrees
<b>F:</b>	0	0.0012	0	0.0015	0	0.0016	Radius, mm
<b>G:</b>	0	0.0003	0	0.0003	0 ( $\Rightarrow$ NA)	0 ( $\Rightarrow$ NA)	Radius, mm
IEC 61755-3-2 (APC Verbinder, 2.5mm Ferrule)							
	Grade B		Grade C		Grade D		
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Remarks
<b>H:</b>	0	50	0	50	NA	NA	Degrees
<b>F:</b>	0	0.0010	0	0.0014	0	0.0015	Radius, mm
<b>G:</b>	0	0.0003	0	0.0003	NA	NA	Radius, mm

*Geometrische Parameter für Glasfaser-Steckverbinder nach IEC 61755-3-1 und 61755-3-2.*

## 4. Herstellung

### 4.1. Verbinder

Präzisionsarbeit, erstklassige Materialien und eine lückenlose Qualitätskontrolle sind die Voraussetzungen für die Herstellung zuverlässiger Hochleistungs-Glasfaser-Steckverbinder. Die Belastungen, denen die winzigen Komponenten eines Glasfaser-Steckverbinders ausgesetzt sind, könnten kaum anspruchsvoller sein. Bei R&M Produkten sind sie zum Beispiel für eine Betriebsdauer von 200'000 bis 250'000 Stunden bzw. 25 Jahre ausgelegt. Beim Patchen müssen die Stecker zudem hohe Scherkräfte aushalten. 500 bis 1000 Steckzyklen sollten sie problemlos überstehen.

Die Ferrulen, in denen später die Fasern sitzen, durchlaufen schon vor dem Fertigungsprozess eine strenge Eingangskontrolle. Sie werden behutsam mit einer Pinzette in ein spezielles Messgerät gelegt und um die Längsachse gerollt. Eine Nadel tastet die Bohrung ab und prüft ihre Konzentrität. R&M fordert in der höchsten Qualitätsstufe eine Genauigkeit von  $0,2\ \mu\text{m}$  und führt je nach Anforderung Einzelstückprüfungen durch. Die eigentliche Herstellung beginnt damit, dass Ferrulen und Federn in den Alberino – das Steckerinnengehäuse – eingesetzt und die Ferrulen mit Kleber befestigt werden. Dies geschieht vollautomatisiert im Werk Wetzikon, um die Balance zwischen Kosten und Präzision halten zu können und eine perfekte Reproduktion zu garantieren.



*Die Eingangskontrolle – strenge Hürde für die Faserendhülsen (Ferrulen). Präzise Konzentrität ist ein entscheidender Faktor für die spätere Lichtführung im Stecker.*

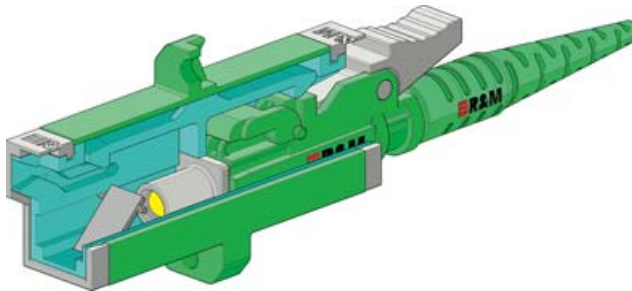


*Präzision – nicht nur in mechanischer Hinsicht, sondern auch in chemischer. Mit diesem Gerät wird Klebstoff zwischen Ferrulen und Steckerinnengehäuse appliziert. Die Klebeverbindung muss über viele Jahre zuverlässig halten.*



#### 4.2. Konfektion

Die Klebeflächen, die Faser, Ferrule und Steckerinnengehäuse zusammenhalten, dürfen nie nachgeben. Das setzt einen perfekten Kraft- und Formschluss voraus. Auch die Spiralfeder, die die Ferrule auf ihr Gegenüber drückt, muss höchsten Ansprüchen genügen. Ihre Spannung muss über Jahre erhalten bleiben, damit die Faserenden mit einem permanenten Druck von etwa 10N beaufschlagt werden. Man nutzt die von der Hertz'schen Flächenpressung bekannten Effekte. Flächenpressung ist die Kraft pro Kontaktfläche von zwei Festkörpern. Im Gegensatz zum Druck ist die Flächenpressung aufgrund der Oberfläche am Faserende nicht isotrop. Das heisst, sie hat wie eine Spannung eine Richtung und ist über die Kontaktfläche nicht notwendigerweise konstant.

