

GIGABIT ETHERNET: MULTI- OF SINGLEMODE GLASVEZEL?

Ivar Koren, Diamond Kimberlit

Met de groeiende vraag naar VOIP (Voice over IP), video-streaming, teleconferencing en cloud networking worden de datasnelheden in een glasvezel datacommunicatienetwerk noodzakelijkerwijs opgevoerd tot 10 gigabit ethernet en zelfs nog hoger. Deze hogere snelheden kunnen de indruk wekken dat singlemode fiber (SMF) een toenemend voordeel heeft ten opzichte van multimode fiber (MMF) bij (lokale) toepassingen. Echter, een hogere ethernet datasnelheid betekent niet per definitie een keuze voor een singlemode glasvezel.

Hoewel de SMF duidelijke voordelen heeft in termen van een grotere optische bandbreedte en een lager dempingverlies over langere afstanden, ondersteunt MMF gemakkelijk de meeste afstanden binnen en buiten het gebouw in point-to-point netwerken. Met de nieuwe generatie OM4 MMF kunnen in het golflengtevenster van 850 nanometer, ethernet transmissies voor de objectkoppelingen op een campus worden ondersteund van 1 Gb/s tot 1100 meter en 10 Gb/s tot 550 meter lengte.

Daarnaast is MMF eenvoudiger te installeren en aan te sluiten; dit dankzij de grotere vezelkernen van 50 of 62.5 micrometer ten opzichte van de kleine 9 micrometer vezelkern voor de SMF. Bovendien is de opto-elektronica die wordt gebruikt bij MMF in het algemeen goedkoper dan voor het singlemode systeem. De meest gebruikte lichtbron in multimode systemen is de vertical-cavity surface-emitting laser (VCSEL - voor de golflengte 850 en 1300 nanometer (nm)). Hierin is 850nm de primaire golflengte voor het systeem ten gevolge van de beschikbaarheid van goedkope small form-factor pluggable (SFP) transceiver modules. MMF kan in de volgende categorieën worden ingedeeld, conform de bandbreedte:

- OM1 type met 62.5µm kernglas en 125µm mantelglas diameter
- OM2 type met 50µm kernglas en 125µm mantelglas diameter
- OM3 Laser Optimized type met 50µm kernglas en 125 µm mantelglas diameter
- OM4 Laser Optimized type met 50µm kernglas en 125 µm mantelglas diameter

Alle multimode in de bovenstaande categorieën zijn van het zogenaamde type

| Core Diameter | Detail Product Specification | | | Network Cabling Standard | |
|---------------|------------------------------|----------------|---------|--------------------------|---------------------|
| | TIA-492 | IEC-60793-2-10 | ITU-T | TIA-568 | OM Fiber Type (TIA) |
| 62.5µm | 492AAAA-A | Type A1b | --- | TIA 492AAAA | OM1 |
| 50µm | 492AAAB-A | Type A1a.1 | G.651.1 | TIA 492AAAB | OM2 |
| 50µm | 492AAAC-B | Type A1a.2 | G.651.1 | TIA 492AAAC | OM3 |
| 50µm | 492AAAD | Type A1a.3 | G.651.1 | TIA 492AAAD | OM4 |

Table 1: Industry Standard Designations for MMF

graded-index en zijn compliant met de in de industrie geldende normen en -terminologie voor glasvezel. Hierbij dient vermeld te worden dat de Laser Optimized MultiMode Fiber (LOMMF) 50/125µm type OM3 en OM4 worden aanbevolen voor de hedendaagse gigabit ethernetapplicaties bij gebruik in Local Area Networks (LAN) en Data Center (DC). In tabel 1 een overzicht van de industriestandaard aanduidingen voor MultiMode Fiber (MMF).

