

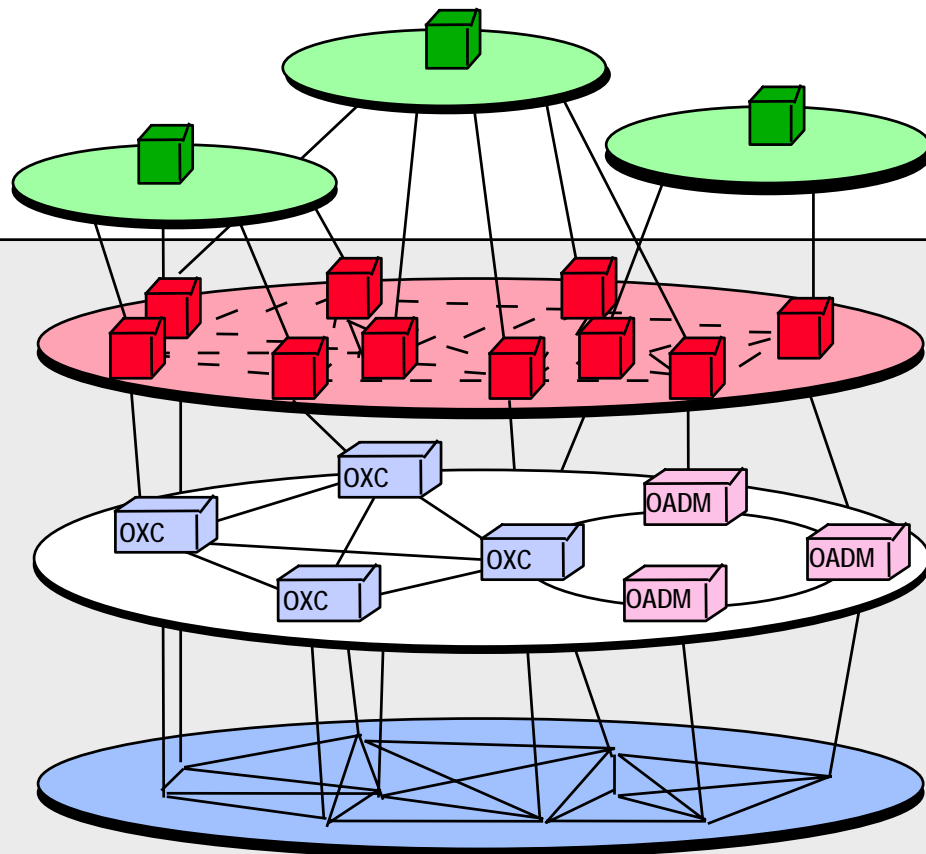
Kommunikations- und Netztechnik III

Ralph Leppla

Das photonische Transportnetz - WDM-Technik

- **Übertragungstechnik**
- **Netzfunktionen**

Netzarchitektur



Clientnetze: z.B. IP, ATM, ...

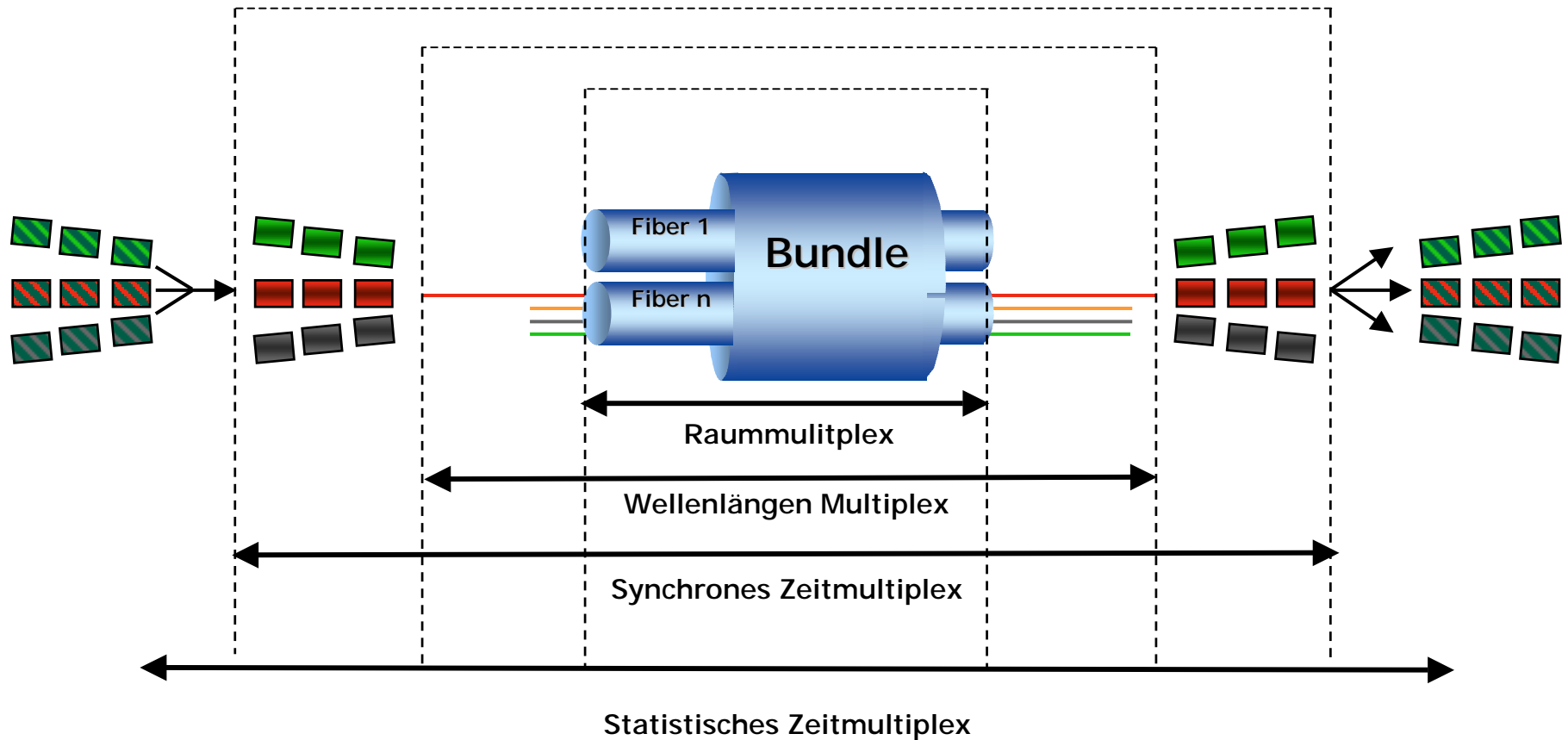
Transport:
z.B. SDH oder "abgemagertes" SDH
z.B. STM16, STM64

