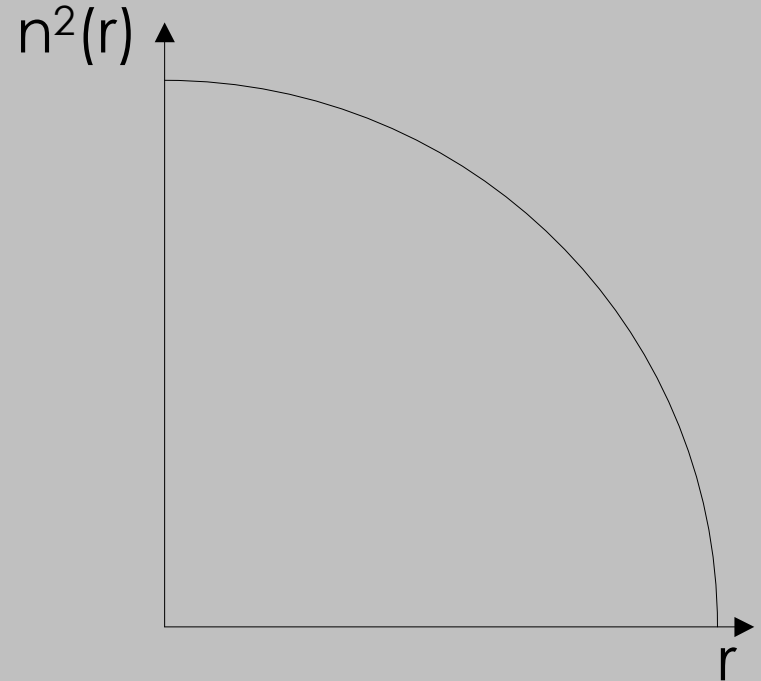
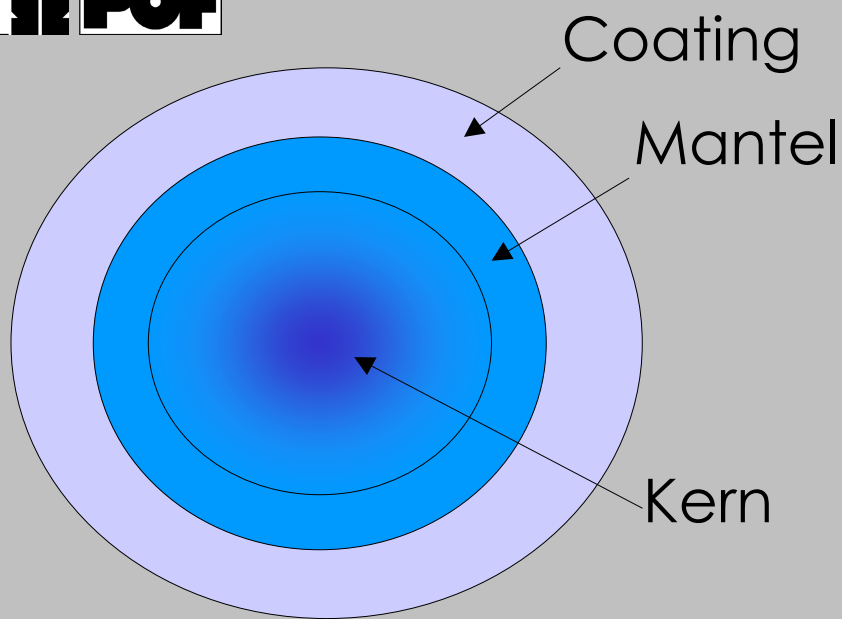


Bandbreitengrenzen von 50 μm /62,5 μm - Multimodefasern

C.-A. Bunge (POF-AC, Nürnberg),
W. Lieber (FH Offenburg)

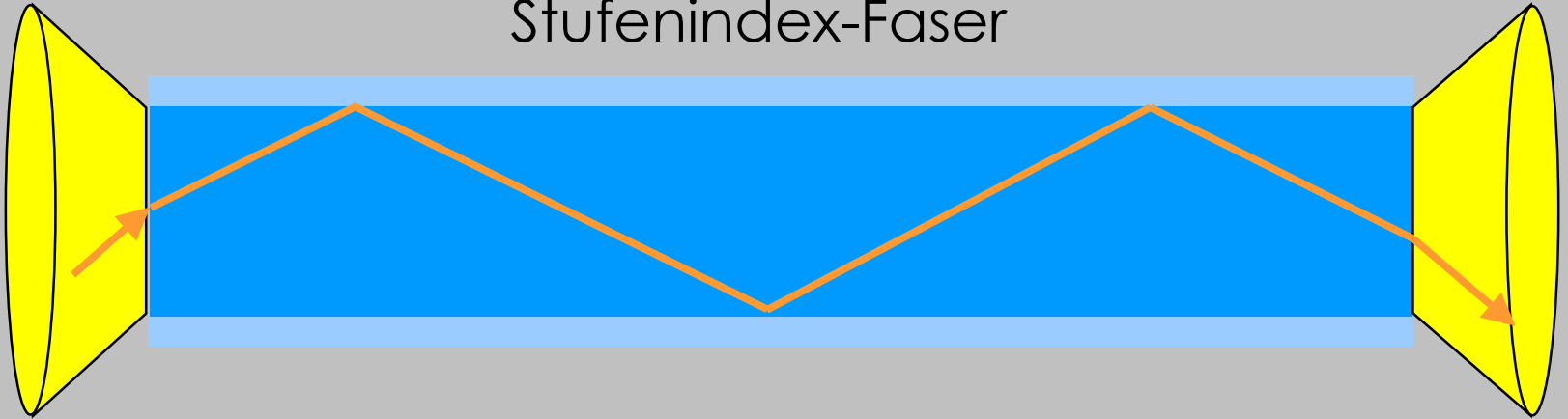
- Aufbau und Dimensionen von MMF
- Einflussgrößen auf Bandbreite
- Möglichkeiten der BB-Erhöhung
- Rekordexperimente
- Große Multimodefasern
- Zusammenfassung

- Einsatz vornehmlich in lokalen Netzen und „very short reach“-Verbindungen
- Preiswerte Komponenten
 - VCSEL-Sender
 - Ungekühlte Bauteile
 - Kurze Reichweiten
- Verbindungslängen unter 1km

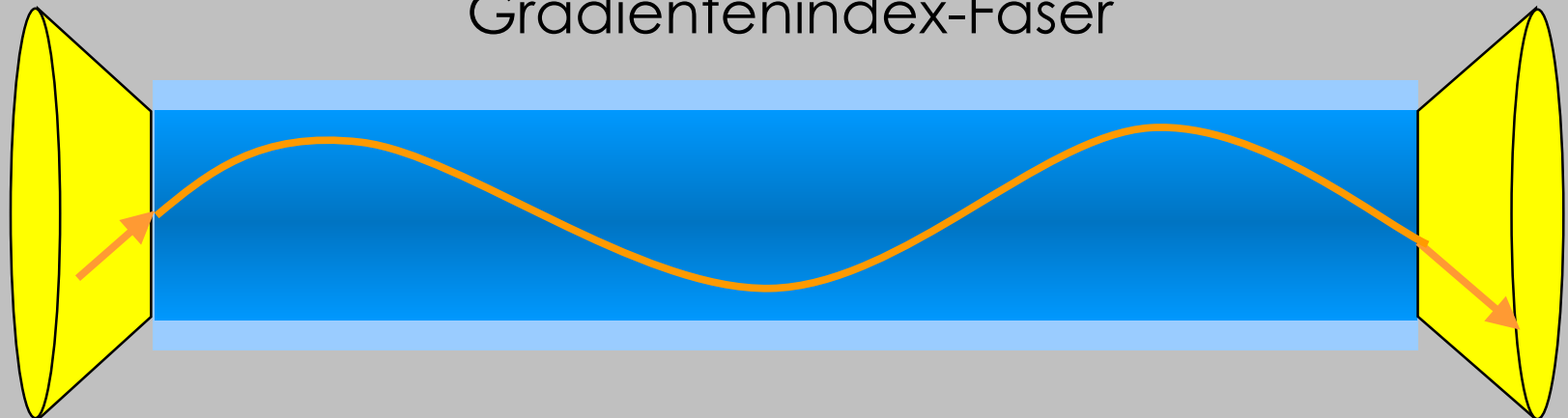


- Gradientenindex
- Kerndurchmesser $50\mu\text{m}/62,5\mu\text{m}$
- Gesamtdurchmesser $125\mu\text{m}$
- $NA=0,2\dots0,225$