In het algemeen geldt dat hoe hoger het OM numerieke cijfer is, hoe groter de bandbreedte systeemprestaties zijn voor het type MMF. De keuze voor het type MMF wordt bepaald door de vraag "Welke afstand in meters (m) kan worden bereikt op een bepaalde data overdrachtsnelheid bij een specifiek kanaalverlies in deciBell (dB)?" Het overheersende netwerkprotocol in het Local Area Network (LAN) en het Wide Area Network (WAN) is ethernet. De Storage Area Networks (SAN's) vertrouwen voornamelijk op het Fibre Channel (FC) netwerkprotocol. In de onderstaande tabel 2 het overzicht voor de ethernet data-

snelheden, waarin de blauw gearceerde rijen en kolommen de aanbevolen implementaties zijn binnen LAN's en DC's. Bij de toepassing van 40G* en 100G* Ethernet wordt deze datasnelheid mogelijk gemaakt door middel van 4x10G of 10x10G parallelle TX/RX kanalen die zijn ondergebracht op een quad small form-factor pluggable plus module (QSFP+).

Hiervan is de optical interface gestandaardiseerd op een MPO/MTP-connector met twaalf ribbon fibers; dit in tegenstelling tot de lagere 1G en 10G ethernet datasnelheden waarvan het TX/RX kanaal veelal is gestandaardiseerd op één simplex of één duplex LC-connector.

Om compatibiliteit te kunnen bieden tussen de QSFP+ met de bestaande passieve patchpanels met 24 of 48 LC outlets en de traditionele kabelcapaciteiten die zijn opgebouwd uit meerdere samengeslagen enkelvoudige vezels, kan deze worden voorzien van een hybride fiber fan-out met een enkele MPO/MPT naar meerdere simplex of duplex LC's.

| Network Protocol | Rate (GBS) | Wavelength | OM1 | OM2 | OM3 | OM4 |
|--------------------------------|------------|------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| "Fast" Ethernet: 10/100BASE-SX | 0.1 | 850 nm | 300m (4.0dB) | 300 m (4.0 dB) | 300m (4.0dB) | 300m (4.0dB) |
| "Fast" Ethernet: 1000BASE-FX | 0.1 | 1300 nm | 2000m (11.0dB) | 2000m (6.0dB) | 2000m (6.0dB) | 2000m (6.0dB) |
| Gigabit Ethernet: 1000BASE-SX | 1 | 850 nm | 300m (2.6dB) | 750m (3.6dB) | 1000m (4.5dB) | 1100m (4.8dB) |
| Gigabit Ethernet: 1000BASE-FX | 1 | 1300 nm | 550m (2.3dB) | 600m (2.3dB) | 600m (2.3dB) | 600m (2.3dB) |
| 10G Ethernet: 10GBASE-SR | 10 | 850 nm | 33m (2.6dB) | 150m (2.6dB) | 300m (2.6dB) | 550m (2.6dB) |
| 10G Ethernet: 10GBASE-LX4 | 10 | 1300 nm | 300m (2.6dB) | 300m (2.0dB) | 300m (2.0dB) | 300m (2.0dB) |
| 10G Ethernet: 10GBASE-LRM | 10 | 1300 nm | 220m (1.9dB) | 220m (1.9dB) | 220m (1.9dB) | 220m (1.9dB) |
| 40G Ethernet: 40GBASE-SR4 | 40* | 850 nm | -- | -- | 100m (1.9dB) | 150m (1.5dB) |
| 100G Ethernet: 100GBASE-SR10 | 100* | 850 nm | -- | -- | 100m (1.9dB) | 150m (1.5dB) |