Optisches Overlaynetz
mit konfigurierbaren OADM und OXC

Glasfasernetz

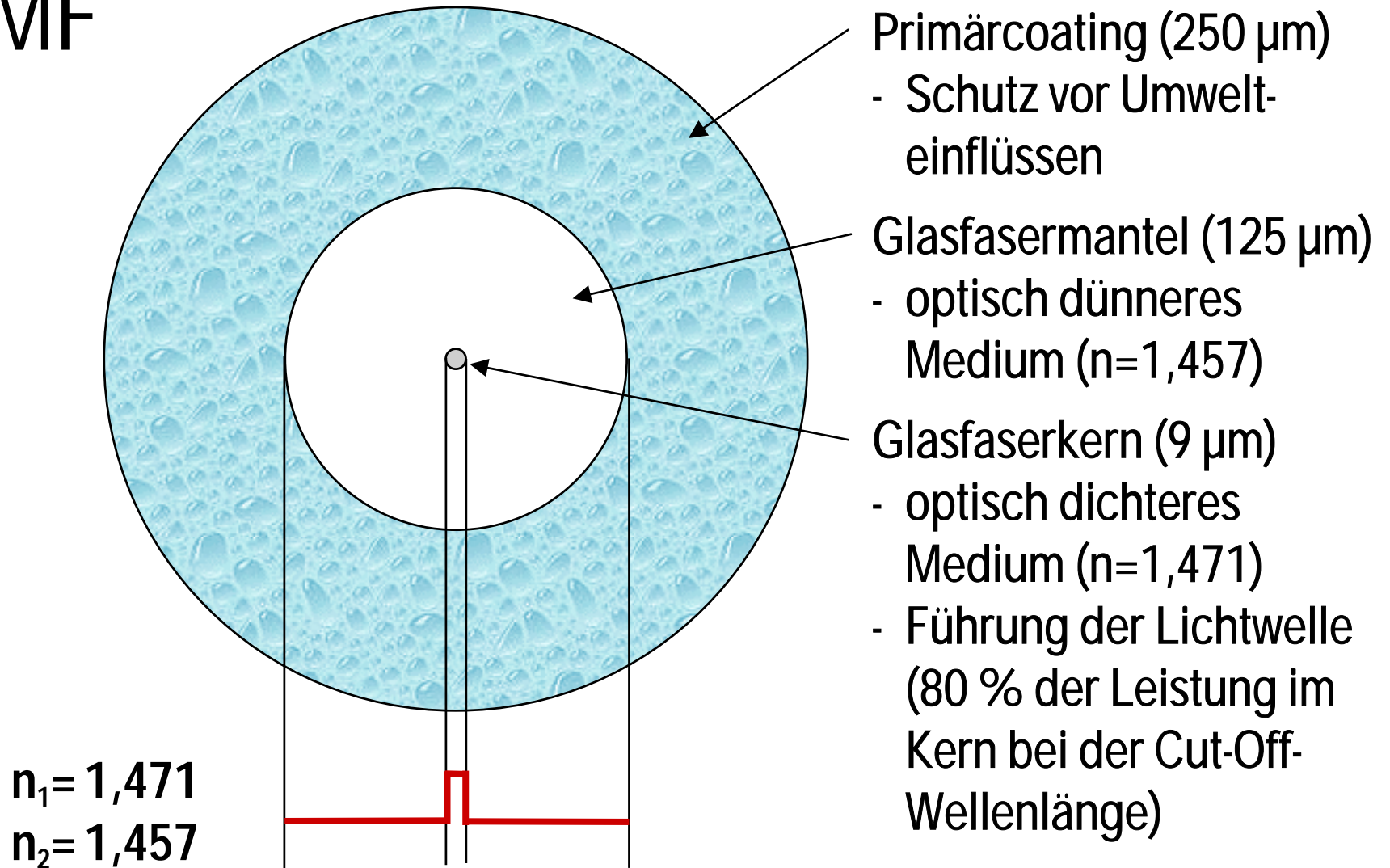
Optische Transportplattform

Kombination von Multiplexverfahren

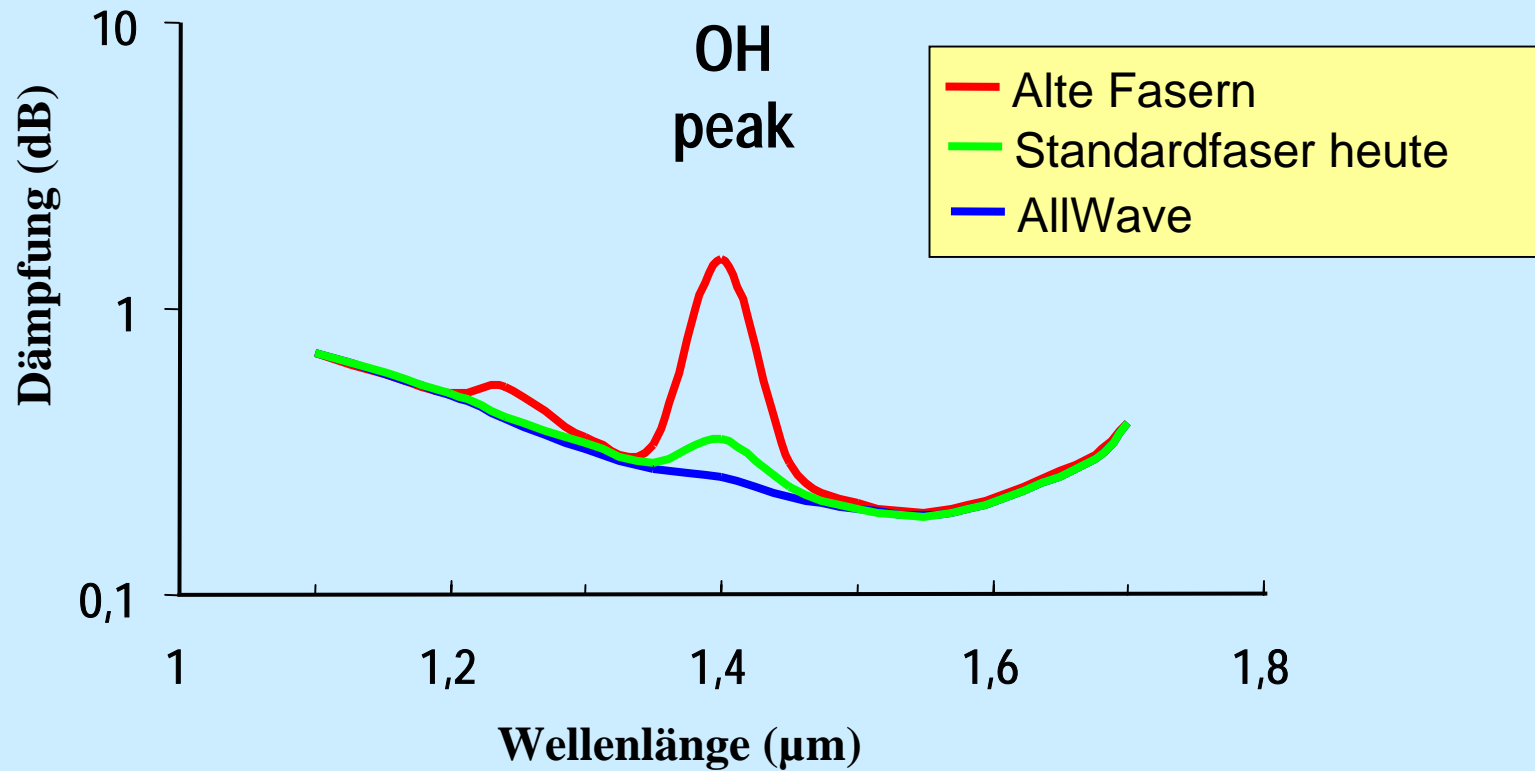


Standard-Singlemode-Glasfaser

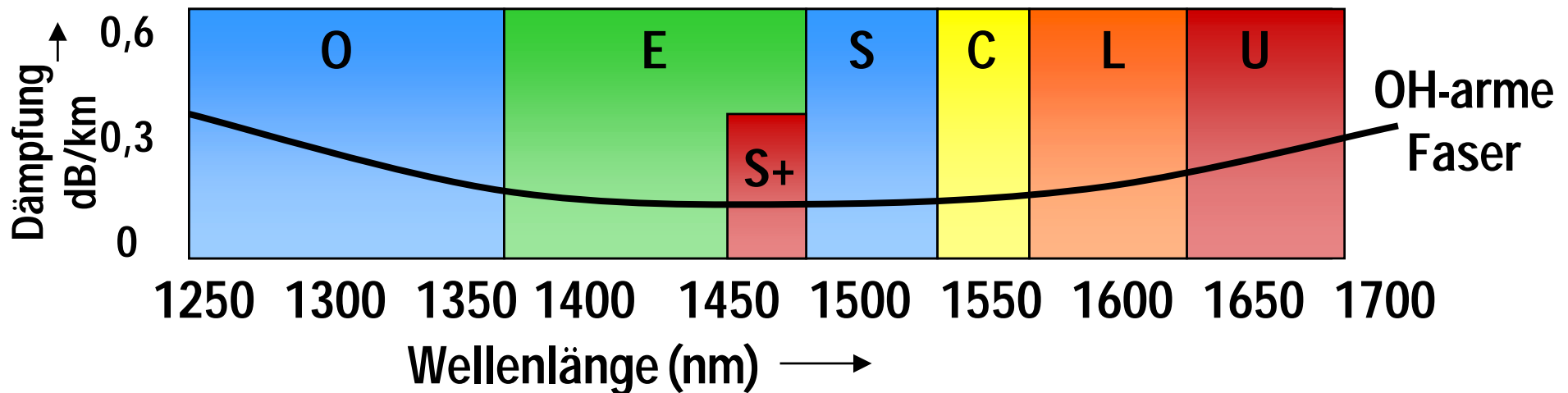
SMF



Faserdämpfung über der Wellenlänge



Bänder für optische Übertragung



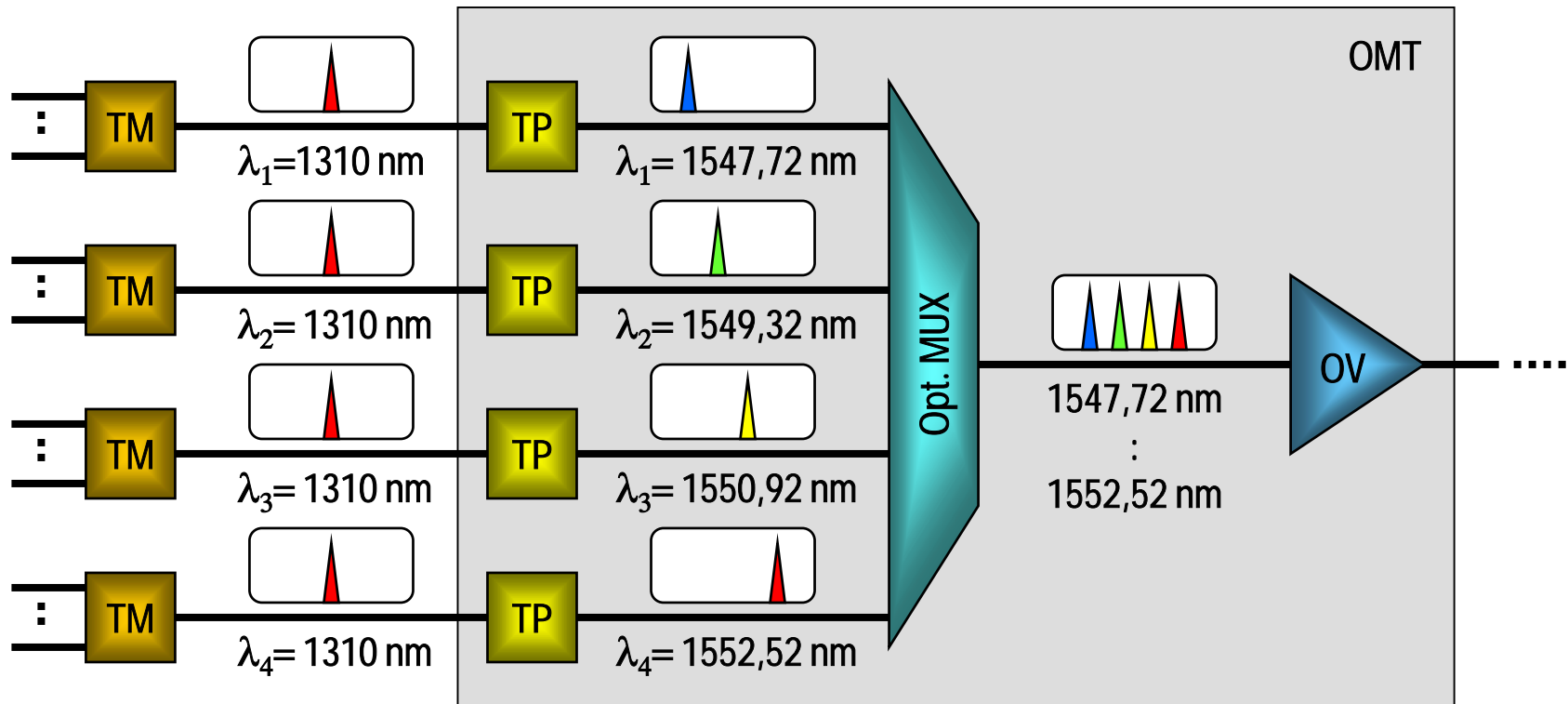
- O-Band (Original) 1260 nm to 1360 nm
- E-Band (Extended) 1360 nm to 1460 nm
- S-Band (Short wavelength) 1460 nm to 1530 nm
- C-Band (Conventional) 1530 nm to 1565 nm
- L-Band (Long wavelength) 1565 nm to 1625 nm
- U-Band (Ultralong wavelength) 1625 nm to 1675 nm

Note 1: It was agreed that this definition of spectral bands is to facilitate discussion and is not for specification.

(Auszug aus dem ITU-T Temporary Document TD 26 (PLEN) vom 8.2.2001)

Das Prinzip von WDM

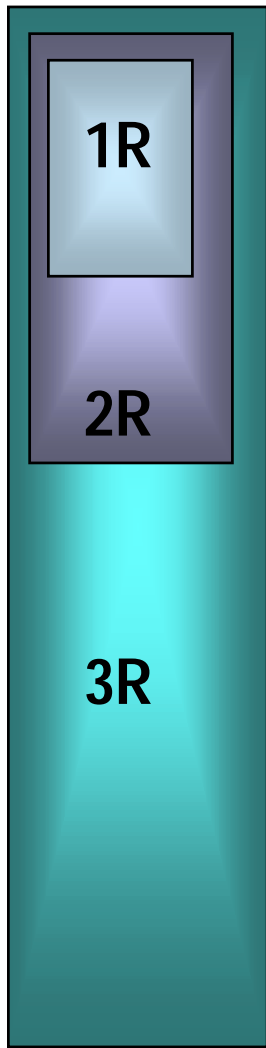