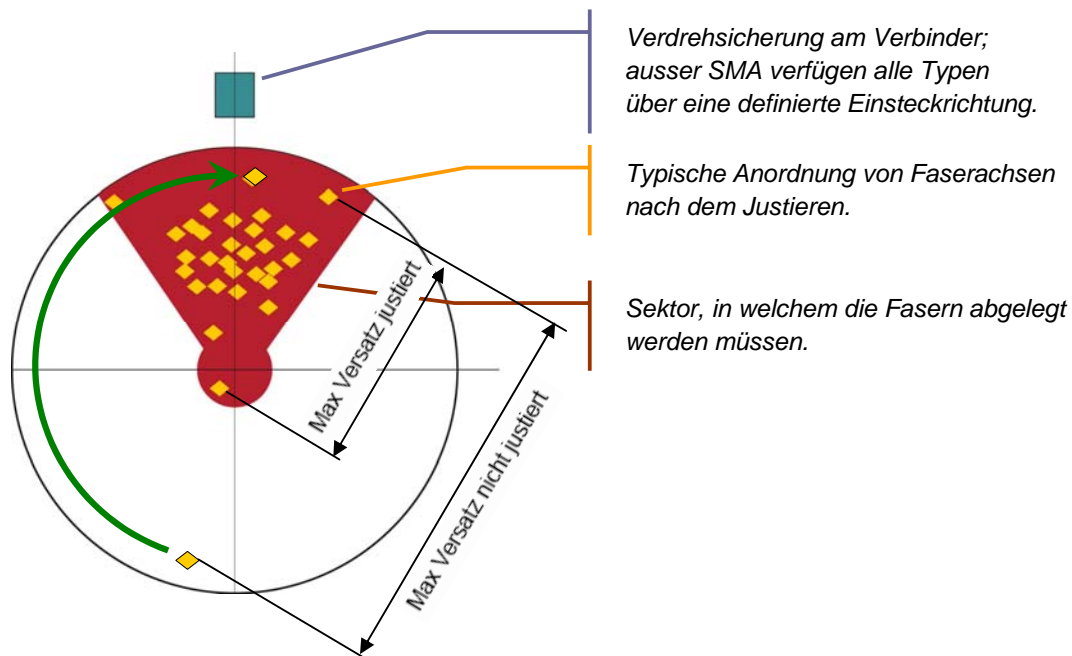


*Blick in den Hochleistungsstecker E-2000™. Die Komponenten sind einer enormen Belastung ausgesetzt und für jahrzehntelangen Betrieb ausgelegt.*

##### 4.2.1. Justieren / Tunen

Einer der wichtigsten Arbeitsschritte überhaupt ist das Justieren der LWL Verbinder (auch Tunen genannt). Gemäss IEC 61755-3+2 müssen alle Verbinder Grade C und höher justiert werden.


Um die durch extrinsische Verluste bedingte Dämpfung zu minimieren, muss die resultierende Konzentrität in der Ferrule in den von der Norm festgelegten Sektor gedreht werden.

