

# WDM & OTN

## Optische Übertragungstechnik im Einsatz

In der Praxis arbeiten DWDM-Netze im Terabit-Bereich, doch im Labor werden bereits Petabit/s übertragen und optisch geschaltet. Das revolutioniert die Welt der Cloud und der Netzwerke.

Dieser Kurs liefert umfassendes praxisbezogenes Wissen zu allen Aspekten der optischen Technik einschließlich aktueller Entwicklungen in der Forschung: Von photonischen Grundlagen über Glasfasertypen, Stecker, optische Verstärker, OTDR-Messungen, DWDM, OTN und Fibre Channel bis zum Optical Switching mit ROADM, optischen Netzen und deren Protection-Mechanismen.

### Kursinhalt

- Optische Übertragung, Opt. Switching, Opt. Protection, Optical Networks
- Optische Fenster einer Glasfaser: C-Band, L-Band, O-Band, S-Band, (E-Band, T-Band)
- Lichtausbreitung in der Glasfaser
- Multi Mode Fiber: OM3, OM4, OM5, G.651.1
- SMF optimiert: Low Water Peak, Low Loss Fibers, dispersionsverschoben
- moderne Fasern: Multi-Core Fiber, Hollow Core Fiber, Photonic Crystal Fiber
- Fiber im Access: FttB, FttH, FttC,
- Steckertypen und Schliff: von PC über UPC zu APC (8° oder 9°)
- Pluggable Interfaces
- LASER: z.B. SFP, QSFP, OSFP, XFP, etc.
- Modulation: von NRZ PAM4 über PAM4 und QPSK zu QAM
- Messtechnik: OTDR im Detail
- Optische Verstärker: EDFA, Raman
- Dämpfung und Dispersion inkl. PMD
- Dämpfung (dB) und Pegel (dBm) berechnen
- Dispersion berechnen, Dispersionskorrigierende Maßnahmen
- Troubleshooting auf Layer 1: Probleme und Lösungen
- Optische Technologien: WDM
- DWDM – von Terabit/s zu Petabit/s
- Aufbau der DWDM- und CWDM-Muxe
- WDM: Colored Interfaces vs. Grey Interfaces,
- DWDM Kanalabstände: channel grid: Flexible Grid vs. Fixed Grid
- DWDM vs. CWDM
- CWDM und „Wasser-Peak“,
- CWDM Ausbau mit DWDM Kanälen
- Ethernet von 100 GE zu 800 GE
- Ethernet: Fehlerquellen bei 100 GE
- Fibre Channel mit 8G/16G/32G
- Fibre Channel: Speichervirtualisierung
- Fibre Channel: Flusskontrolle mit Buffer Credits und Receive Ready
- Optical Switching: von passive OADM bis Netzkopplung mit ROADMs
- CDCG ROADMs – Colorless, Directionless, Contentionless, Gridless
- Optical Protection: Punkt-zu-Punkt, Ring, Vermaschung
- Optische Tera Bit/s Netze und Transozeannetze
- Streckenplanung, dazu opt. Budget, Mindestdämpfung berechnen
- Optical Transport Networks (OTN), ideal in Kombination mit DWDM
- OTN Aufbau: OPU, ODU, OTU sowie FEC mit RS(255, 239)
- OTN: Bytes und Bedeutung
- OTN: ODUflex
- OTN: Fehlermeldungen und Alarmskade
- OTN: Fehler eingrenzen

**E-Book** Das ausführliche deutschsprachige digitale Unterlagenpaket, bestehend aus PDF und E-Book, ist im Kurspreis enthalten.

### Zielgruppe

Der **Außendienst** lernt Transceiver, Steckertypen und Unterschiede zw. PC, UPC, APC kennen, EDFAs, Glasfasertypen, OTDR-Messungen und Beurteilungen des Spektrums und einen Leitfaden zum Troubleshooting.

Für den **Netzbetrieb** gibt es detaillierte Erklärungen zu optischen Fenstern (O, E, S, C, L, U), Fasertypen G.652, G.652D, G.694, G.655, Ultra Low Loss Fiber, DCF sowie SFP, QSFP, OSFP. Die Signalmodulation von NRZ bis QAM wird erklärt und Signallaufzeiten sowie Dämpfung (dB) und Pegel (dBm) berechnet.