WDM (Wavelength Division Multiplexing) bezeichnet ein optisches Übertragungsverfahren, bei dem die Bandbreite der Glasfaser intensiv genutzt wird.



TM: Terminal-Multiplexer (z.B. SDH-MUX)
TP: Transponder (Wellenlängenumsetzer)

MUX: Multiplexer
OV: optischer Verstärker

Kategorisierung von Regeneratoren

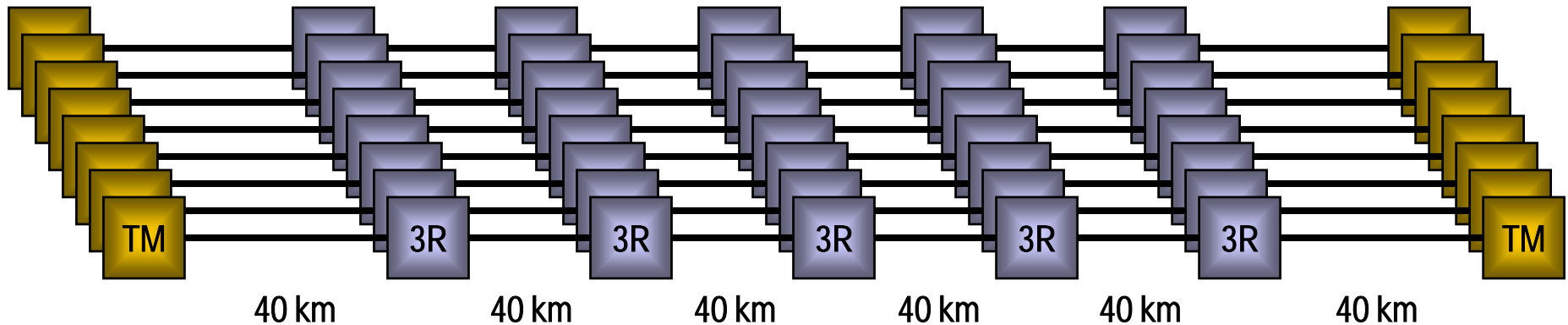


1R	reamplification	nur Verstärkung, z.B. EDFA, bei Kaskadierung Akkumulation von Rauschen und Verzerrungen beachten
2R	reshaping	nichtlinearen Vorgang, z.B. Schaltvorgang (Schmitt Trigger), Rausch- und Jitterakkumulation beachten
3R	retiming	O-E-O Wandlung clock recovery (Referenztakt) wird benötigt, Kaskadierbarkeit der Regeneratoren ist gegeben

gemäß ITU-T G.872 AnnexA

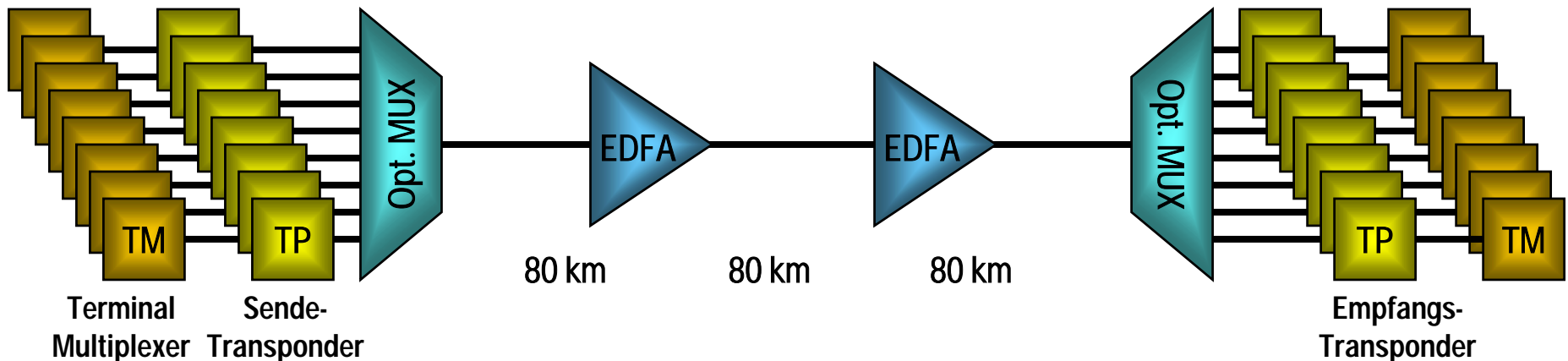
Vorteile von WDM-Netzen

Konventionelles Transportnetz



3R= Re-Shape + Re-Amplify + Re-Time

Erhöhung der Kanalzahl auf einer Glasfaser
=> Parallelbetrieb => kosteneffizient



Dämpfung und Dispersion der Glasfaser (Reichweitenbegrenzung)