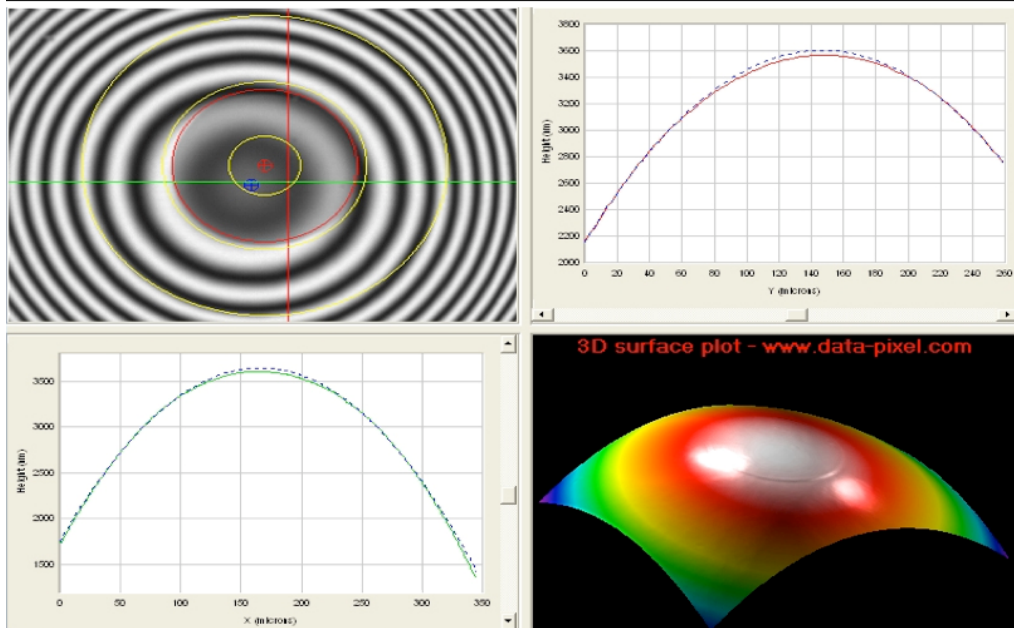


Durch den Justiervorgang wird die Faser in der Ferrule nicht verändert. Sprich: Sie liegt ohne störende Krafteinwirkung in der Ferrule. Die Ferrule selbst (bzw. der Ferrulenhalter) wird im Stecker gedreht und in die richtige Position gebracht. Durch Tunen wird der Faserversatz minimiert und der Schielwinkel bleibt unter 0.3µm.

#### 4.2.2. Interferometrie

Die Oberflächenqualität des Faserendes hat entscheidende Bedeutung für die Übertragungseigenschaften und die Lebenszeit eines Verbinders. Hierbei kann nicht ein Wert alleine betrachtet werden, sondern die Geometrie insgesamt ist im Rahmen der Fertigung und Qualitätssicherung zu untersuchen. Der beispielhafte Auszug aus einem Messprotokoll unten zeigt die Parameter und Berechnungen.

Sample ID: E-2000™ Grade C/1			PASS	
Sample Type: APC				
Measurement Time & Date: 20090814_120704				
Fitting Regions: D=250um; E=140um; F=50um;				
Measurement Parameter	PASS/FAIL Settings		Measurement Result	Passed or Failed
	Minimum	Maximum		
Ferrule Radius of Curvature	5,00	12,00	7,35 mm	PASS
Fiber Radius of Curvature	n/a	n/a	8,16 mm	
Fiber Height (Spherical Fit)	-100,0	100,0	-38,8 nm	PASS
Fiber Height (Planar Fit)	n/a	n/a	262,9 nm	
Apex Offset	0,0	50,0	19,2 µm	PASS
Apex Bearing	n/a	n/a	207,7 deg.	
Angle Error	7,700	8,300	7,931 deg.	PASS
Key Error	n/a	n/a	-0,132 deg.	
Fiber Roughness (Sq)	0	50	2 nm	PASS
Ferrule Roughness (Sq)	0	50	3 nm	PASS
Ferrule Bore Diameter	n/a	n/a	126,4 µm	
Comments				



Die Parameter im Einzelnen:

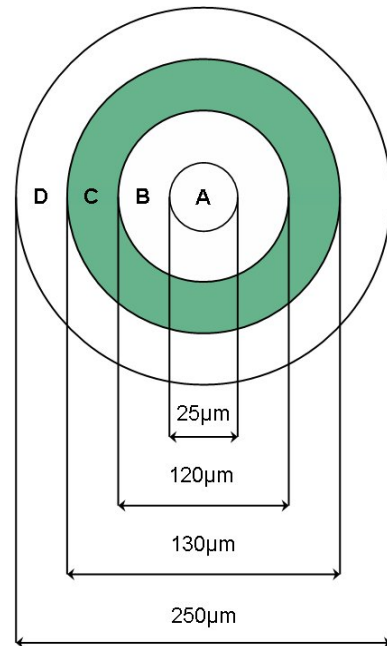
<b>Ferrule Radius of Curvature:</b>	Radius der konvex geschliffenen Oberfläche. Je kleiner der Radius, desto grösser die Flächenpressung und umgekehrt [siehe Fiber Hight (Planar Fit)]: bei APC 5-12mm, bei PC 5-25mm zulässig.
<b>Fiber Hight (Spherical Fit):</b>	Eine errechnete Line zum Radius der geschliffenen Ferrule, in den Grafiken des Messprotokolls durch die gestrichelte Linie dargestellt. Gemessen wird der Schliff der Faser. Die Faser ist etwas weicher als Zirkonia-Keramik, daher ist sie meist leicht zurückgeschliffen, im Beispiel oben mit -39nm. Siehe auch IEC 61300-3-23.
<b>Fiber Hight (Planar Fit):</b>	<p>Eine berechnete Grösse. Hierfür wird die Kurve zu einer Geraden umgerechnet und der Faserüberschliff (Protrusion) oder Faserrückschliff (Undercut) dargestellt. Zum Verständnis sei erwähnt, dass negative Werte einen Faserüberschliff und positive einen Rückschliff bedeuten. Der Wert steht in einer starken Abhängigkeit zum Radius und Apex. Da ein kleiner Radius mehr Flächenpressung bedeutet, darf die Faser weiter zurückgeschliffen werden.</p> <p>Beispiel: Bei Radius 5mm und Apex 0µm darf der Undercut bis 580nm betragen. Wäre Apex 70µm, darf der Undercut noch 100nm betragen (siehe auch IEC61755-3-2 Annex A). Moderne Interferometriegeräte berücksichtigen diese Formel und errechnen somit die zulässigen Maximalwerte für PASS/FAIL Kriterien.</p>
<b>Apex offset:</b>	Position der Faserachse gemessen zur Achse des Radius bzw. höchsten Punktes der geschliffenen Ferrule in µm (0.001mm)
<b>Apex Bearing:</b>	Position der Faserachse als Winkel. 12 Uhr = 0°, 3 Uhr = 90°, 6 Uhr = 180° usw. In der Darstellung oben ist das rote Kreuz die Faserachse, das blaue Kreuz der höchste Punkt der geschliffenen Ferrule.
<b>Angle Error:</b>	Winkel der Steckerstirnfläche. In unserem Beispiel 8° ±0.5° gemäss Norm bzw. ±0.3° gemäss R&M Spezifikation.
<b>Key Error:</b>	Winkel bzw. Winkelfehler der APC Steckerstirnfläche gemessen zur Verdrehsicherung.
<b>Fiber / Ferrule Roughness:</b>	Arithmetischer Mittenrauwert der Ferrule bzw. der Faser in nm.


#### 4.2.3. Oberflächenprüfung

Die optische Oberflächenprüfung muss trotz Interferometrieprüfung zu 100% durchgeführt werden. Hierbei werden die Oberflächen der Faserenden auf Kratzer, Ausbrüche (Lunker), Kleberrückstände und Schmutz untersucht. Um die definierten optischen Eigenschaften des Verbinders zu erreichen, müssen alle Zonen absolut schmutzfrei sein. Es wird zwischen vier Zonen unterschieden (siehe Grafik):

- **Zone A:** Keine Kratzer oder Ausbrüche erlaubt. 25µm entspricht dem dreifachen Kerndurchmesser der Faser und daher ist diese Zone speziell zu prüfen.
- **Zone B bis C:** Kleine Kratzer und Ausbrüche können erlaubt sein. Aber auch hier gilt Null-Toleranz für Schmutz.
- **Zone D:** Obwohl dies bereits der Bereich der Ferrule ist, muss diese Zone geprüft werden, denn durch die Flächenpressung des Verbinders ist sie ebenfalls Teil des Übergangs. Diese Zone ist auch deshalb von Bedeutung, weil die Interferometrieprüfung bis 250µm misst.