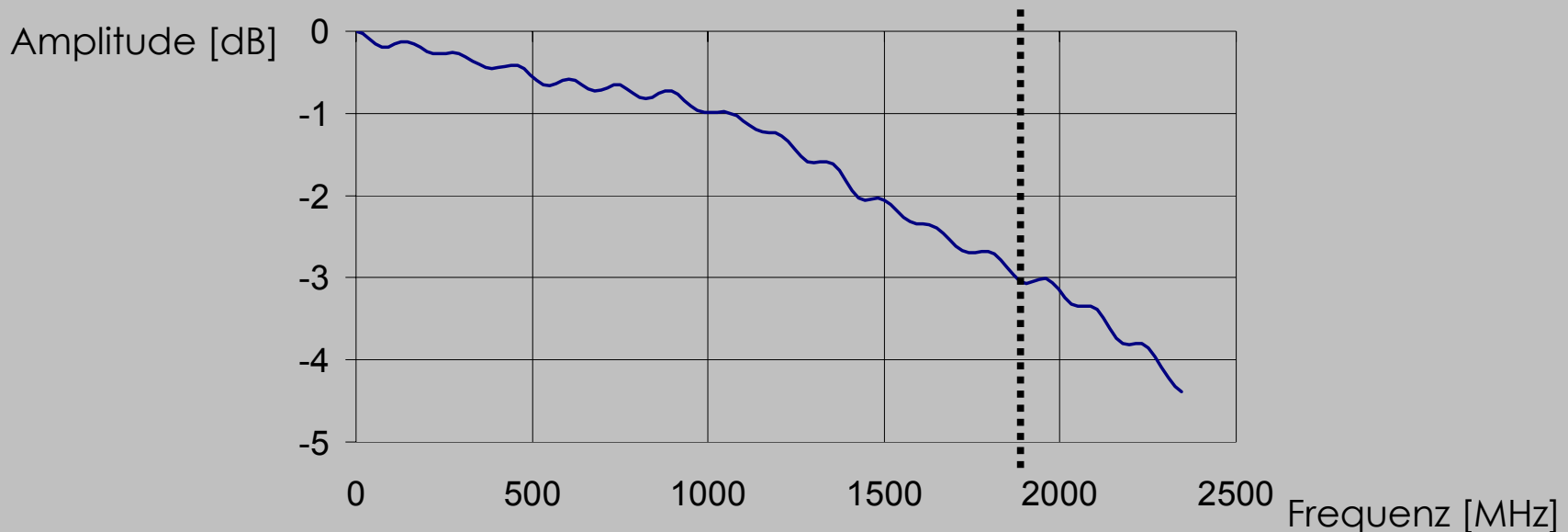
Stufenindex-Faser

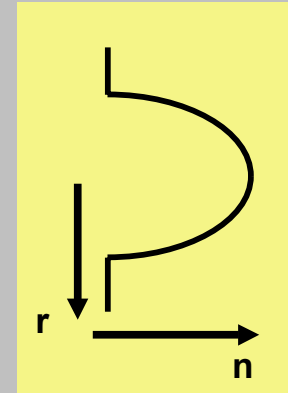
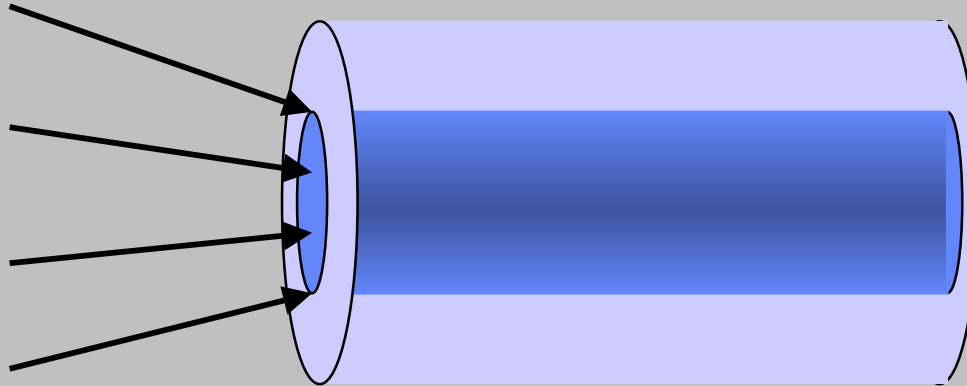


Gradientenindex-Faser



- Frequenzbereich, der übermittlelt werden kann mit definierten Verlusten
- Beschreibt die Übertragungskapazität
- Meist Bandbreiten-Längen-Produkt





Anregungsbedingung

Strahlungsprofil

(Modenstruktur, Abbildung, ..)

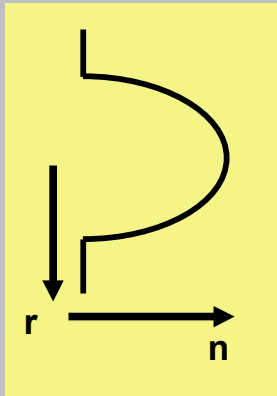
Justagezustand

Fasereigenschaften

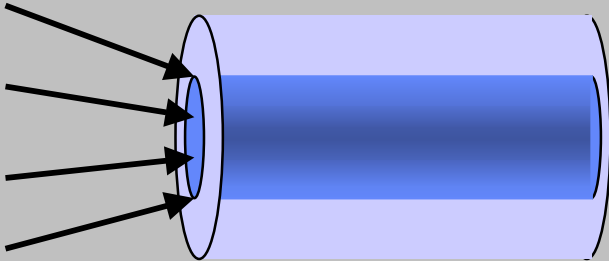
Brechzahlprofil

Durchmesser

Länge



- Brechzahlprofil (evtl. Störungen)
- Profilhöhe
 - Numerische Apertur
 - Brechzahl im Kern
- Länge der Faser
 - Bandbreite umgekehrt proportional zur Länge der Faser (bei Glasfasern)
- Durchmesser hat nur bedingt Einfluss auf Bandbreite
- Einflüsse auf die Modenlaufzeiten

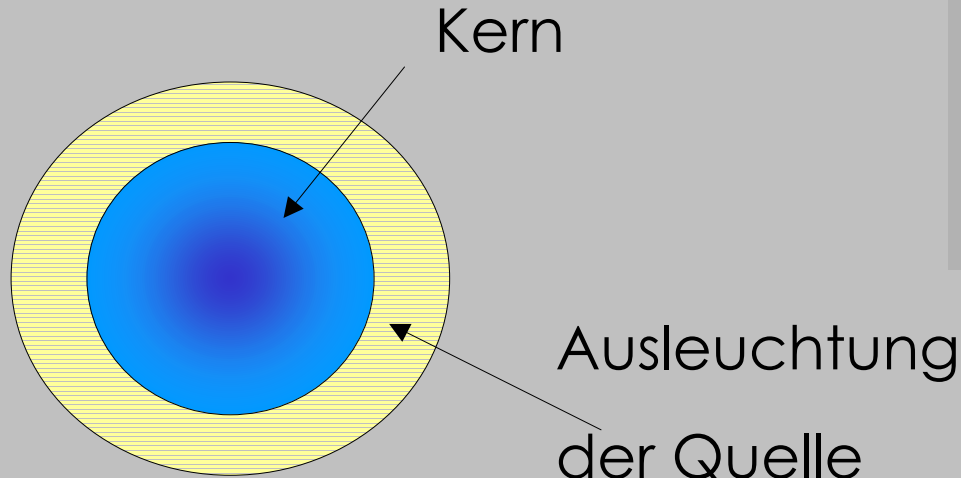


- Abstrahlcharakteristik der Quelle
 - Fernfeld, Nahfeld
- Durchmesser
- Wellenlänge
- Breite des Spektrums
- Seitlicher, axialer, Winkelversatz
- (Geschwindigkeit der Quelle)
- Einfluss auf Modenverteilung