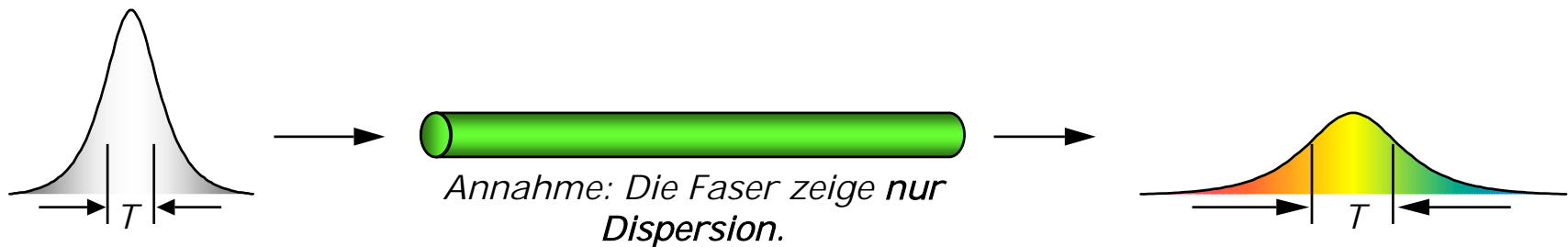
1) Dämpfung

- führt zur Verringerung der Amplitude des Datensignals
- kann durch optische Verstärker kompensiert werden



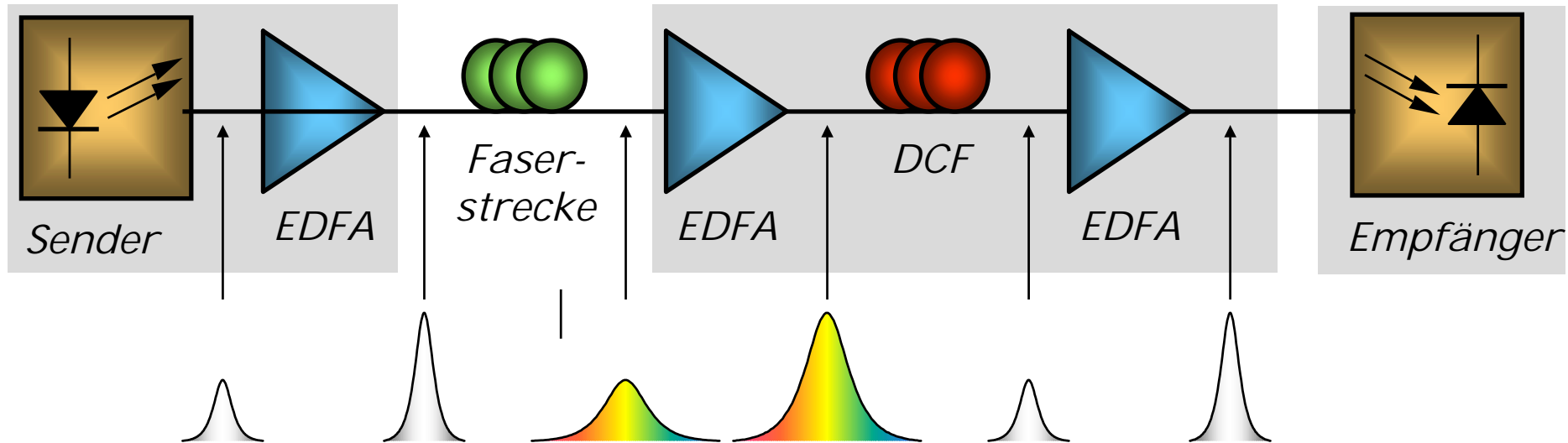
2) Dispersion

- führt zur Impulsverbreiterung

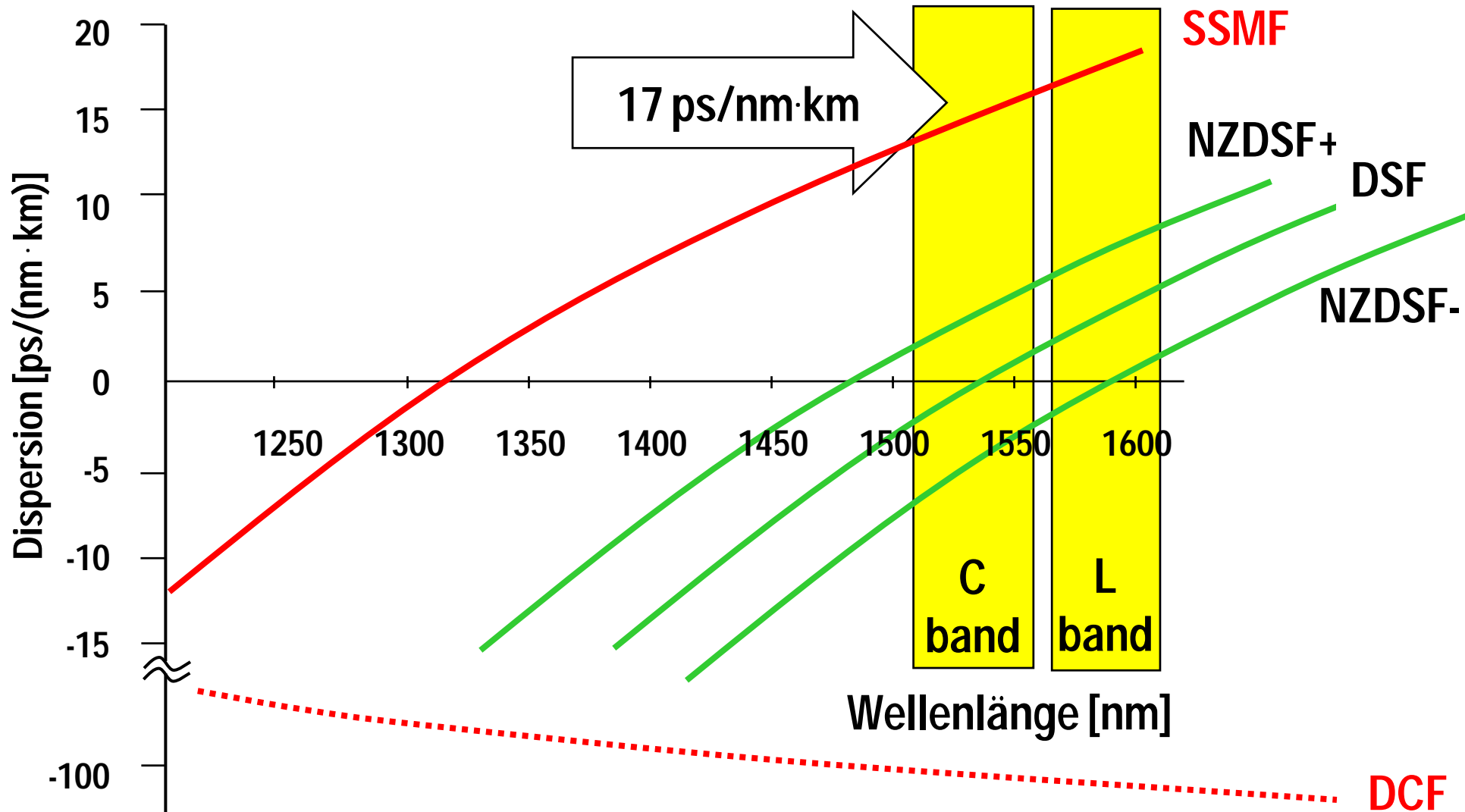


Impulsverbreiterung durch Chromatische Dispersion (CD)

- die einzelnen spektralen Komponenten des optischen Datensignals breiten sich im Übertragungsmedium Glas unterschiedlich schnell aus
- das führt zu einer Impulsverbreiterung, die im schlimmsten Fall zu einer Fehlinterpretation des Datensignals führen kann
- die CD ist deterministisch und kann z.B. durch den Einsatz von dispersionskompensierender Faser (DCF) beseitigt werden



Dispersion von Fasern



Bitfehlerrate (BER)