Table 2: Ethernet Data Rates for LAN and DC



| Network Protocol | Rate (GBS) | Wavelength | SMF |
|--------------------------------|------------|------------|-------|
| Gigabit Ethernet: 1000BASE-LX | 1 | 1310 nm | 10 Km |
| Gigabit Ethernet: 1000BASE-EX | 1 | 1550 nm | 40 Km |
| Gigabit Ethernet: 1000BASE-ZX* | 1 | 1550 nm | 80 Km |
| 10G Ethernet: 10GBASE-LR | 10 | 1310 nm | 10 Km |
| 10G Ethernet: 10GBASE-ER | 10 | 1550 nm | 40 Km |
| 10G Ethernet: 10GBASE-ZR* | 10 | 1550 nm | 80 Km |
| 40G Ethernet 40GBASE-LR4 | 40 | 1310 nm | 10 Km |
| 100G Ethernet 100GBASE-LR4 | 100 | 1310 nm | 10 Km |
| 100G Ethernet 100GBASE-ER4 | 100 | 1310 nm | 40 Km |

Tabel 3: Ethernet Data Rates for LAN

| Macrobend Loss BIMMF | | | |
|----------------------|-----------------|--------------------------|--------|
| Mandrel Radius (mm) | Number of Turns | Induced Attenuation (dB) | |
| | | 850nm | 1300nm |
| 37.5 | 100 | ≤ 0.05 | ≤ 0.15 |
| 15 | 2 | ≤ 0.1 | ≤ 0.3 |
| 7.5 | 2 | ≤ 0.2 | ≤ 0.5 |

Tabel 4: Bend-Insensitive Multimode Loss Requirements

In tabel 3 zijn de Gigabit Ethernet datasnelheden opgenomen voor de single mode golflengte 1310nm en 1550nm, hierin is de ZX* module geen standaard in de IEEE-norm.

Met de introductie van Bend Insensitive Singlemode Fibers (BISMF) begin 2004 voor Fiber to the Home (FTTH) wordt het installatiegemak vergroot. Dit is mogelijk doordat de minimale buigradius ($\geq 37.5\text{mm}$) van de vezel verkleind kan worden zonder extreem hoge macro-bend verliezen te veroorzaken. De buigingsongevoeligheid van multimode vezel 62.5/125 is altijd meer geweest dan voor multimode 50/125 en 9/125 singlemode, maar met de komst van 10G ethernet datasnelheden en hoger (tabel 2) zijn lagere dempingverliezen (dB) per kanaal vereist dan bij vorige tragere OM1 en OM2 generaties ethernet. Dit betekent in de praktijk dat de vezellengte een beperkt aantal manipulatiepunten kent; dit om weinig of geen concessies te doen aan het gestelde linkbudget om de datasnelheid te kunnen garanderen voor de maximaal gestelde afstand. Of dit in de praktijk haalbaar is wordt mede bepaald door de keuze voor de diverse componenten, de passieve opbouw van het glasvezel datacommunicatienetwerk, de omgevingsinvloeden en de condities waar de hoge datasnelheden

op OM3 en OM4 MMF moeten volstaan. Het verhogen van de aansluitdichtheid per eenheid en compacte(re) rack opstellingen resulteren veelal in installaties die gepaard gaan met vezels die een verhoogd macro-bendingverlies vertonen. Met de komst van de nieuwe generatie OM3 en OM4 Bend Insensitive Multimode Fibers (BIMMF) zal dit een uitkomst zijn binnen de LAN's en DC's. In tabel 4 zijn de buig en dempingspecificaties opgesteld voor de BIMFF.

SINGLEMODE GLASVEZEL

Als de afstanden te groot worden voor multimode vezel om de datasnelheden te kunnen garanderen binnen LAN, dient de migratie naar een singlemode (SM) vezel te worden gemaakt. Voor singlemode wor-