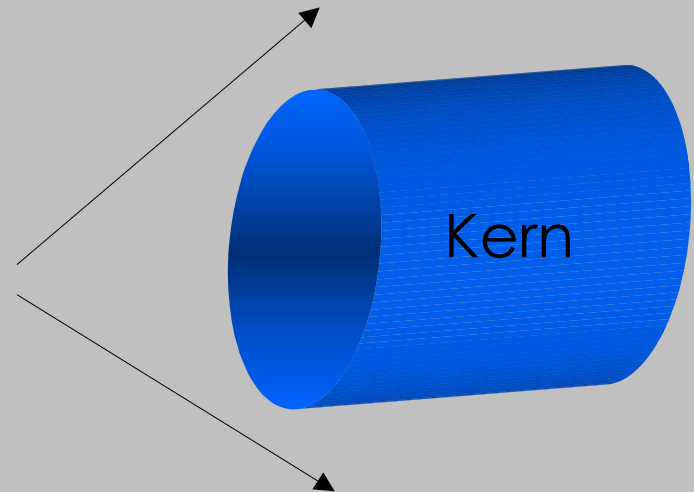


- Größe des Empfängers
- Winkelakzeptanzbereich
- Seitliche, axiale und Winkelversätze
- Führt zu Modenfilterung
 - Kann Bandbreite erhöhen
 - Kann auch zu Modenrauschen führen
- Beeinflusst, welche Moden selektiert werden
- Ähnlicher Effekt wie bei der Quelle

- Bandbreite als Qualitätskriterium für die Faser?
 - Bandbreite von Anregung abhängig
 - Definition der Anregung
 - Übertragung der Bandbreitenangabe auf andere Anregungsbedingungen?
 - Allgemeineres Qualitätskriterium: DMD
- Standard-Anregungen
 - Overfilled Launch (OFL)
 - Restricted Mode Launch (RML)
 - DMD

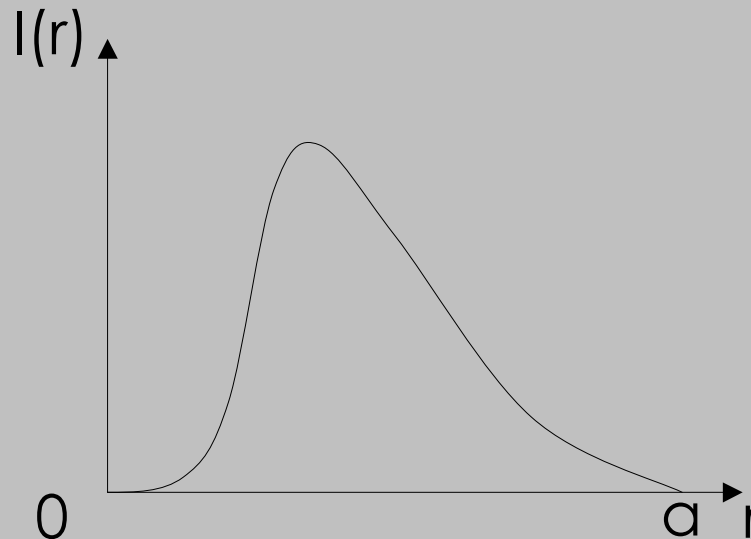


Überstrahlung der Faser nach Ort und Winkel

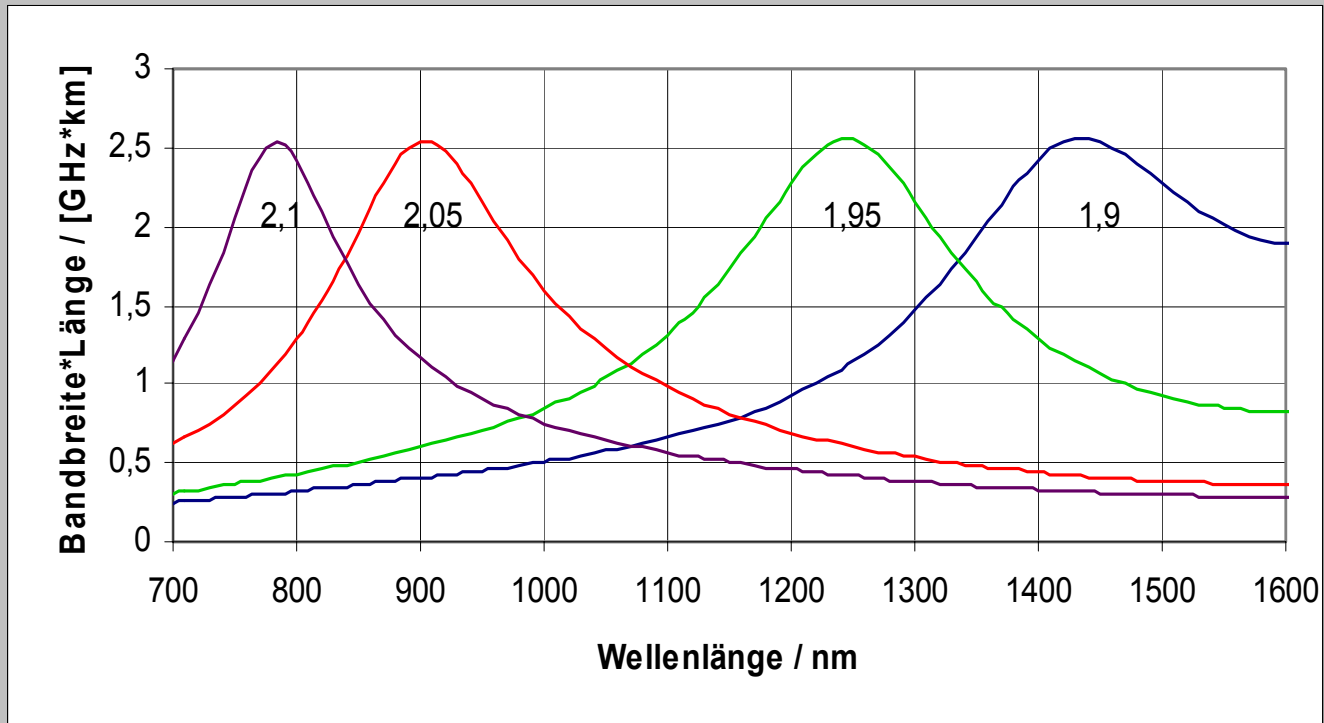


- Fläche des Kerns voll ausgeleuchtet
- Abstrahlwinkel größer als numerische Apertur

- Teilweise Anregung der Faser
- Abstrahlcharakteristik ähnlich der eines oberflächen-emittierenden Lasers
- Vermeidung von zu viel Leistung
 - Um die Faserachse herum
 - Im Bereich der Kern-Mantel-Grenzfläche