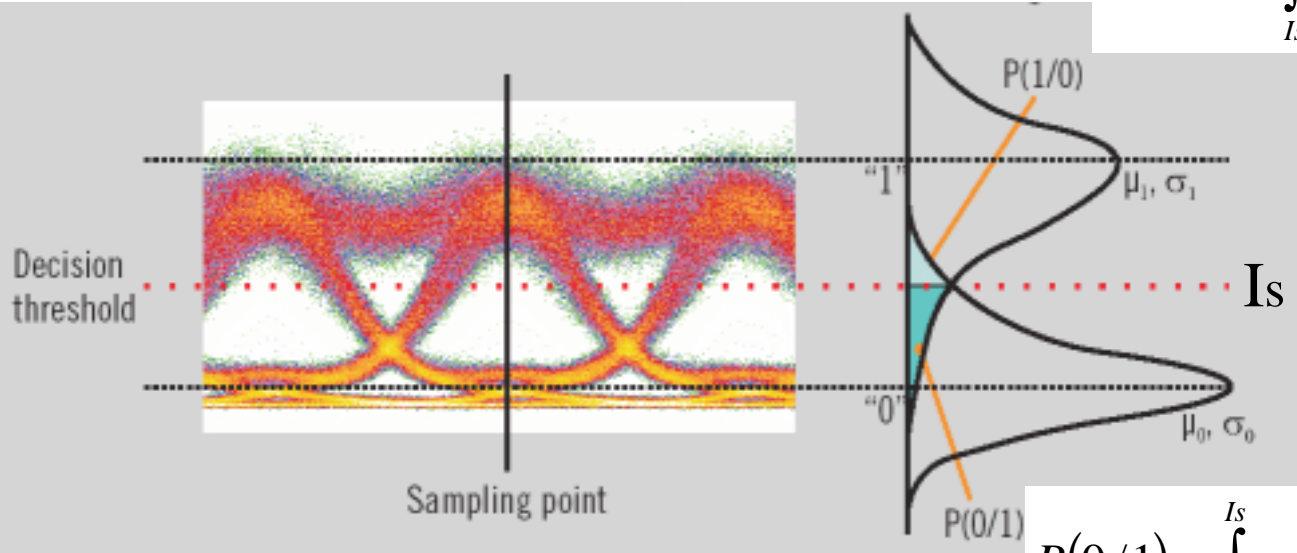
$$BER = \lim_{\text{Bits} \rightarrow \infty} \frac{\text{falsch entschiedene Bits}}{\text{gemessene Bits}}$$

$$P(1/0) = \int_{I_s}^{\infty} p_0 dI$$

$$p_1 = \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2}} \exp\left(\frac{\mu - \mu_1}{2\sigma_1^2}\right)$$

$$p_0 = \frac{1}{\sigma_0 \sqrt{2}} \exp\left(\frac{\mu - \mu_0}{2\sigma_0^2}\right)$$

$$P(0/1) = \int_{-\infty}^{I_s} p_0 dI$$

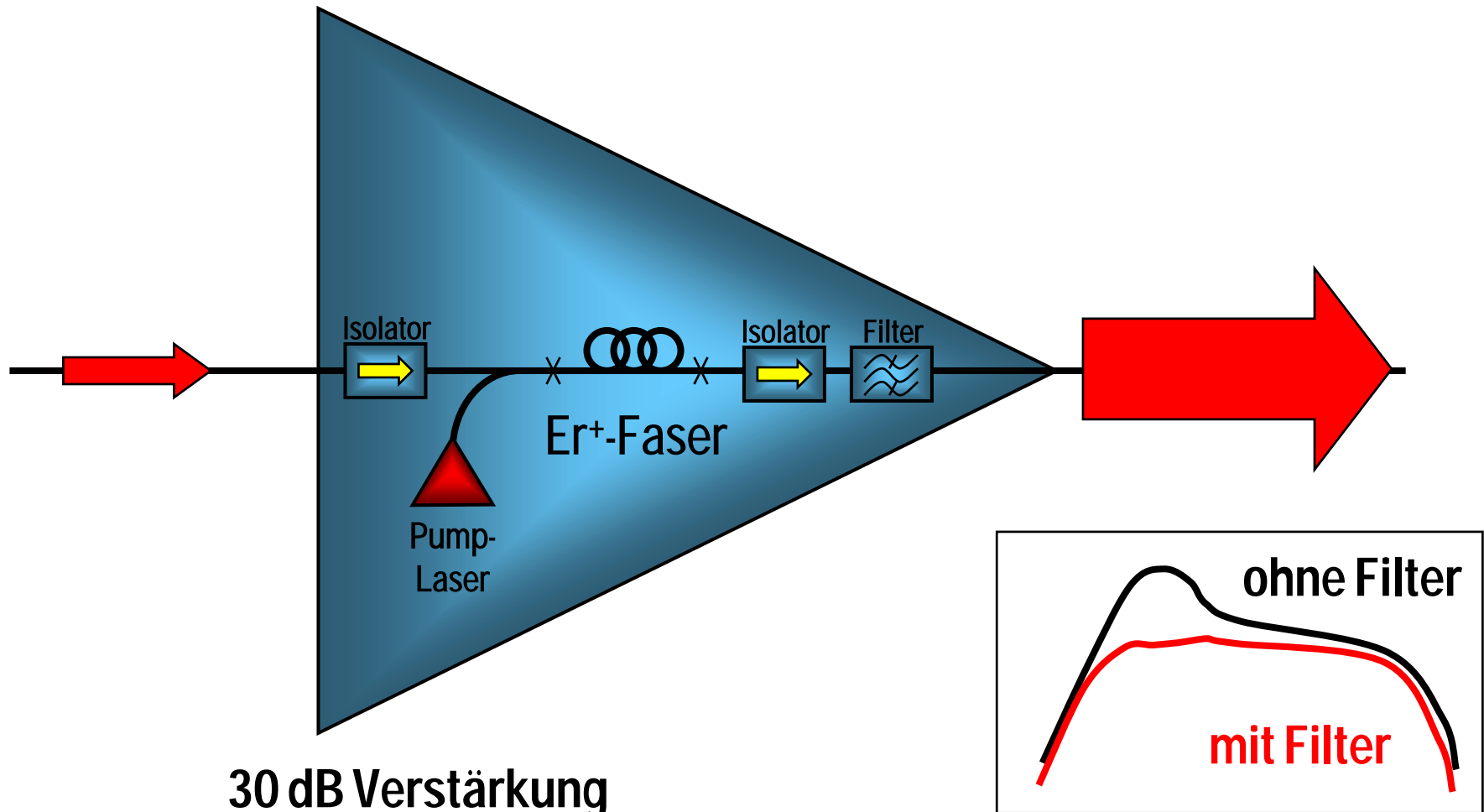


$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 + \sigma_0}$$

$$BER = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right)$$

$$\text{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{+\infty} \exp(-y^2) dy$$