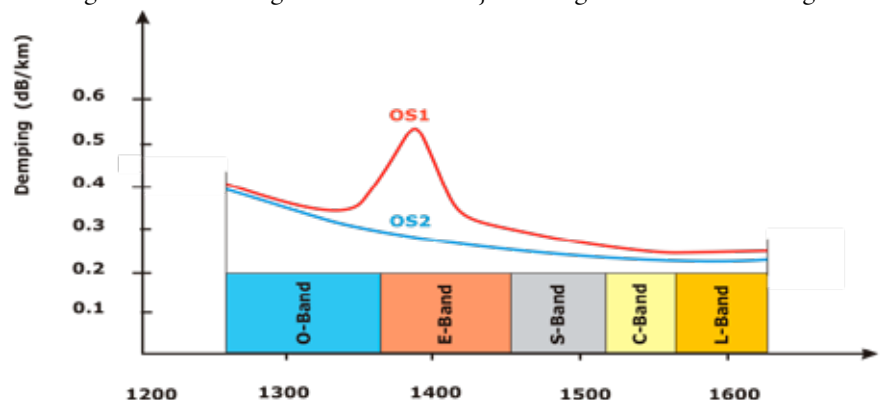
den als basisgolflengten 1310 nanometer (O-Band) en 1550 nanometer (C-Band) gebruikt; hierbij zijn de C- en L-Band het golflengtespectrum voor de lange afstanden. Het optical window voor de singlemode kan als volgt worden opgedeeld volgens ITU-T en IEC normering:

- O-Band (1260nm tot 1310nm)
- E-Band (1360nm tot 1460nm)
- S-Band (1460nm tot 1530nm)
- C-Band (1530nm tot 1565nm)
- L-Band (1565nm tot 1625nm)

Het gebruik van lange golflengte (1550 nanometer) wordt gekenmerkt door minder absorptie en verstrooiingsverschijnselen (Rayleigh Scattering) per kilometer vezel (figuur 1). Dit betekent in de praktijk dat één kilometer vezel bij 1310 nm ongeveer 0.40 dB/km verzwakt; voor 1550 nm is dit ongeveer 0.25 dB/Km. Er is dus een winst van 0.15 dB/km op de lange(re) golflengte bij grote(re) afstanden. Singlemode kan in de volgende categorieën worden ingedeeld, conform maximale demping;

- G.652B type met 9 μm kernglas en 125 μm mantelglas diameter (Standaard SMF)
- G.652D type met 9 μm kernglas en 125 μm mantelglas diameter (Low Water Peak)
- G.657A type met 9 μm kernglas en 125 μm mantelglas diameter (Low Water Peak Bend Insensitive)

De G.652B (OS1) is een veel gebruikte standaard singlemode glasvezel voor het LAN en WAN netwerk. Hierin zijn de G.652D en G.657A (OS2) de verbeterde typen. Met de groeiende vraag naar bandbreedte dient de singlemode glasvezel transmissietechnisch gezien over steeds betere eigenschappen te beschikken voor *alle optische bandbreedten* tussen de golflengten 1260nm en 1625nm. Zo is het met het type G.652D en G.657A mogelijk geworden om zogenaamde Low Water Peak glasvezels te creëren die in de E-Band geen hoge dempingen meer veroorzaken door OH-absorptie. Hierdoor is een extra band ter beschikking gekomen in het golflengtevenster van 1360nm tot 1460nm; dit was bij eerdere generaties G.652B single mode



Figuur 1: Spectrale dempingkarakteristiek OS1 en OS2.