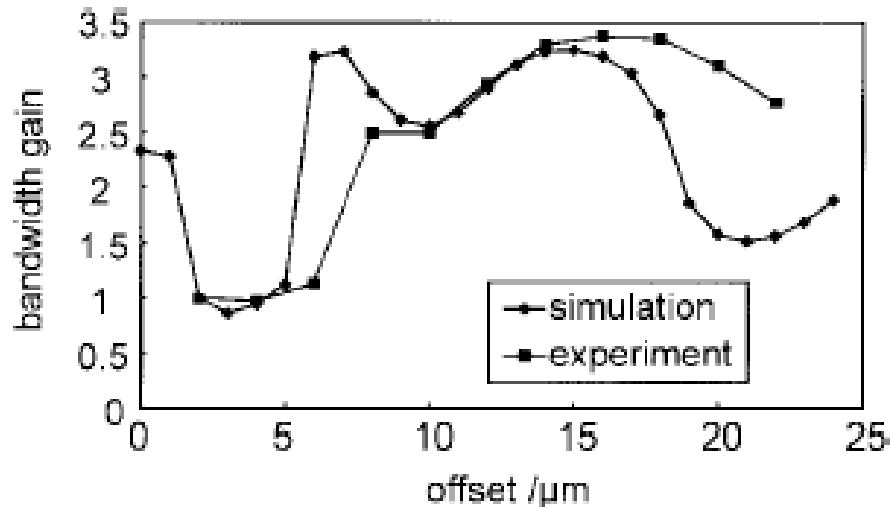


- Bandbreiten-Längen-Produkt für 850nm und 1,3µm angegeben (OFL):
 - 160 MHz*km – 500 MHz*km @ 850nm
 - 400 MHz*km – 500 MHz*km @ 1,3µm
 - 500/500 Optimum
- „New Generation Fibre“ für 10GBE:
 - Auf 850nm optimiert
 - Garantiert 2000 MHz*km (RML)
 - Muss DMD-Kriterium erfüllen (zusätzlich)

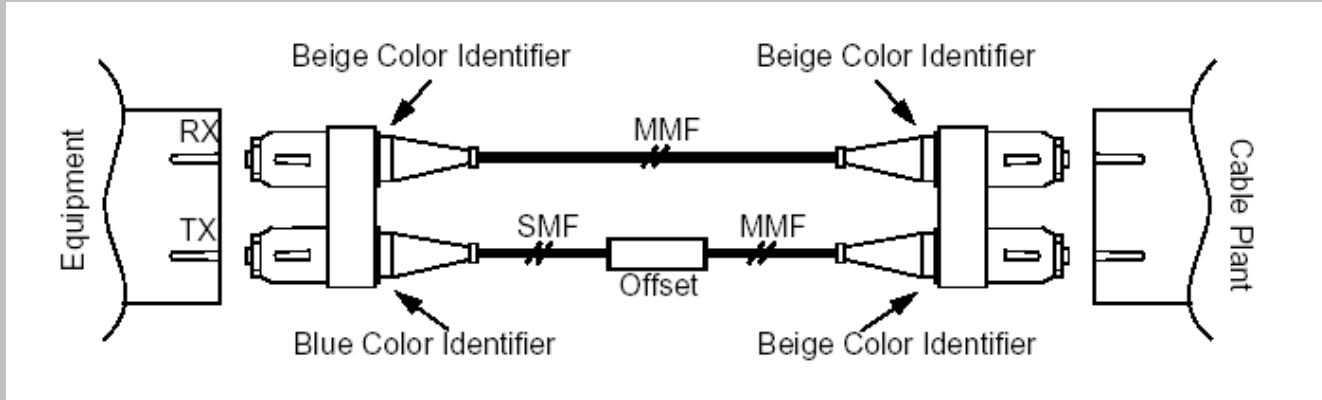


- Profil kann nur für eine Wellenlänge optimiert werden

- Patchcords mit seitlichem Versatz von $10\mu\text{m}$ - $17\mu\text{m}$
- Für $1,3\mu\text{m}$ -Laserlaunch in Standard aufgenommen



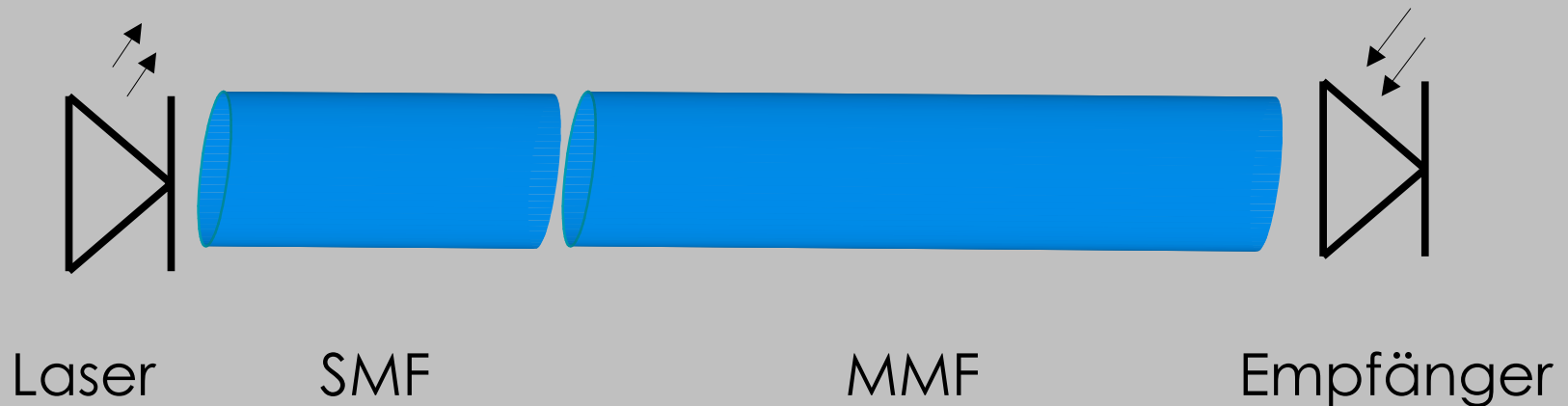
aus: Raddatz et al.,
J. Light. Tech. Vol. 16,
No. 3, 03/2002



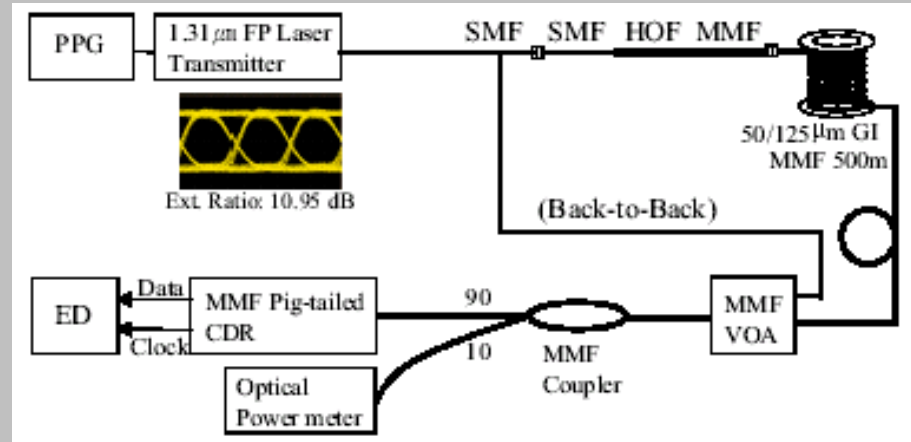
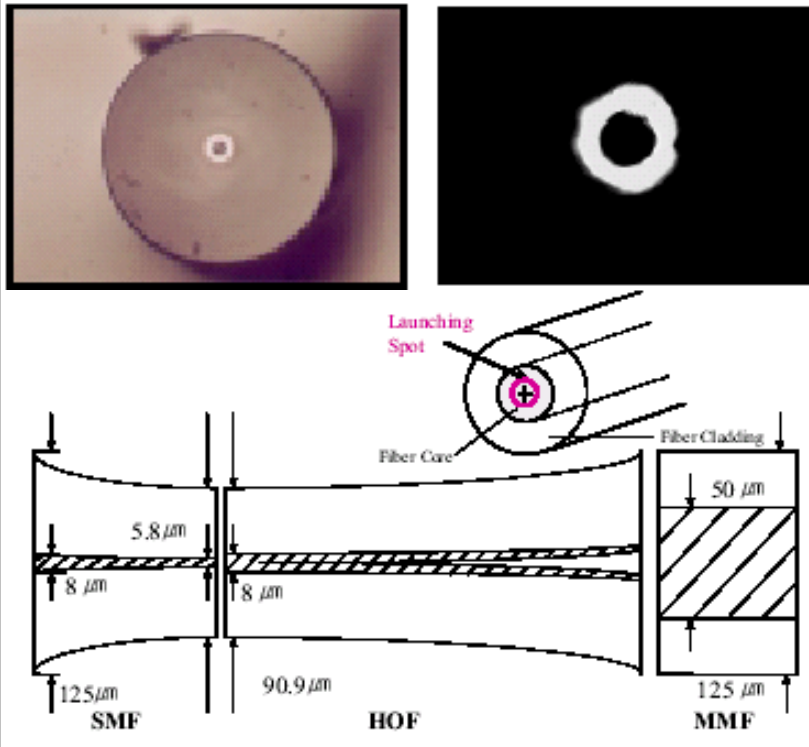
| Description | 62.5 μm MMF | 50 μm MMF | Unit |
|---|---------------------------|---------------------------|---------------|
| Maximum insertion loss | 0.5 | 0.5 | dB |
| Coupled Power Ratio (CPR) | $28 < \text{CPR} < 40$ | $12 < \text{CPR} < 20$ | dB |
| Optical center offset between SMF and MMF | $17 < \text{Offset} < 23$ | $10 < \text{Offset} < 16$ | μm |
| Maximum angular offset | 1 | 1 | degree |