Erbium-dotierter Faserverstärker EDFA

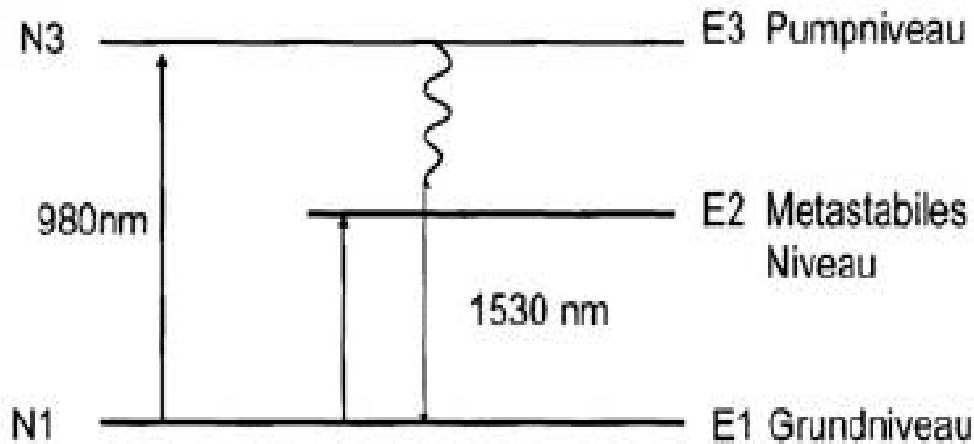


30 dB Verstärkung

15 mW... 1 W (!) optische Ausgangsleistung

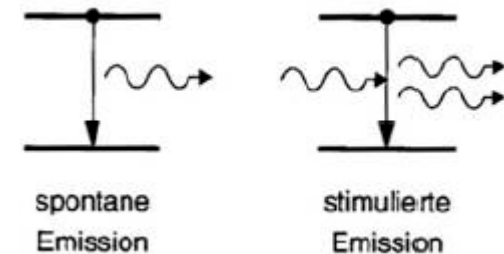
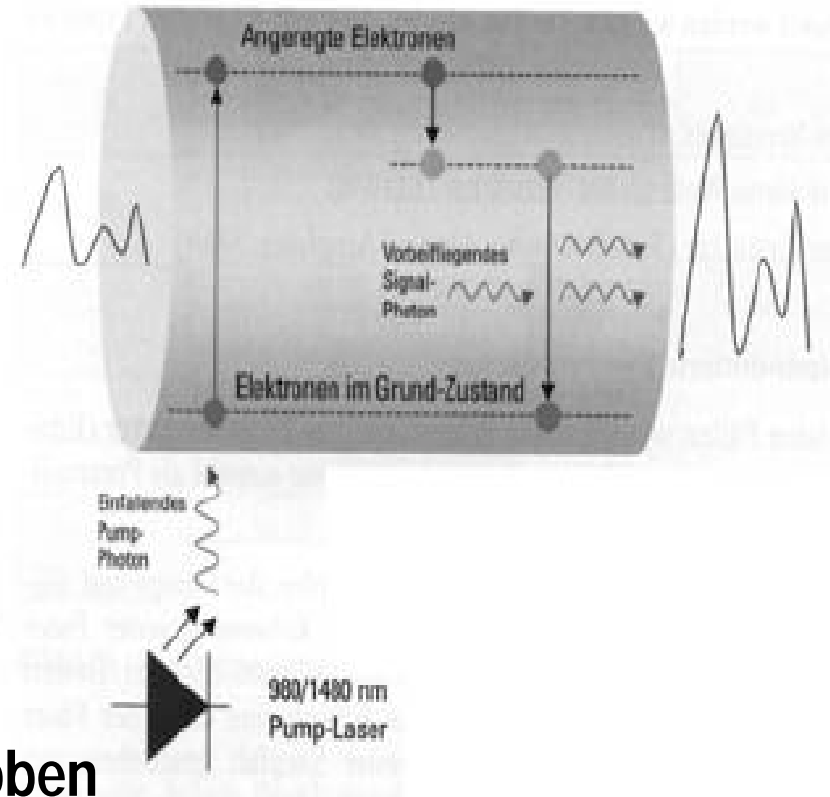
1540..1560 nm Verstärkungsband

Erbium-dotierter Faserverstärker EDFA

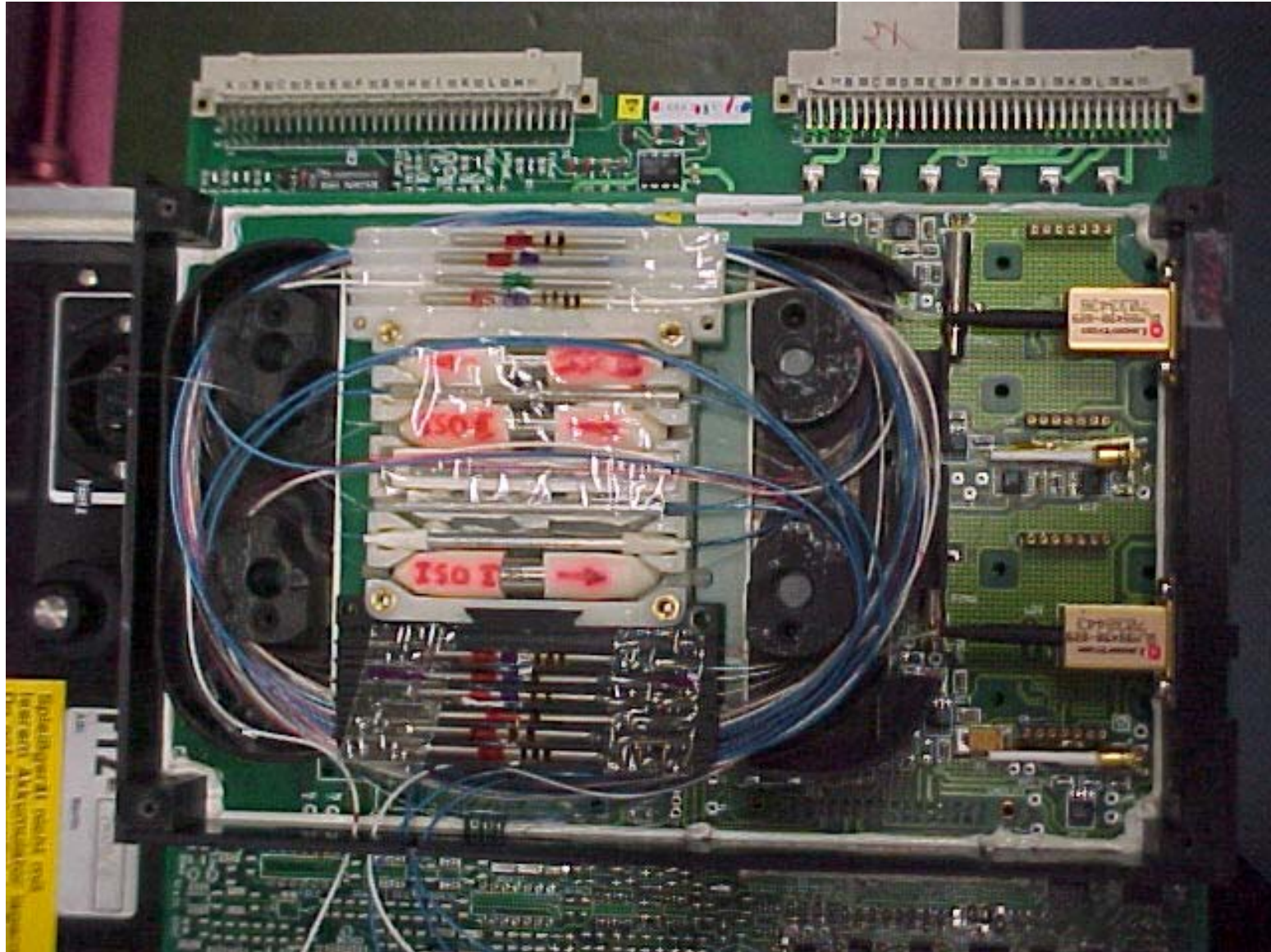


Quelle: [8]

- Durch pumpen wird Er^{3+} -Ion auf E3 gehoben
- Schnelles zurückfallen auf E2
- Gelegentlich spontane Emission (Rauschen)
- Stimulierte Emission führt zur Verstärkung



EDFA Innenansicht



Reichweitenbegrenzende physikalische Effekte

■ Lineare Effekte

- Dämpfung
- Rauschakkumulation durch Faserverstärker (ASE)
- Chromatische Dispersion (deterministisch)
- Polarisationsmodendispersion (statistisch)
- Filterverzerrungen

■ Nichtlineare Effekte

- TDM
 - Selbst-Phasenmodulation (SPM)
 - Brillouin-Streuung (SBS)
- WDM
 - Kreuz-Phasenmodulation (XPM)
 - Vierwellenmischung (FWM)
 - Raman-Streuung (SRS)

Das photonische Transportnetz - WDM-Technik

- Übertragungstechnik
- **Netzfunktionen**

Photonisches Transportnetz

Netzfunktionen

1. Bausteine für optische Transportnetze

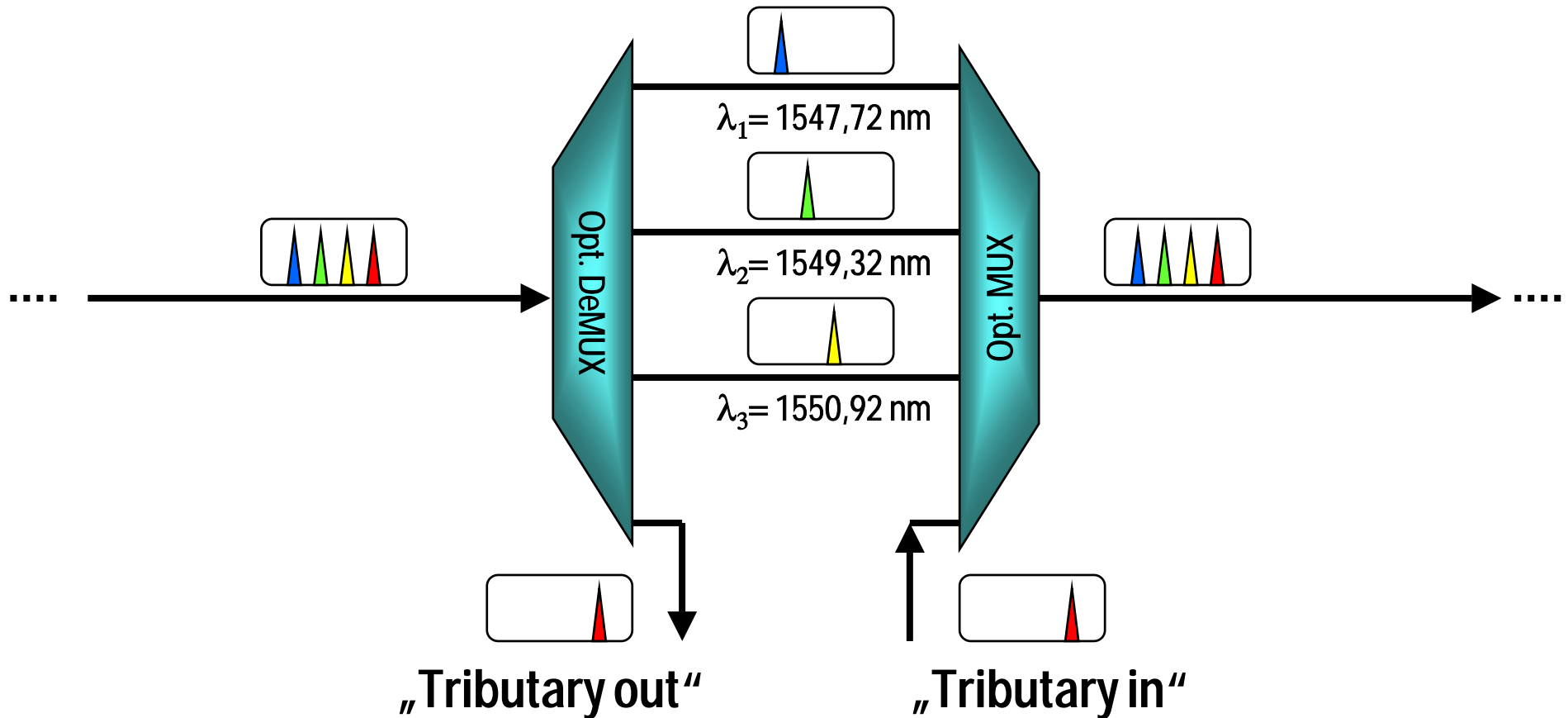
- Multiplexer, Verstärker, De-multiplexer
- Optische Add-Drop-Multiplexer OADM
- Konfigurierbare OADMs
- Optische Cross-Connects