Für die optische Oberflächenprüfung wird mindestens eine 200fache Vergrößerung verlangt. Zur einfachen Schmutzkontrolle im Feld kann eine geringere Auflösung verwendet werden. Doch empfiehlt sich auch hier eine mindestens 100fache Vergrößerung.



Gereinigter Verbinder	Wasserrückstände	Staubpartikel
		

*Beispielhafte Ergebnisse einer Oberflächenprüfung.*

### 4.3. Dämpfungsprüfung IL

Die IEC 61753-1 (siehe auch Kapitel 3) spezifiziert each-to-each (random / jeder gegen jeden) Werte. Diese können aber im Werk nicht geprüft werden, denn bei 10 Patchkabeln ergäbe dies 90 Messungen, bei 100 Patchkabeln bereits 9900 usw. Ein Verbinder wäre also bereits durch die Prüfung verschlissen. Um die Werte im Werk zu prüfen und dennoch die Each-to-each-Werte garantieren zu können, verwendet R&M als Messverfahren die Worst-case-Prüfung. Dabei werden im Werk bereits Werte zugrunde gelegt, die höher oder gleich den Each-to-each-Werten sind.

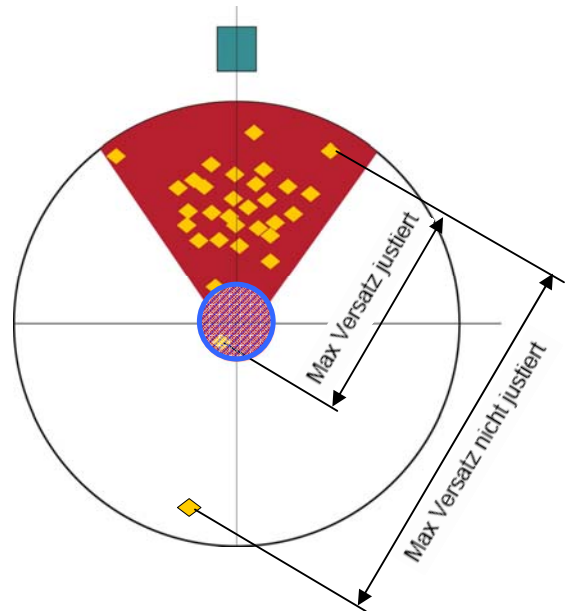
#### Worst-case-Prüfung (R&M Methode):

Die Justierung der zu prüfenden Verbinder muss absolut verlässlich sein. Sprich: Alle Fasern müssen im definierten Sektor abgelegt sein (rote Fläche).

Ist dies nicht der Fall, können zwar die Dämpfungswerte gegenüber der Referenz gut sein, aber each-to-each bis doppelt so hoch ausfallen (beachten Sie hierzu nochmals die Graphik aus Kapitel 4.2.1.).

Die blaue Fläche in der Grafik rechts zeigt den Bereich des Referenzverbinders an. Der Grossteil aller Verbinder hat also einen kleineren Versatz untereinander als zum Referenzverbinder und somit sind die each-to-each Werte kleiner oder gleich als gegen Referenz.

Trotz der Worst-case-Messmethode muss der Hersteller periodisch Each-to-each-Prüfungen durchführen, um die Einhaltung der Max- und Mean-Werte überprüfen und nachweisen zu können.