aus: *IEEE 802.3z, Kapitel 38*

- SMF Centre Launch
 - Nur der Bereich um Faserachse genutzt
 - Wenige Moden
 - Nur möglich ohne Dip

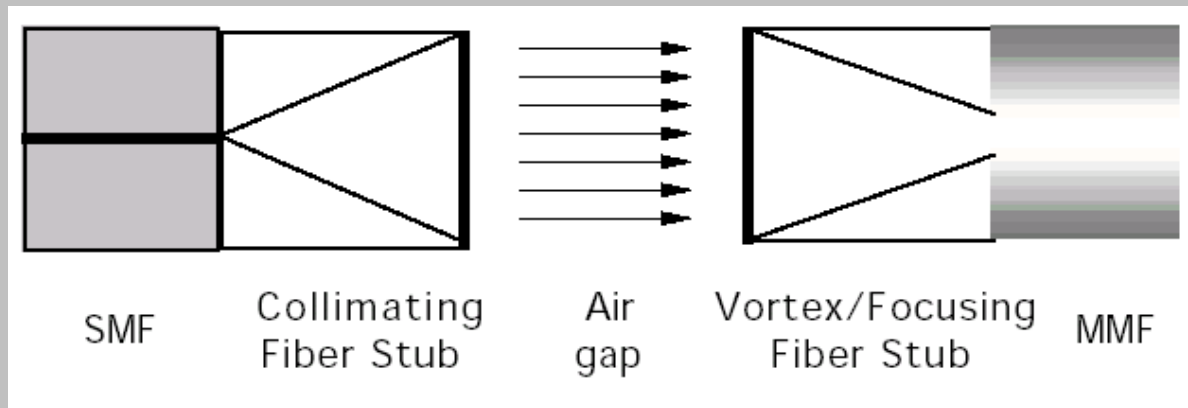


- Doughnut/Ring-Anregung
- Wenige, kreissymmetrische Moden

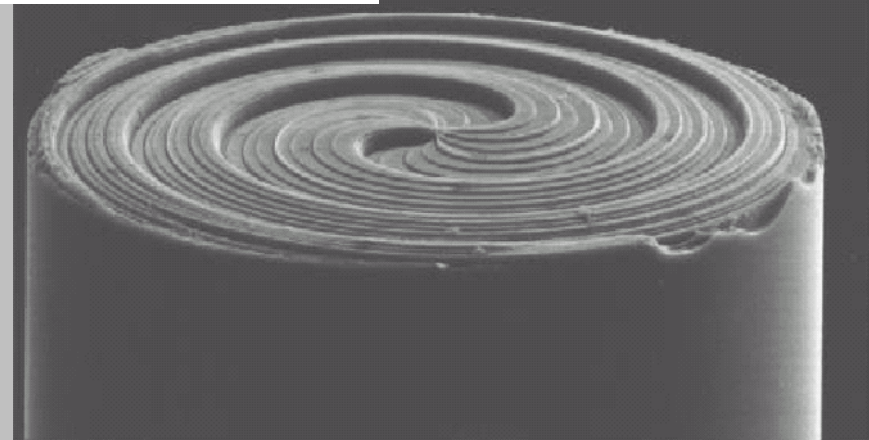


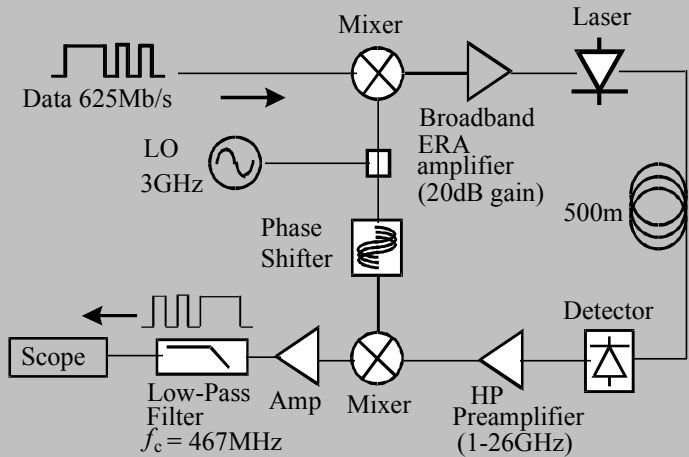
aus: Choi et al., ECOC 2001, Amsterdam

- Spiral-Einkopplung
- Moden mit bestimmter Umfangsordnung werden angeregt



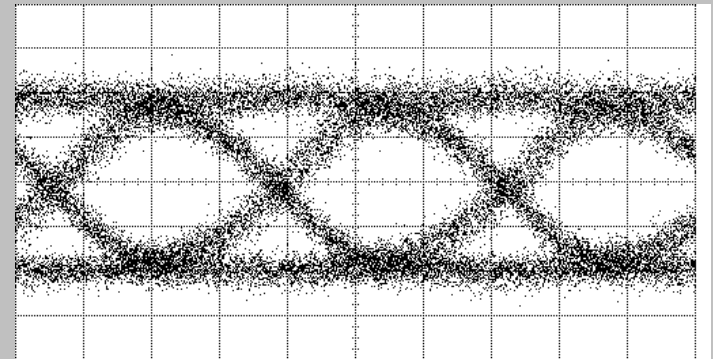
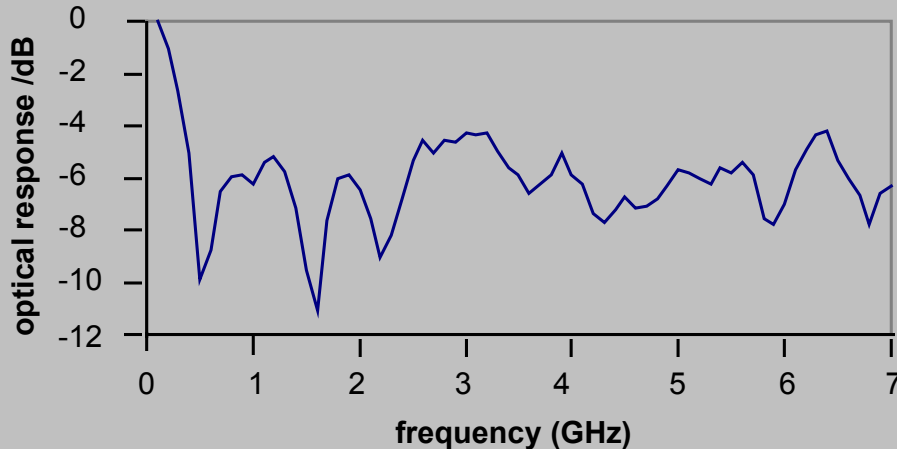
aus: *Johnson et al.,
TIA FO 2.2.1 Meeting,
Boulder, CO, 29.09.2000*