Für das **Netzwerkmanagement** werden Alarime und deren Ursachen beleuchtet, die OTN Fehlerkaskade sowie die Arbeit mit AIS, BDI erklärt und eine Strategie zur Fehlereingrenzung gegeben.

Für **Netzplaner** gibt es Berechnungen zum Optisches Budget, Dämpfung, Span Loss, Dispersion und Dispersionskorrektur, Optimierung mit Glasfaser sowie Netzdesign und Netzschutz.

### Voraussetzungen

Gute Kenntnisse der Synchronous Digital Hierarchy – Netze, Alarime, Protection erleichtern das Verständnis. Hilfreich sind zudem Grundkenntnisse im Bereich der optischen Signalübertragung.

Stand 25.05.2025

### Dieser Kurs im Web



Alle tagesaktuellen Informationen und Möglichkeiten zur Bestellung finden Sie unter dem folgenden Link: [www.experteach.de/go/OHSN](http://www.experteach.de/go/OHSN)

### Vormerkung

Sie können auf unserer Website einen Platz kostenlos und unverbindlich für 7 Tage reservieren. Dies geht auch telefonisch unter 06074 4868-0.

### Garantierte Kurstermine

Für Ihre Planungssicherheit bieten wir stets eine große Auswahl garantierter Kurstermine an.

### Ihr Kurs maßgeschneidert

Diesen Kurs können wir für Ihr Projekt exakt an Ihre Anforderungen anpassen.

Training	Preise zzgl. MwSt.	
<b>Termine in Deutschland</b>	<b>4 Tage</b>	<b>€ 2.395,-</b>
<b>Online Training</b>	<b>4 Tage</b>	<b>€ 2.395,-</b>
<b>Termin/Kursort</b>	Kursrsprache Deutsch	
25.08.-28.08.25	23.02.-26.02.26	
25.08.-28.08.25	23.02.-26.02.26	
24.11.-27.11.25	26.05.-29.05.26	
24.11.-27.11.25	26.05.-29.05.26	