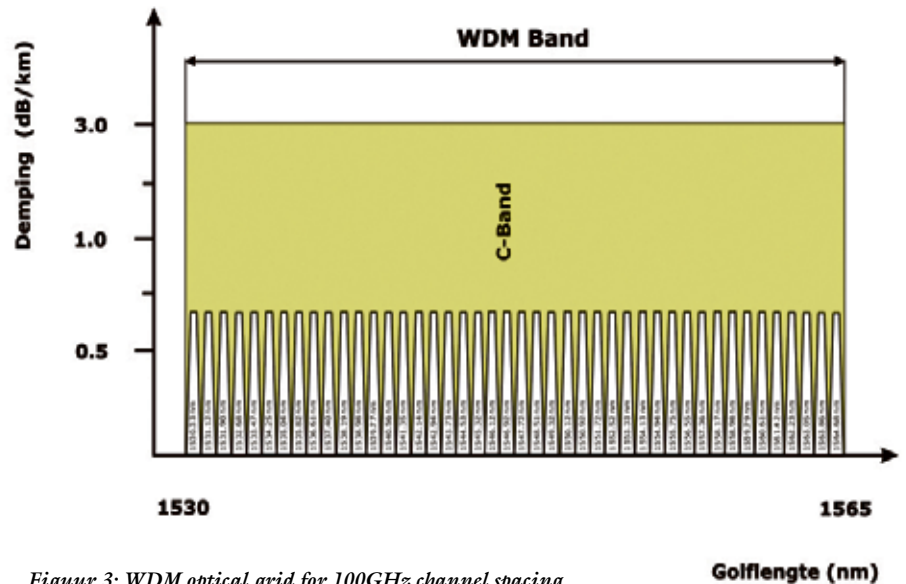
glasvezel niet denkbaar vanwege de zeer hoge dB/km. In figuur 1 is de spectrale dempingkarakteristiek weergegeven voor de OS1 en OS2 singlemode vezel. Hierin is duidelijk te zien dat de OS1 een hoge OH-absorptiepiek kent rond 1400 nanometer. Bij de OS2 is deze gereduceerd en kunnen de Low Water Peak singlemode vezels worden ingezet voor wavelenght division multiplexing-systemen (WDM) die transmissies mogelijk (gaan) maken van 1260 nanometer tot aan 1625 nanometer.

GOLFLENGHTEN MULTIPLEXEN

Wave Division Multiplexing-applicaties (WDM) worden onderverdeeld naar hun golflengtespectrum: coarse (CWDM)- en dense-WDM (DWDM). Met de komst van de Low Water Peak singlemode glasvezels en de ongekoolde SFP modules met DFB lasers is het CWDM ten opzichte van het DWDM een eenvoudige en goedkopere methode om golflengte(n) te kunnen 'multiplexen' over één enkele singlemode glasvezel. De 18 genormeerde (G.694.2) golflengten liggen breed verspreid over de golflengteband van 1271nm tot aan 1611nm. Met een kanaalafstand van 20 nanometer, zie figuur 2. Elk kanaal kan werken op een datasnelheid van 1, 2.5, 4 of 10 Gbit/s en kan bovendien *protocol onafhankelijk* naast elkaar draaien. Deze oplossing is geschikt voor onder meer Ethernet, Fibre Channel, SDH-SONET of OTN.

CWDM kan niet optisch worden versterkt omdat de meeste kanalen buiten het venster van de erbium-doped fiber amplifier (EDFA) vallen. Dit resulteert in een systeembereik van ongeveer 100 kilometer voor het CWDM. Vanwege de bredere kanaalafstand in CWDM en de goedkopere ongekoolde lasers, heeft CWDM een groot kostenvoordeel ten opzichte van een dense wavelenght-division multiplexing (DWDM) systeem.

Bij conventionele WDM systemen moeten de DFB lasers stabiel worden gehouden met betrekking tot hun temperatuur om een golflengtedrift te minimaliseren. In te-



Figuur 3: WDM optical grid for 100GHz channel spacing.

genstelling tot het CWDM zal een WDM of DWDM systeem zich beperken tot de conventionele band van 1550 nm (C-Band). Het standaard WDM systeem voorziet in 4, 8 of 16 beschikbare kanalen met een kanaalafstand van 1.6nm (200 GHz) om over één enkele singlemode glasvezel te multiplexen.