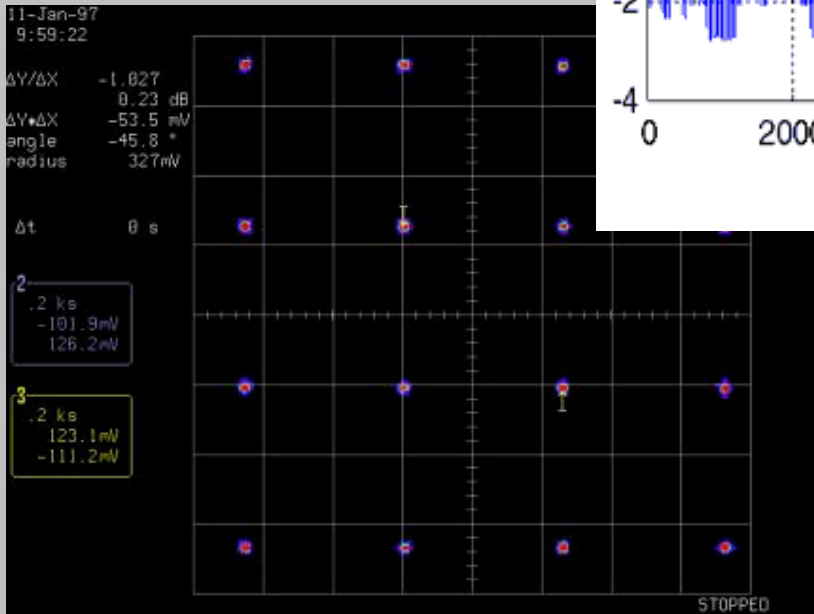
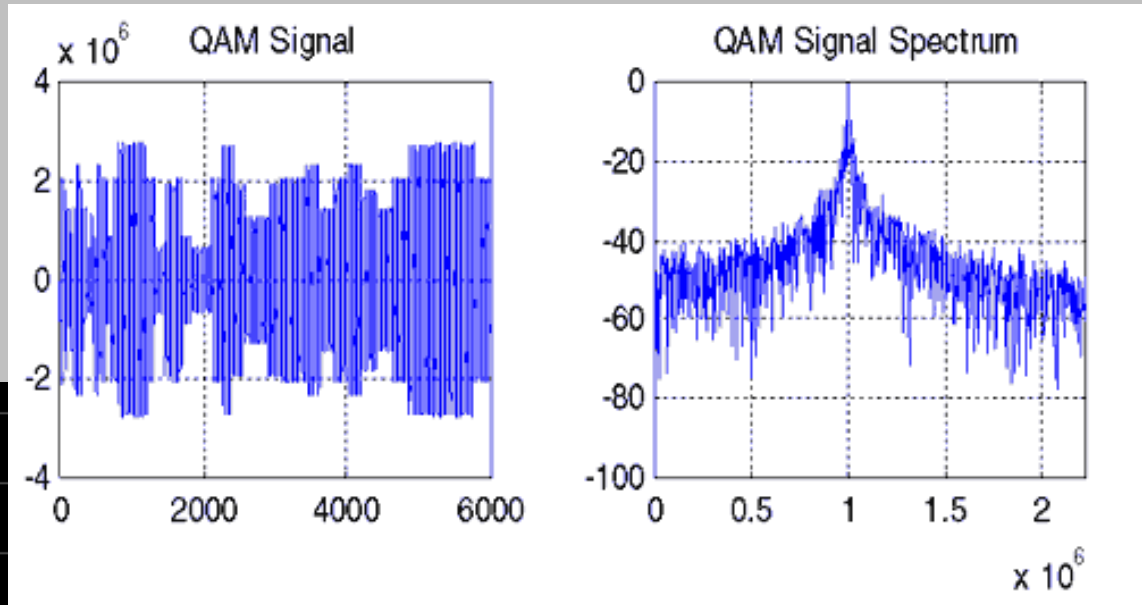
- Trägerfrequenzmodulation
- Flacher Bereich jenseits des Basisbands

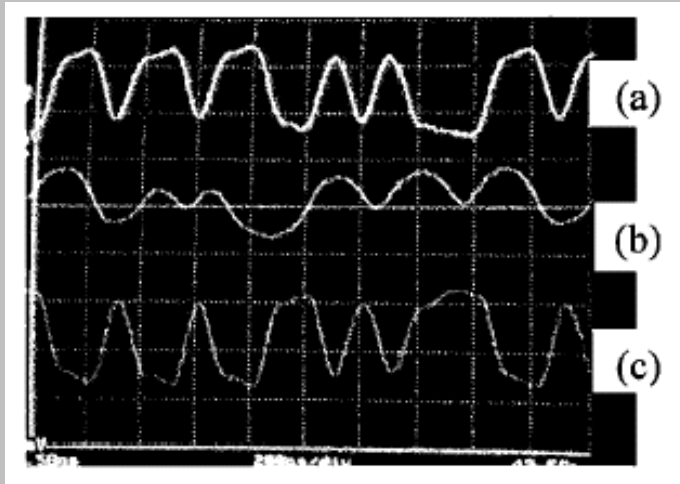
aus: Tyler et al., ECOC 2000, pp. 55-56, München



Auge bei 1 Gb/s, 500m

- Mehrstufige Modulation (eg. QAM)

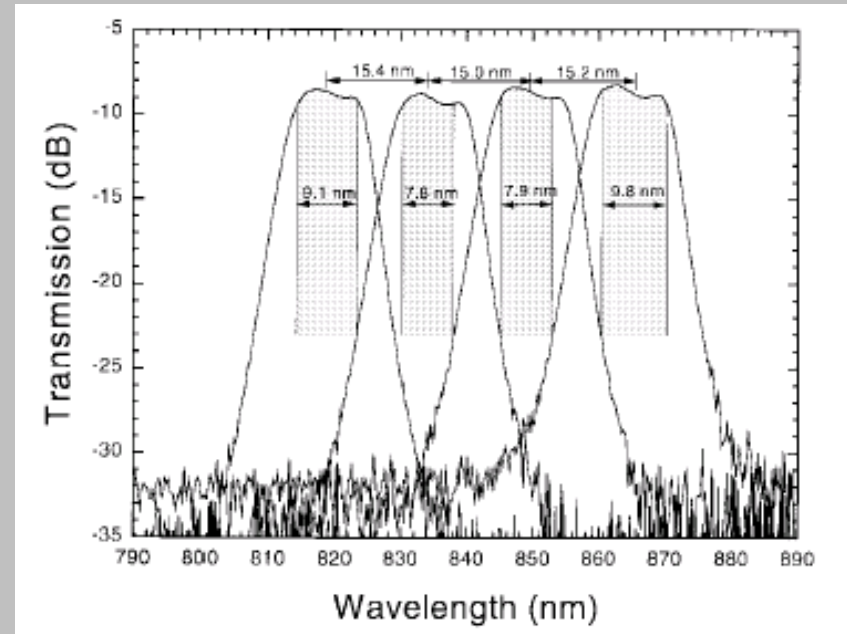
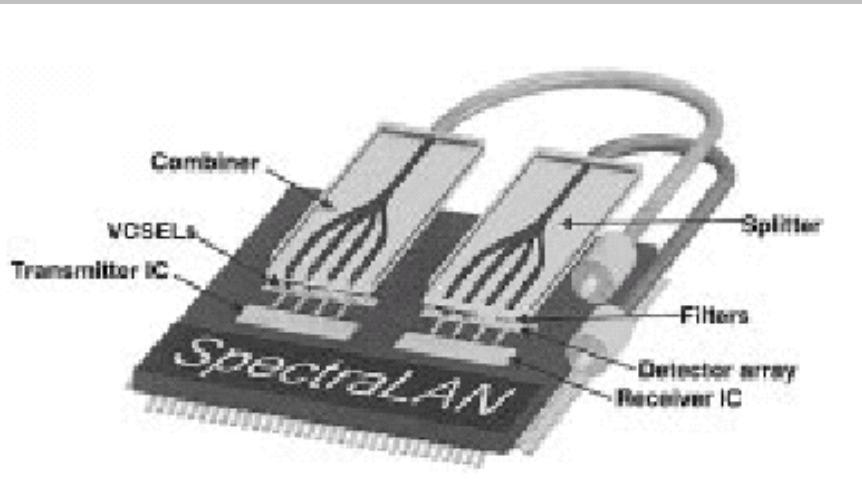




aus: Zhao et al. (*Phot. Tech. Lett.*,
Vol. 14, No. 8, Aug. 2002)