# Inhaltsverzeichnis

## WDM & OTN – Optische Übertragungstechnik im Einsatz

<b>1</b>	<b>Photonik – Und es ward Licht!</b>	<b>3.5.6</b>	PON mit CWDM	<b>5.3.3</b>	1 x 8 WSS mit Flüssigkristallen
<b>1.1</b>	Tera Bit/s Datenströme	<b>3.5.7</b>	Fasern bei GPON	<b>5.3.4</b>	MEMS – Im Spiegel der Technik
<b>1.1.1</b>	Das Wachsen der Datenströme	<b>3.6</b>	Glasfasertypen des Metro- und WAN-Bereiches	<b>5.3.5</b>	2D-MEMS
<b>1.2</b>	Photonik – Wissenswertes zu Licht	<b>3.7</b>	Übersicht der Mono Mode-Glasfasertypen	<b>5.3.6</b>	3D-MEMS – Die 3. Dimension
<b>1.2.1</b>	Verhalten des Lichtes: Reflexion	<b>3.7.1</b>	G.652 Single Mode Fiber	<b>5.3.7</b>	Thermo-optische Switches
<b>1.2.2</b>	Brechung	<b>3.7.2</b>	G.653 Dispersion-Shifted Fiber (DSF)	<b>5.4</b>	Einsatz von OADM
<b>1.2.3</b>	Beugung	<b>3.7.3</b>	G.654 Cut-off Shifted Single Mode Fiber	<b>5.4.1</b>	Optische Cross Connects
<b>1.2.4</b>	Interferenz	<b>3.7.4</b>	G.655 Non-Zero Dispersion Shifted Fiber	<b>5.4.2</b>	Schematischer Aufbau optischer Cross Connects
<b>1.2.5</b>	Wellenlänge	<b>3.7.5</b>	G.656 NZ-DSF für Breitbandübertragung	<b>5.4.3</b>	Einsatzmöglichkeiten
<b>1.2.6</b>	Frequenz	<b>3.7.6</b>	Dispersion Compensation Fiber (DCF)		
<b>1.2.7</b>	Amplitude	<b>3.7.7</b>	Resümé: Wer setzt welche Faser ein?	<b>6</b>	<b>Optische Netze – Wellenlängen weltweit</b>
<b>1.2.8</b>	Phase	<b>3.8</b>	Netzoptimierung mit Glasfasern	<b>6.1</b>	Netzdesign
<b>1.2.9</b>	Polarisationsebene	<b>3.8.1</b>	Funktionsweise der Dispersionskorrektur	<b>6.1.1</b>	Beispiel: verteilter Verkehr
<b>1.2.10</b>	Polarisationsmoden- Multiplexen (Pol-Mux)	<b>3.9</b>	Multi Core Fibers (MCF): Space Division Multiplexing (SDM)	<b>6.1.2</b>	Anbindung an die Zentrale
<b>1.3</b>	Lichtausbreitung	<b>3.9.1</b>	Multi Core Fibers mit solid core	<b>6.1.3</b>	Beispiel: Verkehr zur Zentrale
<b>1.4</b>	LASER – genial und einzigartig	<b>3.10</b>	Polymerfasern – Eine preiswerte Alternative?	<b>6.2</b>	Optische Netze im Einsatz
<b>1.4.1</b>	Funktionsweise des LASERs			<b>6.2.1</b>	DWDM-Netze
<b>1.4.2</b>	LASER – warum sind sie monochromatisch?	<b>4</b>	<b>Optische Übertragung in WAN, Metro und Rechenzentren</b>	<b>6.3</b>	Terabit-Netze
<b>1.4.3</b>	Emissionsspektren von LED und LASER Dioden	<b>4.1</b>	Ethernet bis 800 GBit/s	<b>6.3.1</b>	Transparente optische Netze – Wavelength Path Routing
<b>1.5</b>	Modulation	<b>4.1.1</b>	10 GE Schnittstellen	<b>6.3.2</b>	Die Zukunft – Virtual Wavelength Path Routing
<b>1.5.1</b>	Amplituden-Modulation	<b>4.1.2</b>	40 und 100 Gigabit Ethernet	<b>6.3.3</b>	MPLS und optische Netze
<b>1.5.2</b>	NRZ vs. PAM4	<b>4.1.3</b>	100GBASE-LR4: Ethernet über WDM	<b>6.3.4</b>	Terastream
<b>1.5.3</b>	Phasen-Modulation	<b>4.1.4</b>	100 GE Varianten mit QSFP	<b>6.4</b>	Alone in the dark? – Optische Schutzkonzepte
<b>1.5.4</b>	QAM Modulation	<b>4.1.5</b>	200 GE und 400 GE	<b>6.4.1</b>	Equipment Protection
<b>1.5.5</b>	So arbeitet ein Modulator	<b>4.1.6</b>	800G Varianten mit OSFP und QSFP	<b>6.4.2</b>	Rein optische Schutzmechanismen