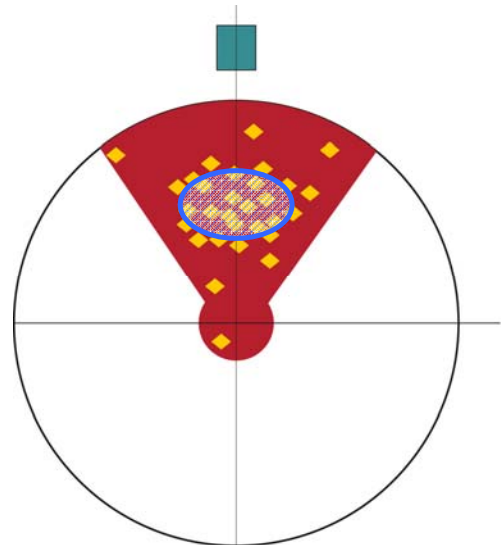


#### Best-case-Prüfung:

Ein Grossteil der Hersteller arbeitet mit der Best-case-Prüfung. Bei nicht justierten Verbindern funktioniert das oben beschriebene Modell nicht. Da der Referenzstecker zentrisch liegt, weist er im Schnitt einen kleineren Versatz auf als im Each-to-each-Fall. Unjustierte Verbinder werden immer im Best-case-Verfahren geprüft und deshalb sind die ermittelten Werte eher als Richtwerte zu betrachten.

Bei justierten Verbindern wird ein Referenzverbinder verwendet, welcher einen möglichst tiefen Dämpfungswert gegen alle aus dem Los ergeben soll. Der Fokus liegt also auf möglichst tiefen Werten, die im Werk ermittelt werden. Die Realität, sprich: each-to-each, wird vernachlässigt.

Aus dieser Gegenüberstellung wird ersichtlich, warum die auf dem Markt angebotenen 0.1dB Assemblies effektiv bzw. in der betrieblichen Anwendung nicht die Performance eines Grade A\* oder wenigstens Grade B erreichen.



**Empfehlung:** Bei der Evaluation eines Konfektionärs sollte immer nach der Messmethode gefragt werden, die er in der Qualitätssicherung verwendet. Ebenso sollte abgefragt werden, ob die Verbinder justiert sind. Ansonsten sollte effektiv mindestens vom doppelten des spezifizierten Wertes ausgegangen werden. Mit den in der IEC 61753 definierten Güteklassen auf Basis von Each-to-each-Dämpfungswerten steht Planern und Installateuren eine Leitlinie für die Produktauswahl zur Verfügung. Aufgrund der Risiken, die unter Laborbedingungen ermittelte Herstellerspezifikationen im praktischen Einsatz mit sich bringen, sollten Anwender beim Einkauf auf transparente Grade-Angaben achten.

#### 4.4. Rückflussprüfung RL

Zusammen mit den Dämpfungswerten werden in der IEC 61753-1 Grade 1 bis 4 als zulässige Rückflusssdämpfungen festgelegt (siehe auch Kapitel 3). Grade 2 bis 4 entsprechen dem PC Verbinder. Bezeichnungen wie SPC oder UPC sind in keiner Norm definiert und sollten deshalb nicht verwendet werden.

Grade 1 wird erstmals als mated (gesteckt) und unmated (gegen Luft) spezifiziert. Werte >55dB unmated lassen nur APC Verbinder zu, da kein PC Verbinder einen solch hohen RL Wert gegen Luft erreichen kann. Darüber hinaus sind mit Einführung der IEC 61753 keine weiteren neuen Anforderungen – im Vergleich zu bestehenden Normen – definiert worden.

## 5. Konsequenzen aus der Anwendung der Güteklassen

### 5.1. Umsetzung bei R&M

R&M hat bereits 2005 mit der Anwendung der Güteklassen begonnen und die entsprechenden Standards in der Fertigung seither schrittweise umgesetzt. Um den technischen Vorsprung abbilden zu können, geht R&M in einigen Punkten über die Anforderung der IEC 61753 hinaus.

Da für Hochleistungsstecker die vorgegebenen minimalen RL Anforderungen nicht ausreichend sind, hat R&M folgende Werte für seine Produkte festgelegt. Sie sind in jedem Fall mindestens so streng wie von der Norm vorgeschrieben – oder besser.