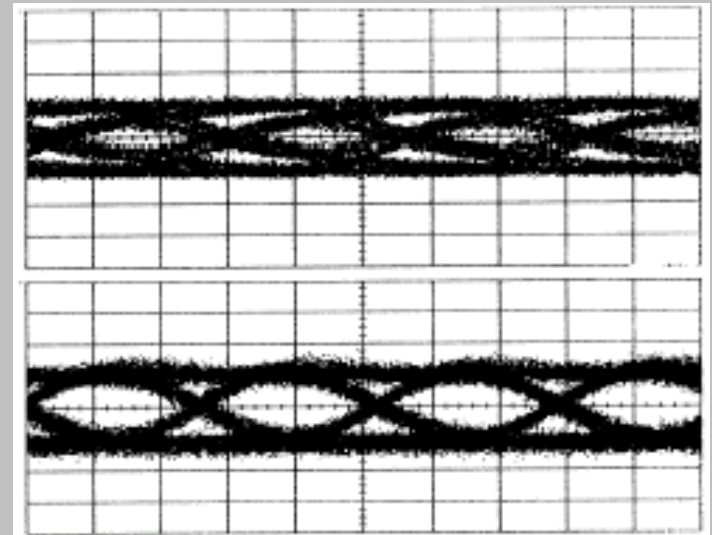
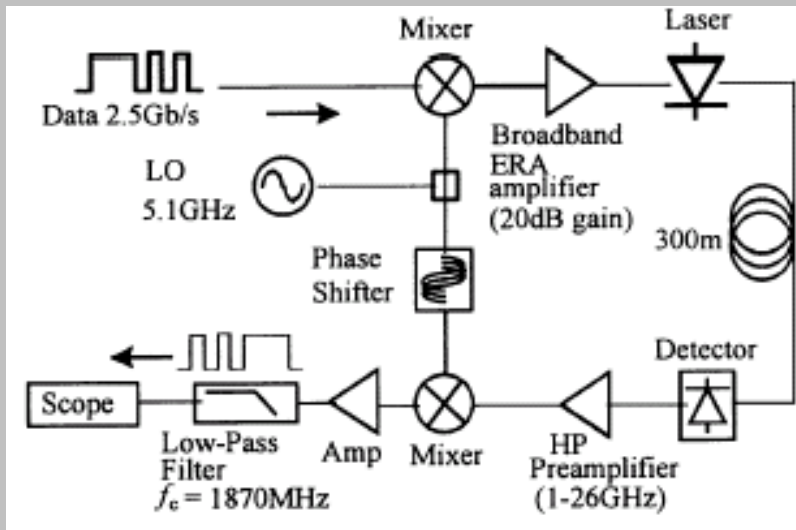
- 10 Gb/s über 1,5 km konventionelle 62,5 μ m-Faser
- Equilisation-Technique
- Digitales Filter filtert Modendispersion aus
- Adaptives Anpassen des Filters

- Vier-Kanal-WDM
- 10 Gb/s (4x 2,5Gb/s) über 300 m 62,5µm-Multimodefaser

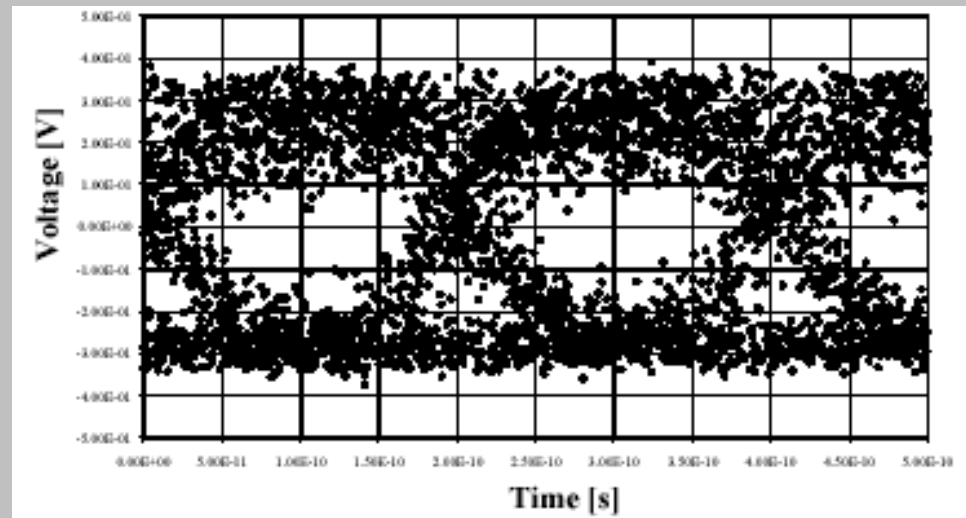
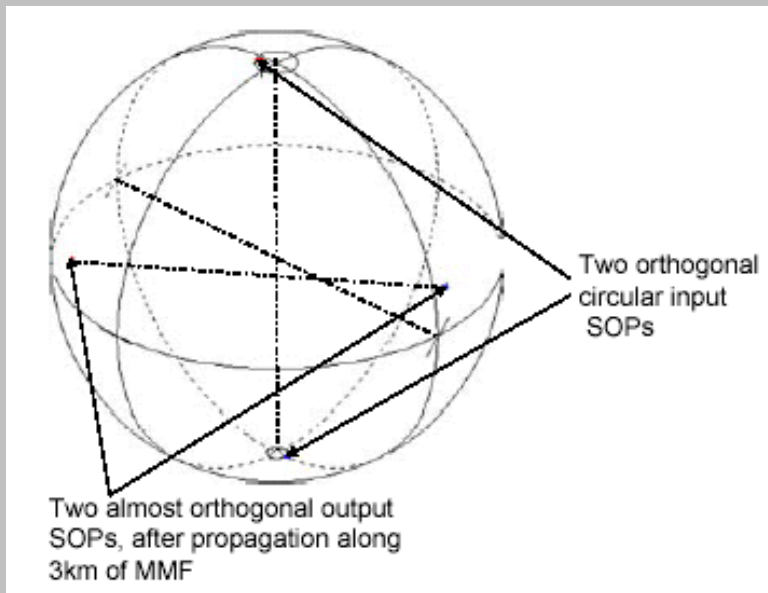