<b>1.5.6</b>	Modulator für QPSK	<b>4.2</b>	SDH mit 10 und 40 GBit/s	<b>6.5</b>	Optischer Schutz von Ringen
<b>1.6</b>	Dämpfung	<b>4.2.1</b>	Bitraten der SDH	<b>6.5.1</b>	Dedicated Protection
<b>1.6.1</b>	Was beeinflusst die Dämpfung?	<b>4.2.2</b>	Taktquellen – Es kann nur einen geben	<b>6.5.2</b>	Shared Protection
<b>1.6.2</b>	Streckenplanung	<b>4.2.3</b>	Netzschutzmechanismen	<b>6.5.3</b>	Unidirektionale und bidirektionale Ringe
<b>1.7</b>	Optische Fenster einer Glasfaser	<b>4.3</b>	WDM – Eine universale Plattform	<b>6.5.4</b>	MS Shared Protection
<b>1.8</b>	Dispersion	<b>4.3.1</b>	Der Aufbau eines WDM-Muxes		
<b>1.8.1</b>	Arten der Dispersion	<b>4.3.2</b>	„Colored“ Interfaces	<b>7</b>	<b>OTN – Optical Transport Network, G.709</b>
<b>1.8.2</b>	Polarisationsmodendispersion (PMD)	<b>4.3.3</b>	„Grey“ Interfaces: Transponder nötig	<b>7.1</b>	OTN im Überblick
<b>2</b>	<b>LASER, Stecker, Verstärker, OTDR</b>	<b>4.3.4</b>	400 G Muxponder für DCI	<b>7.2</b>	Die Struktur von OTN
<b>2.1</b>	LASER als Pluggable Interfaces	<b>4.3.5</b>	800 G Muxponder für WAN	<b>7.2.1</b>	OTN – Rahmenaufbau
<b>2.1.1</b>	Überblick: SFP, SFP+, OSFP, QSFP, QSFP28, QSFP-DD	<b>4.4</b>	DWDM – Dense Wavelength Division Multiplexing	<b>7.2.2</b>	FEC nach RS (255,239)
<b>2.1.2</b>	100 GE Varianten mit QSFP	<b>4.4.1</b>	DWDM – Dense WDM, fast unbegrenzte Übertragung	<b>7.2.3</b>	Containergrößen
<b>2.1.3</b>	800G Varianten mit OSFP und QSFP	<b>4.4.2</b>	Aufbau einer WDM-Strecke	<b>7.2.4</b>	ODUflex
<b>2.1.4</b>	SFP+: CWDM, duplex	<b>4.4.3</b>	Wichtige Vorteile	<b>7.2.5</b>	OTUk Overhead
<b>2.1.5</b>	SFP: GPON, simplex	<b>4.4.4</b>	DWDM Kanalabstände	<b>7.2.6</b>	ODU-Overhead
<b>2.1.6</b>	QSFP: 400GBASE-FR4	<b>4.4.5</b>	Fixed Grid Spacing	<b>7.2.7</b>	Beispiele für TCM
<b>2.1.7</b>	Durchstimmbare LASER	<b>4.4.6</b>	Flexible Grid Spacing	<b>7.2.8</b>	OPU-Overhead
<b>2.1.8</b>	XFP: DWDM tunable LASER	<b>4.4.7</b>	Super Channels	<b>7.2.9</b>	Mapping von CBR-Signalen
<b>2.2</b>	Optische Stecker und Schnittstellen	<b>4.4.8</b>	Super Channels und Kanalabstand	<b>7.3</b>	OTN Multiplexbildung
<b>2.2.1</b>	Was ist wichtig?	<b>4.5</b>	CWDM – Coarse WDM, der preiswerte Einstieg	<b>7.3.1</b>	Ethernet Multiplexing
<b>2.2.2</b>	Glasfaserstecker	<b>4.5.1</b>	CWDM Kanalabstand	<b>7.3.2</b>	OPU2-Zeitschlitze
<b>2.2.3</b>	PC-, APC- und HLR-Bauweise	<b>4.5.2</b>	CWDM – Vorteile und Nachteile	<b>7.3.3</b>	OPU3-Zeitschlitze
<b>2.3</b>	Optische Verstärker – The Power Of Light	<b>4.5.3</b>	CWDM und DWDM kombiniert	<b>7.4</b>	Alarme und Fehlerquellen
<b>2.3.1</b>	Raman Verstärker (DRA - Distributed Raman Amplifier)	<b>4.5.4</b>	WDM und transparente optische Netze	<b>7.4.1</b>	Fehlermeldungen
<b>2.4</b>	OTDR-Rückstreuungen	<b>4.5.5</b>	Einblick in die Messtechnik	<b>7.4.2</b>	Fehlerkaskaden
<b>2.4.1</b>	Ghost – Doppelreflexion	<b>4.5.6</b>	Licht und Schatten – Nachteile von WDM	<b>7.5</b>	OTN im 5G Mobilfunk
<b>2.4.2</b>	OTDR – Gainer und Loser	<b>4.6</b>	Shortwave CWDM	<b>7.5.1</b>	5G Anwendungen
<b>2.4.3</b>	Ursache eines Gainers	<b>4.6.1</b>	Ein Blick auf SWDM	<b>7.5.2</b>	Weitere 5G Use Cases