2. „Faultmanagement“ in optischen Transportnetzen

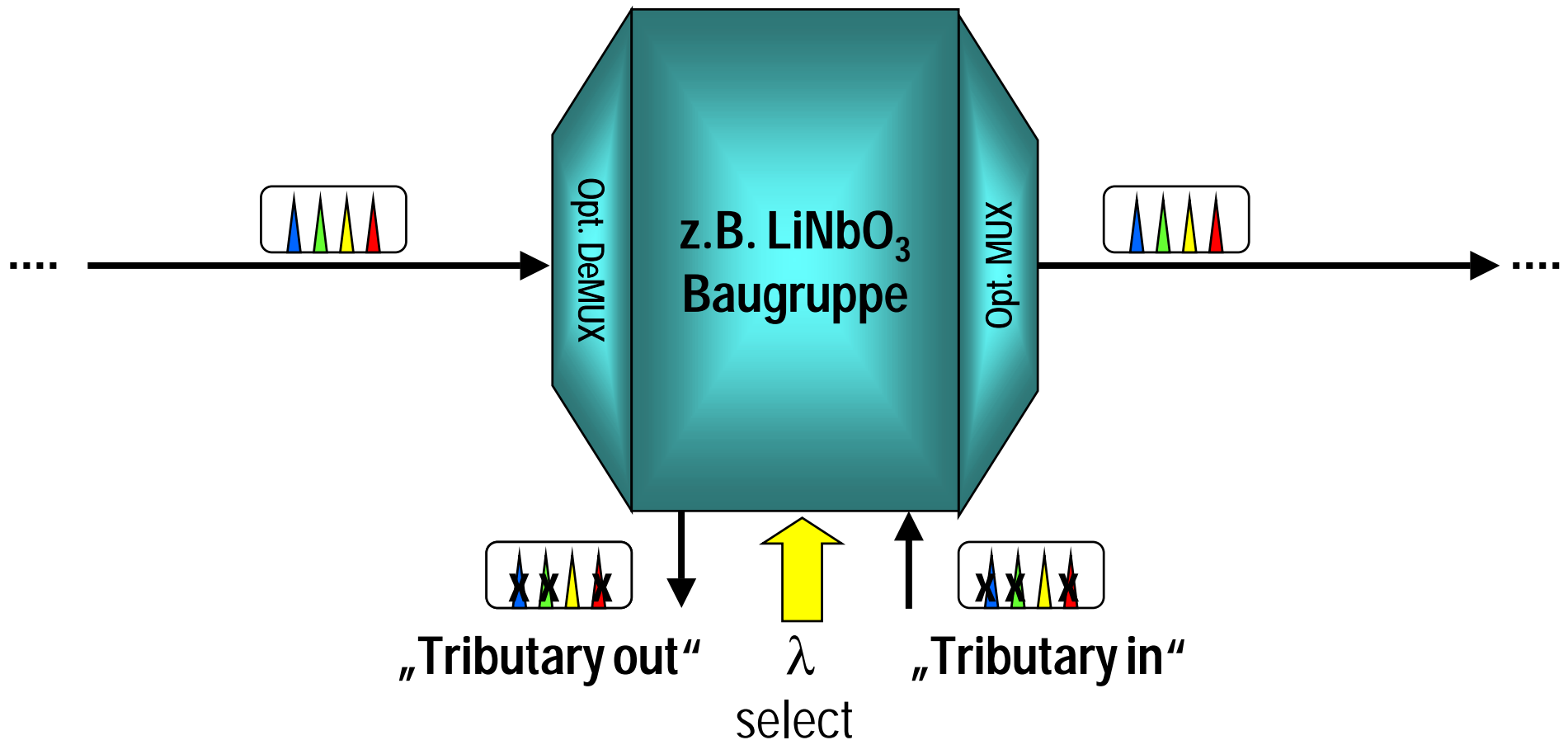
Bausteine der optischen Transportnetze

OADM

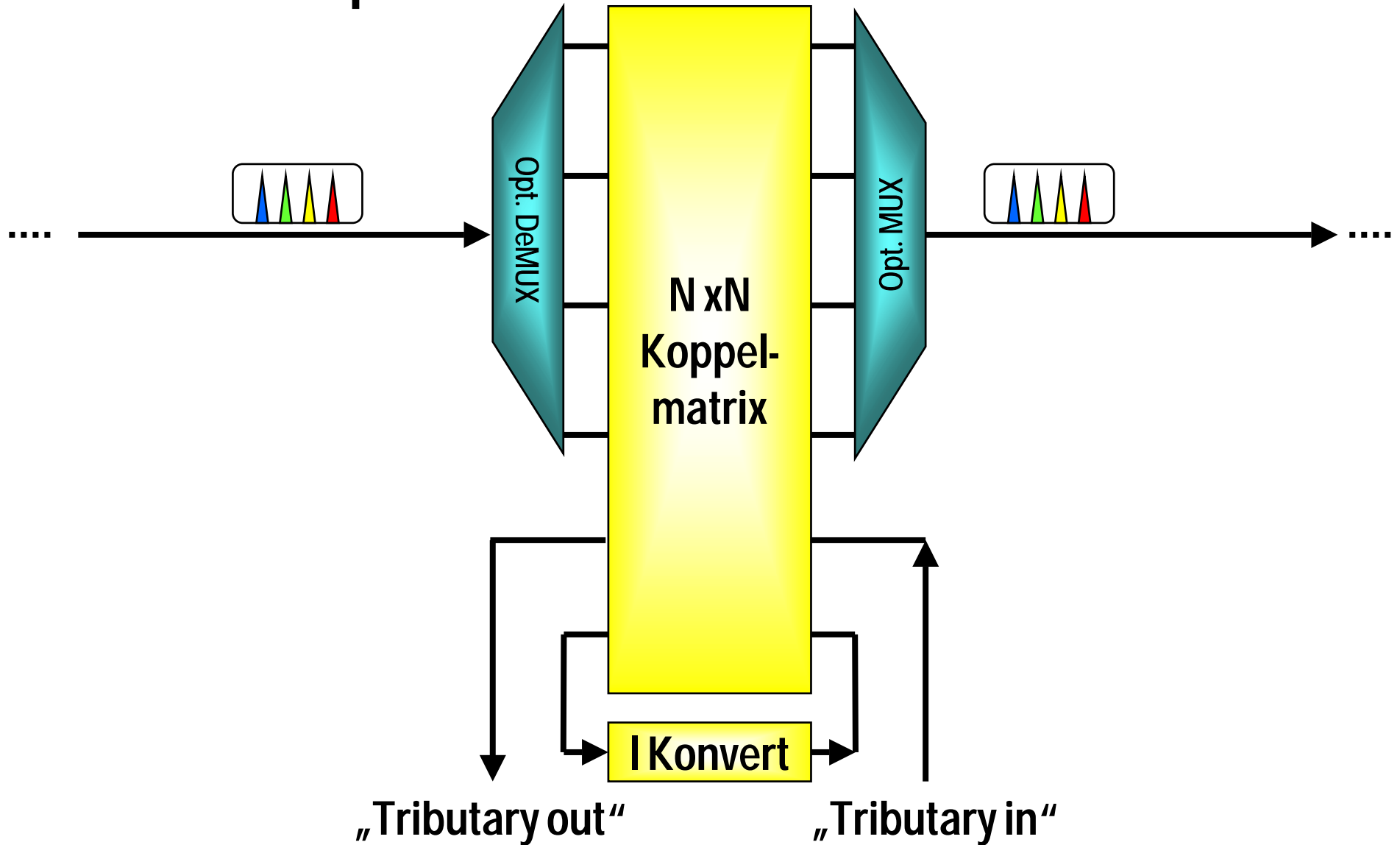
Optischer Add-Drop-Multiplexer



OADM - Flexibler Optischer Add-Drop-Multiplexer