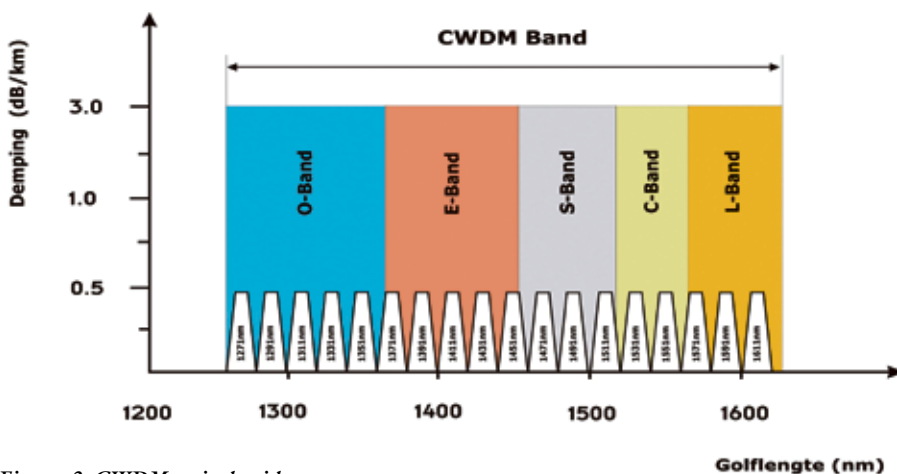
Bij DWDM kan de dichtheid van het aantal te multiplexen golflengten worden verhoogd naar 40 kanalen door de kanaalafstand te verkleinen naar 0.8nm (100 GHz), figuur 3, of door deze kanaalafstand nog eens verder te halveren naar 0.4nm (50 GHz). Op die manier voorziet het systeem in 80 kanalen. Deze dichtere kanaalscheiding vereist strenge controle van de golflengten en dus duurdere gekoelde DFB lasers. In tegenstelling tot coarse wavelenght division multiplexing (CWDM) maakt het DWDM gebruik van DFB lasers met een veel hoger uitgangsvermogen en kan met erbium-doped fiber amplifier (EDFA- optische versterkers), het systeembereik worden vergroot tot meer dan 1500 kilometer voor de C-Band. Met de komst van het Ultra Dense WDM (UDWDM) die

kanaalbreedtes kent van 0.2nm (25GHz) voor 160 kanalen en nieuwe (Raman) optische versterkingen, kan de bandbreedte (nog) verder worden opgevoerd om ook in de L-Band te kunnen gaan golflengte multiplexen. Dit gebeurt met 10 Gbit/s per kanaal voor onder meer Ethernet, Fibre Channel, SDH-SONET of OTN.