Performance gemäss Definition R&M						
Definition IL/RL @ R&M	Grade A*/1	Grade A*/2	Grade B/1	Grade B/2	Grade C/1	Grade C/2
Dämpfung (IL) 97%	≤ 0.15dB	≤ 0.15dB	≤ 0.25dB	≤ 0.25dB	≤ 0.50dB	≤ 0.50dB
Dämpfung (IL) typischer Wert	≤ 0.07dB	≤ 0.07dB	≤ 0.12dB	≤ 0.12dB	≤ 0.25dB	≤ 0.25dB
Rückflussdämpfung (RL)	≥ 80dB	≥ 50dB	≥ 65dB	≥ 45dB	≥ 60dB	≥ 45dB
Typisch	≥ 90dB	≥ 55dB	≥ 85dB	≥ 55dB	≥ 80dB	≥ 55dB
Laserleistung, gesteckt IEC61300-2-14, 500h, 23°C	≤ 2W	≤ 300mW	≤ 1W	≤ 300mW	≤ 500mW	≤ 300mW
Definition IL/RL @ R&M	Grade D/3	Grade M/4				
Dämpfung (IL) 97%	≤ 1.00dB	≤ 0.75dB (100%)				
Dämpfung (IL) typischer Wert	≤ 0.50dB	≤ 0.35dB				
Rückflussdämpfung (RL)	≥ 35dB	≥ 26dB				
Typisch	≥ 45dB	≥ 35dB				

*IL Prüfung gemäss IEC61300-3-34, RL Prüfung gemäss IEC61300-3-6.*

Allerdings nutzt der beste Verbinder nichts, wenn er in eine schlechte Kupplung gesteckt wird. Aus diesem Grund hat R&M die Grade-Philosophie auch für die Kupplungen übernommen. Folgende Werte wurden zugrunde gelegt:

Optische Eigenschaften, IL	Grade B	Grade C	Grade D	Grade M	Grade N
Sleeve Material	Keramik	Keramik	Phosphor Bronze	Keramik	Phosphor Bronze
Dämpfungsänderung (IL) Delta IEC61300-3-4	0.1dB	0.2dB	0.3dB	0.2dB	0.3dB

### 5.2. Herstellerspezifikationen und reale Einsatzbedingungen

Ein Beispiel aus der Praxis zeigt, warum der Einsatz der Grades so wichtig ist: Ein Netzbetreiber verwendet Rangierkabel mit einer vom Hersteller spezifizierten Dämpfung von 0.1dB. Bei Messungen vor Ort weisen die Rangierkabel „plötzlich“ Werte zwischen 0.2 und 0.3dB auf. Woher kommen diese gravierenden Abweichungen, die in der Praxis tatsächlich häufiger auftreten?



Der Hersteller hat den in der Produktspezifikation ausgewiesenen Wert in einer Best-case-Umgebung ermittelt. Dazu werden besonders verlustarme Referenz- oder Masterkabel verwendet, um bei der Dämpfungsmessung einen möglichst geringen Wert zu erreichen. Werden die Rangierkabel aber untereinander gesteckt (each-to-each), kann der Wert nicht mehr reproduziert werden; er liegt deutlich über dem Best-case-Messergebnis.

Die realitätsfremde – leider nach wie vor übliche – Messmethode hat Konsequenzen: In Unkenntnis der genauen messtechnischen Randbedingungen bei Herstellerspezifikationen beschaffen Netzwerkplaner nicht selten teure und überspezifizierte Produkte, um nach der Installation überrascht festzustellen, dass die berechneten Dämpfungsbudgets nicht eingehalten werden. Verzögerungen bei der Inbetriebnahme und kostspielige Ersatzbeschaffungen sind unvermeidbar.

Der Netzbetreiber im oben genannten Beispiel wäre besser gefahren mit Rangierkabeln nach IEC 61753 Grade A\*. Hier hätte er sich auf einen maximalen Dämpfungswert von  $\leq 0.15\text{dB}$  verlassen können.

Im Unterschied zu anderen Herstellern hat R&M die IEC 61753 Grades übernommen und verwendet darüber hinaus eine werksseitige Worst-case-Qualitätsprüfung.