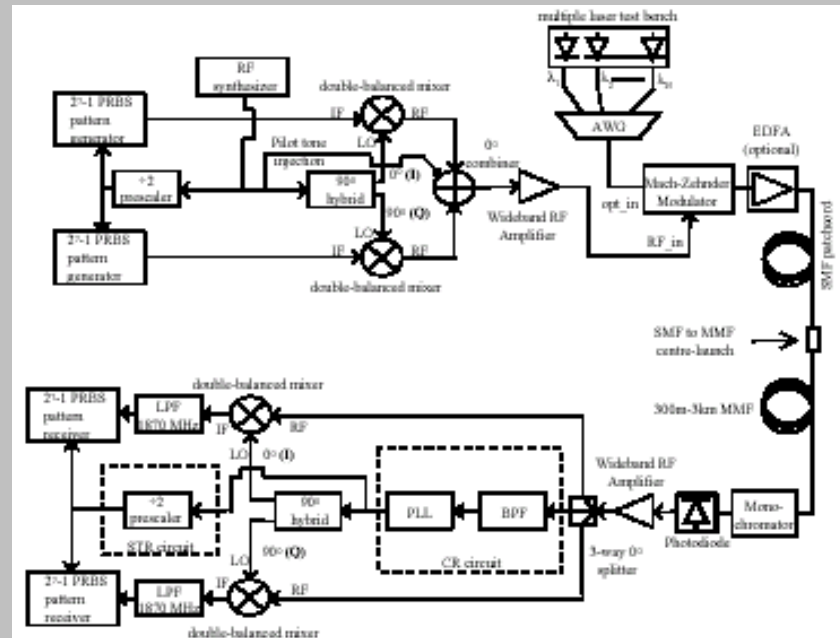
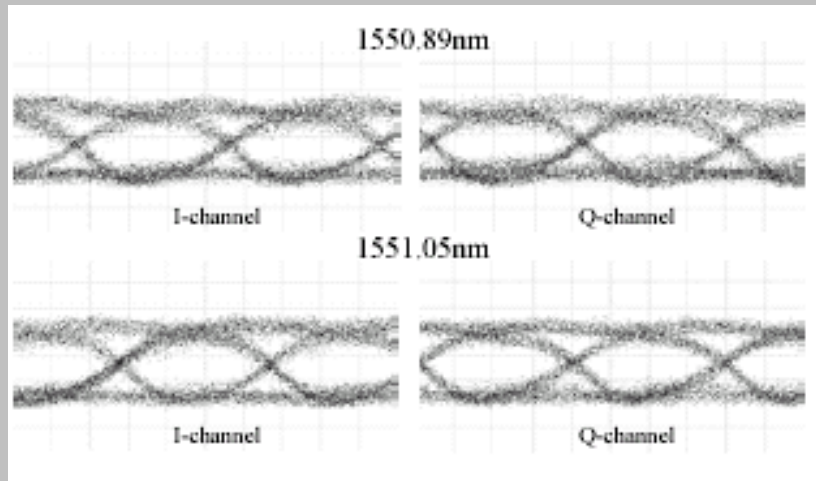
aus: Aronson et al., *Phot. Tech. Lett.*, Vol. 10, No. 10, 10/1998

- Tyler, Webster et al. (OFS/Lucent):
 - 1 Gb/s über 500m
 - 2,5 Gb/s über 300m (LEOS 2000, PTL 12/02)
 - 10 Gb/s über 300m (OFC 2001)
- Alle Experimente mit 62,5µm-Fasern
- Verbesserung der Bandbreite bereits installierter Fasern



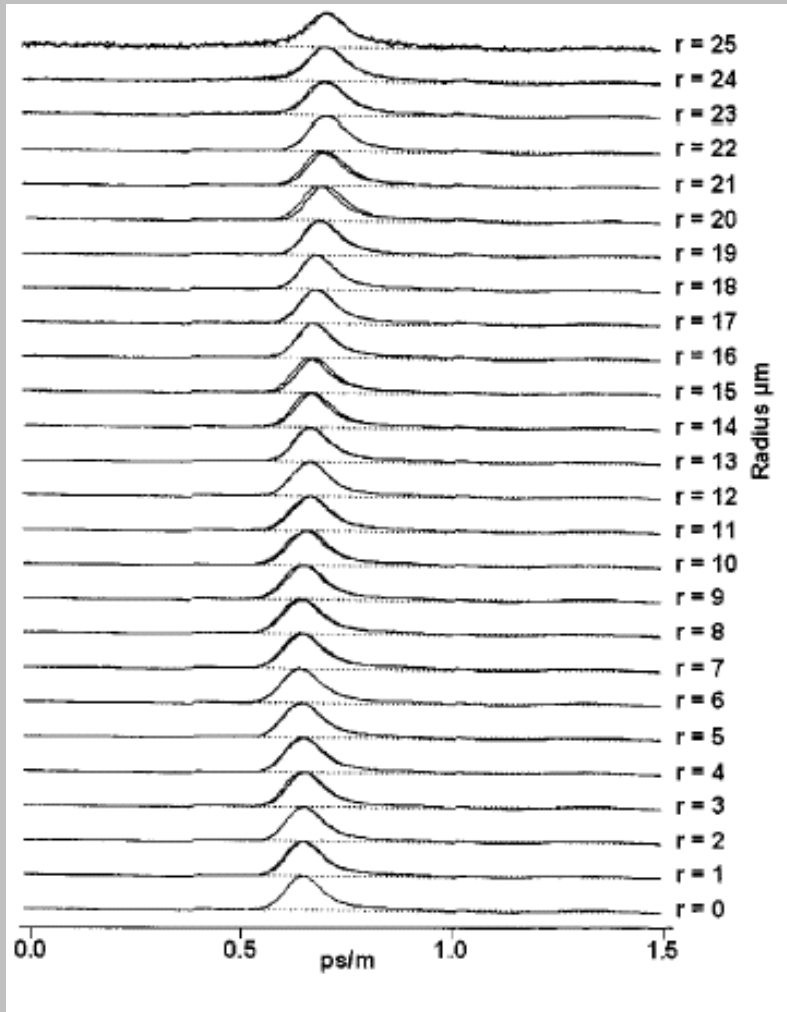
- Rochat et al. (Uni Essex, Fujitsu)
 - 5 Gb/s über 3km (ECOC 2002)
 - Polarisationsmultiplex mit 50 μ m-Faser
 - SMF Centre Launch (kein Dip)



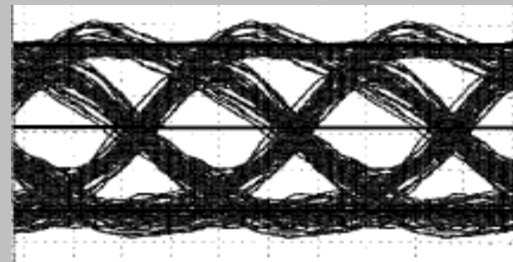


- Rochat et al. (Uni Essex, Fujitsu)
 - 5 Gb/s über 3km (ECOC 2002)
 - Trägerfrequenzmodulation mit konventioneller 50µm-Faser
 - QAM SC
 - 200 Kanäle möglich (1Tb/s)

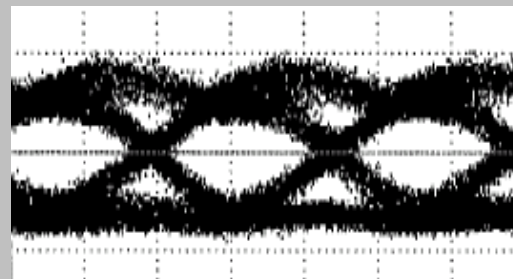
- Giaretta, G.; Michalzik, R.; Ritger, A.J.
 - 10 Gb/s über 2,8 km (CLEO 2000)
 - New Generation Fibre
 - Wellenlänge 850 nm
 - VCSEL-Anregung



- Pepeljugoski et al. (IBM)
 - 15,6 Gb/s über 1km
(*ECOC 2000*)
 - 20 Gb/s über 300 m
(*Phot. Tech. Lett. 5/02*)



15,6 GB/s
1km



20 GB/s
300 m

- Khoe et al. (COBRA, Plasma Optical Fibre)
 - 2,5 Gb/s über 4 km (POF '99)
 - Silica-Faser mit 148 μ m und 185 μ m bei 650nm Wellenlänge
 - Anregung mit DFB-Laser, SMF-Vorlauffaser und Butt-Coupling
 - Am Empfänger über Linse eingekoppelt
- Verfügbare Kerndurchmesser:
 - 93 μ m, 148 μ m, 185 μ m

- Konventionelle MMF besitzen Bandbreiten-Längen-Produkte um $500 \text{ MHz} \cdot \text{km}$ bei 850 nm und $1,3 \mu\text{m}$
- „New Generation“-Faser bietet $2 \text{ GHz} \cdot \text{km}$ bei 850 nm
- Bandbreitenerhöhung vielseitig erreichbar
- Reichweiten von 1 km
- Datenraten von bis zu 20 Gb/s