CONNECTOR INVLOEDEN

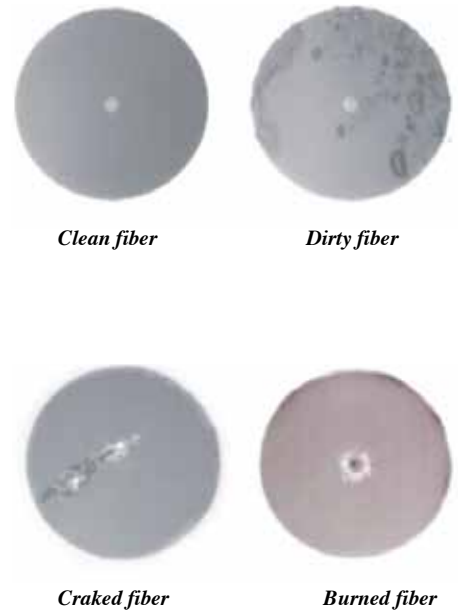
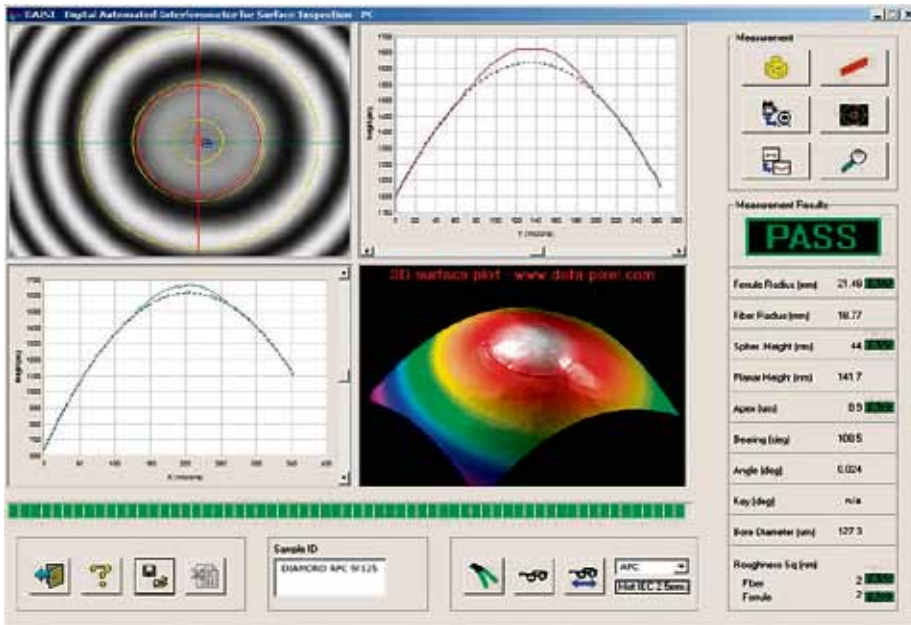
Bij het gebruik van optische connectoren is het belangrijk dat ze schoon en onbeschadigd zijn. Vervuilde en beschadigde stiftcontacten met gepolijste glasvezeloppervlakte, resulteren in een degradatie van het teruggereflecteerde vermogen (Return Loss) IEC 61300-3-6 en het doorgestraalde vermogen (Insertion Loss) IEC 61300-3-4. Met de komst van de hoge gigabit ethernetsnelheden op de singlemode worden nu ook voor de multimode de grenzen aangescherpt om de channel loss te beperken op het totale link budget. Een goed gereinigde connector-interface (IEC 61300-3-35) is nog geen garantie dat het systeem is verzekerd van lage Optical Signal to Noise Ratio (OSNR) en Bit Error Rate (BER) voor zowel de analoge als de digitale systemen. Juist de combinatie van de mechanische en de optische interface garandeert een stabiele insertion loss en return loss. Hierbij is de omgevingscategorie een bepalende factor voor de dynamiek die ontstaat op de optical interface. Deze wordt beschreven in de IEC 61753-1 en bestaat uit:

- Categorie C (controlled environment)
- Categorie U (uncontrolled environment)
- Categorie O (outside plant environment)
- Categorie E (extreme environment)



Figuur 2: CWDM optical grid.





Met de groeiende kanaaldichtheid per golflengtevenster neemt het gebundelde vermogen op de glasvezel toe. Een optische multiplexer met 16 kanalen van elk +4 dBm (2.5mW) optisch zendvermogen per kanaal geeft een gebundeld uitgangsvermogen van 40 milliWatt af op de uitgaande vezel van de multiplexer. Een optische versterker type EDFA kan een optisch vermogen afgeven van +33 dBm (2 Watt). Singlemode vezels met hun kleine 9 micrometer kernddoorsnede, lopen hierbij het grote risico dat een vervuiling van enkele micrometer grote gevolgen heeft op de vezelkern (inbranden). Ten gevolge van het hoge optische vermogen absorbeert de microvervuiling de energie en wordt hierbij zo warm worden dat het kernglas smelt.

Hierdoor ontstaat onherstelbare schade aan de singlemode interface. Een goede oplossing voor dit probleem zijn de zogenaamde 'Power Solution singlemode connectoren'. Deze connectoren zijn voorzien van een stukje multimode gradiënt vezel met 40 micron kernglas, waardoor het energieveld op de voorzijde van de optical interface 'open' wordt getrokken'. Hierdoor worden de risico's op inbranden verkleind omdat de vervuiling van enkele micrometer niet zeer hoog opwarmt, zie figuur 4.