In diesem Zusammenhang ist noch folgender Hinweis wichtig: Die Installation einer Glasfaserverkabelung und die Handhabung der Verbinder in der täglichen Praxis setzen spezielles Fachwissen und eine hohe Qualifikation voraus. Es empfiehlt sich daher, auf eine entsprechende Zertifizierung des Fachbetriebs bzw. Personals zu achten. Mit dem Qualified Partner Program (QPP) bietet R&M allen Beteiligten die nötige Unterstützung, Schulung und Zertifizierung an sowie langfristige Garantien.

## 6. Häufig gestellte Fragen (FAQ)

### Welchen Nutzen habe ich als Kunde von der Anwendung der Güteklassen?

1. Sie wissen, was sie bekommen. Wie aufgezeigt, kann durch die Verwendung der Grade-Klassen eindeutig definiert werden, was geliefert wird. Andere Angaben sind unklar oder teilweise sogar irreführend, da die im Feld erreichten Werte nicht ausgewiesen werden.
2. IEC Normen sind weltweit gültig. Falls ein Anwender mehrere Standorte und/oder mehrere Lieferanten hat, kann er durch die Grades die Kompatibilität aller Verbinder sicherstellen.

### Welche Gefahren bestehen, wenn ich in meinem Netz nicht mit den Grades arbeite?

Die IEC61753-1 definiert nicht nur die Dämpfungswerte, sondern auch die Konditionen der Prüfungen. So sind beispielsweise verschiedene Umweltkategorien bzw. Umgebungssituationen spezifiziert. Je nach Einsatzgebiet und Umwelteinfluss müssen Patchkabel die Werte unter Vibration, Temperaturschwankung und mechanischen Belastungen erfüllen. Speziell erwähnenswert sind die Kategorie C für Innenanwendungen (controlled environment) und U für Aussenanwendungen (uncontrolled environment).

Zwar kommen keine Personen zu Schaden, wenn man eine die Norm nicht einhält – im Unterschied zu Brandklassen bei Kabel. Aber die Verfügbarkeit des Netzes ist gleichfalls nicht garantiert.

Zudem können Angebote besser verglichen und die Planung der Netze vereinfacht werden, da sämtliche Parameter definiert sind.

### Kann ich die Einhaltung der Grades nachprüfen?

Es gibt zwei Möglichkeiten:

1. **Max- und Mean-Prüfung:** Sie nehmen eine Anzahl Patchkabel und prüfen jeden Verbinder gegen jeden. Bei 10 Patchkabeln sind demnach 90 Messungen nötig. Der Aufwand ist erheblich, aber für eine Lieferantenevaluation unabdingbar. Solche Prüfungen können auch in Labors in Auftrag gegeben werden.
2. **Mean-Prüfung:** Die serielle Patchung mehrerer Kabel ist etwas weniger aussagekräftig, aber einfacher durchzuführen. Verwenden Sie zwei Patchkabel aus dem Los als Referenz und nullen Sie damit das Messgerät. Anschliessend setzen Sie ein weiteres Patchkabel dazwischen ein, um den ersten Wert zu nehmen (Messung an einem Verbinder, da bereits einer referenziert ist). Ebenso gehen Sie mit dem zweiten und den weiteren Kabeln vor. Errechnen Sie die erhaltene Dämpfung durch die Anzahl der Verbindungen. Daraus ergibt sich ein typischer Wert pro Verbinder. Je mehr Patchkabel verwendet werden, desto aussagekräftiger ist die Messung. Die Anzahl der Patchkabel entspricht der Anzahl messbarer Übergänge. Die Faserdämpfung kann hierbei vernachlässigt werden, da sie  $<0.4\text{dB/km}$  ist.

Anmerkung: Generell liegen die Kosten für Tests niedriger als der Aufwand, der für die Fehlersuche und Reparatur in einem bereits installierten Netzwerk betrieben werden müsste.

## 7. Quellen und weitere Informationen

Weitere Informationen zu Produkten und Lösungen von R&M finden Sie auch im Internet unter:  
[www.rdm.com](http://www.rdm.com)