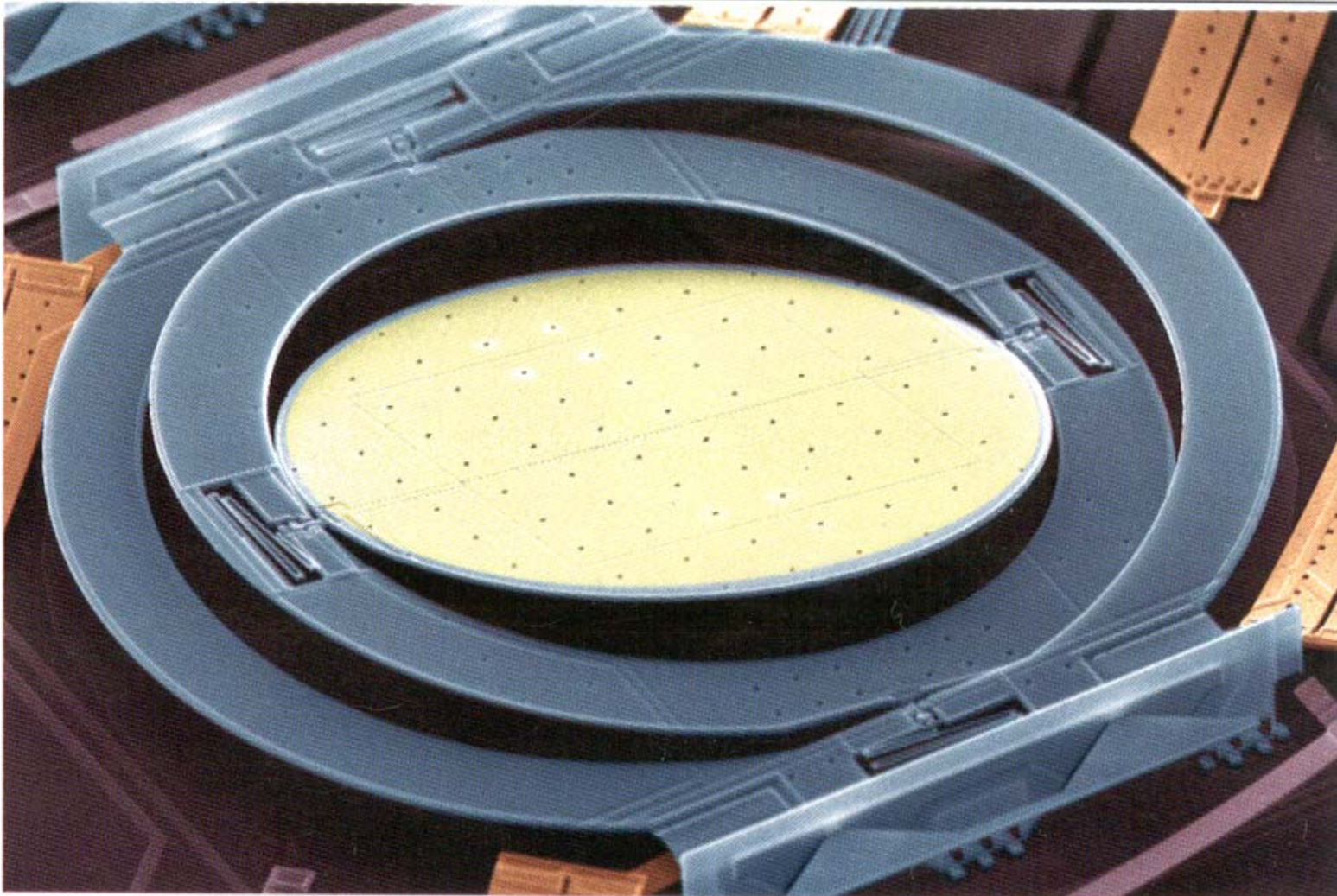


OXC - Optischer Cross-Connect



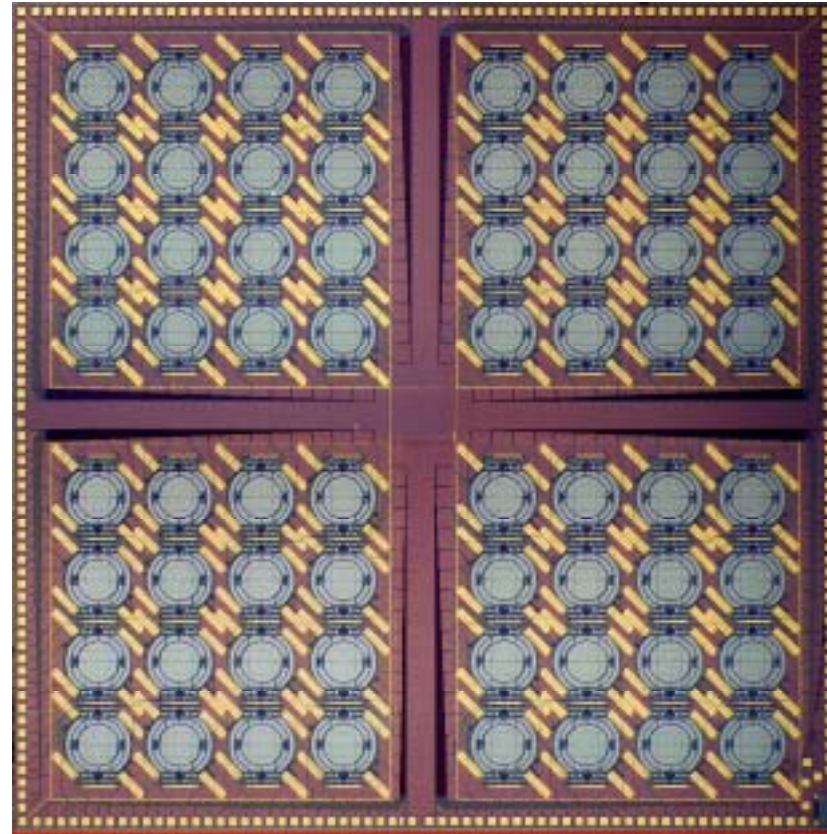
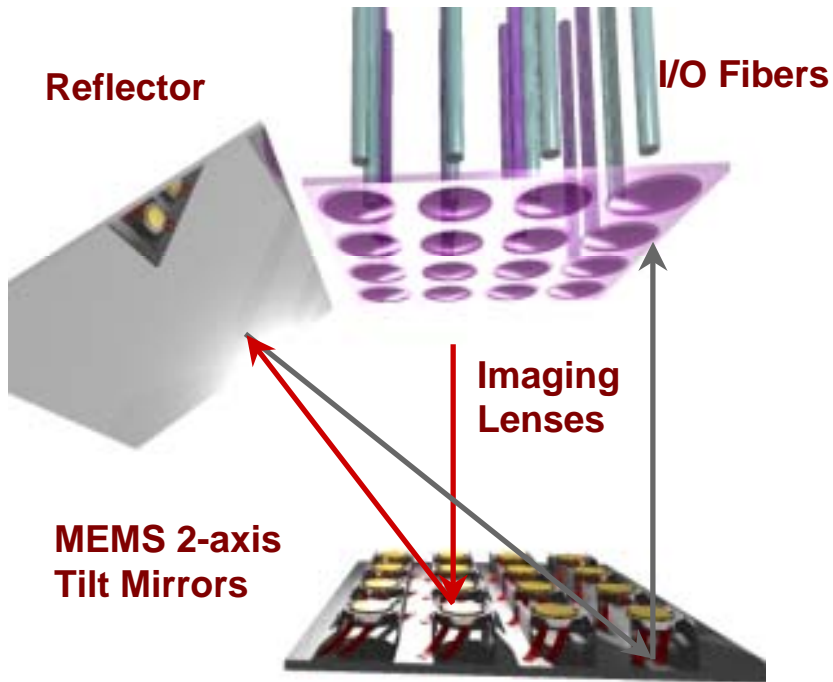
MEMS

Micro electro-mechanical systems



(Lucent)

Optischer Cross-Connect mit MEMS



(Lucent)