Naast het feit dat hoge vermogens een gevaar vormen voor de vezel zelf, is het van belang om ook stil te staan bij de gevaren van het opwarmen van oppervlakte en weefsel; dit kan zorgen voor brand- en verbrandingsgevaar aan ogen, huid en oppervlaktes. Ander bijkomend nadeel van vezels met hoge vermogens zijn de infrarode golflengten die gebruikt worden in de datacommunicatiesystemen. Deze golflengten zijn niet zichtbaar voor het menselijk oog, dat enkel zichtbare golflengtes kan waarnemen van 400 tot 700 nanometer.

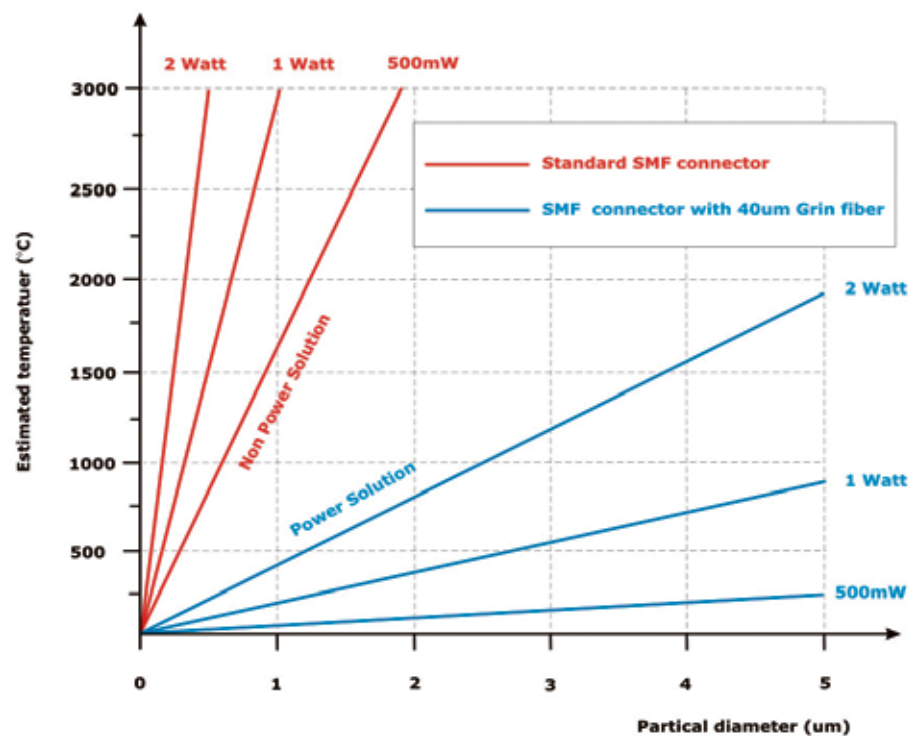
STORING - SCHADE - DEFECTEN

Beschadigde en/of defecte glasvezelconnectoren aan patchcords en -kabels vergroten de kans op storingen en instabiliteit van het datacommunicatiesysteem. Reparatie en vervanging van deze falende componenten dient snel, efficiënt en duurzaam te zijn; eenvoudige montage en flexibele, efficiënte hulpmiddelen zijn hierbij een pré.

Een goed voorbeeld hiervan is de Diamond ZEUS D50 fusion splicer. Dit portable fusielsapparaat combineert eenvoudig en flexibiliteit voor installatie, ombouw en reparatie

aan glasvezelnetwerken. Het service en reparatiepakket van de ZEUS D50 fusion splicer biedt fusiels mogelijkheden voor vezel- of kabelbreuk, fusilassen van ST™, FC, SC, LC™, E-2000™ en Expandend Beam connectoren. Hierbij is de inzet van Bend Insensitive Multimode of Singlemode Fiber geen beperkende factor voor de ZEUS D50.

Diamond Kimberlit levert passende high-tech optical interface oplossingen voor elke glasvezelverbinding.
www.diamond-kimberlit.nl



Figuur 4 Comparison of the estimated contamination temperatures between Power Solution and standard singlemode connector when operated with high power up to 2 Watt.