<b>2.4.4</b>	Ursache eines Losers	<b>4.6.2</b>	100G 4WDM-10 (MSA)	<b>7.5.3</b>	OTN im 5G RAN
<b>2.5</b>	Layer 1 Fehler erkennen und beheben	<b>4.7</b>	Fibre Channel über DWDM	<b>7.5.4</b>	OTN im Fronthaul und Midhaul des 5G RAN
<b>2.5.1</b>	Fehler beheben: Port, Stecker, Schliff	<b>4.7.1</b>	Speichervirtualisierung	<b>7.5.5</b>	Synchronisation im 5G Radio Access Network (RAN)
<b>2.5.2</b>	Fehler beheben: LASER Module	<b>4.7.2</b>	Speichersystem-basierte Virtualisierung	<b>7.5.6</b>	G.8271.1: Full Timing Support (FTS)
<b>2.5.3</b>	Fehler beheben: Glasfaser	<b>4.7.3</b>	Virtualization Appliances		
<b>2.5.4</b>	Fehler beheben: Dämpfung	<b>4.7.4</b>	Mechanismen zur Flusskontrolle	<b>8</b>	<b>Future World – die Welt von morgen</b>
<b>2.5.5</b>	Fehler beheben: Bitrate	<b>4.7.5</b>	Buffer-to-Buffer Credit	<b>8.1</b>	10 Tbit/s auf einer Wellenlänge
<b>2.5.6</b>	Fehler beheben: 100 GE	<b>4.7.6</b>	End-to-End Credit	<b>8.2</b>	Solitonen – Der Stein der Weisen?
<b>2.5.7</b>	Beispiel: 100GBASE-LR4 vs 100GBASE-SR10	<b>4.7.7</b>	Buffer-to-Buffer Credits auf Langstreckenverbindungen	<b>8.2.1</b>	Solitonen und der Terabit-Bereich
<b>3</b>	<b>Die Welt der Glasfasern</b>	<b>4.7.8</b>	Port-Typen im SAN	<b>8.3</b>	Optische Fenster total
<b>3.1</b>	Glasfasern – Die Nervenfasern der modernen Welt	<b>4.7.9</b>	Routing im SAN	<b>8.4</b>	Peta Bit/s mit Mode Multiplexing
<b>3.2</b>	Glasfasern für Fibre Channel	<b>4.8</b>	WDM für GPON	<b>8.4.1</b>	110 x 110 MIMO – der heilige Gral?
<b>3.2.1</b>	OM4 – Der Klassiker der Rechenzentren	<b>4.8.1</b>	GPON und Wellenlängenbereiche	<b>8.5</b>	Space-Division Multiplexing – Multi Core Fiber
<b>3.2.2</b>	OMS – Die Breitband Multi Mode Faser	<b>4.8.2</b>	Optisches Budget auf der Leitung	<b>8.5.1</b>	22,9 Pbit/s mit 38-Core Fiber und 3 Moden
<b>3.2.3</b>	Multi Mode Fiber, G.651.1	<b>4.9</b>	Optische Technik in Kabelnetzen	<b>8.5.2</b>	Multi Core Fiber (MCF) für Transzoanetze
<b>3.3</b>	Uni- oder Bidirektional über eine Faser?	<b>5</b>	<b>Optical Switching – Eine Welle geht ihren Weg</b>	<b>8.5.3</b>	4-Core Fiber Submarine
<b>3.4</b>	Fiber to the Home, Building, Curb	<b>5.1</b>	Optical Switching – Warum?	<b>8.6</b>	Hollow Core und Photonic Crystal Fiber
<b>3.5</b>	Passive Optical Networks (PON)	<b>5.2</b>	Optische Add/Drop Multiplexer (OADM)	<b>8.7</b>	Optical Switching im Peta Bit/s Bereich
<b>3.5.1</b>	E-PON, G-PON, XGS-PON, NG-PON2	<b>5.2.1</b>	4D ROADM	<b>8.7.1</b>	Switching zwischen Multi Core Fibers (MCF) und Moden
<b>3.5.2</b>	Funktionsweise	<b>5.2.2</b>	Colorless ROADM	<b>8.7.2</b>	Protection Switching bei Pbit/s
<b>3.5.3</b>	Shared Medium	<b>5.2.3</b>	Frei konfigurierbare OADM		
<b>3.5.4</b>	Kollisionen auf Glasfasern?	<b>5.3</b>	Technologien des Optical Switchings	<b>9</b>	<b>Quantencomputer und Quanteninformation</b>
<b>3.5.5</b>	PON mit max. Up Stream	<b>5.3.1</b>	Thin Filters – starres Schalten	<b>9.1</b>	Wundersame Quantenphysik
		<b>5.3.2</b>	Optical Multiplexen	<b>9.1.1</b>	Das Informationspaket Photon
				<b>9.1.2</b>	Superposition - Beides zugleich

